



Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)

Abschlusspublikation



IMPRESSUM

Herausgegeben von

DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.
Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main

Kontaktpersonen zur BMBF-Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)“:

Beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Thomas Bartelt
Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referat 726 – Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung
53175 Bonn
Tel.: +49 (0)22899573890
E-Mail: Thomas.Bartelt@bmbf.bund.de

Beim Projektträger

Dr. Andreas Jacobi
Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Nachhaltige Entwicklung und Innovation
Nachhaltigkeit | Fachbereich UMW1
10785 Berlin
Tel.: +49 (0)30 20199-485
E-Mail: a.jacobi@fz-juelich.de

Editor

Wissenschaftliches Begleitvorhaben „ResWin“ der BMBF-Fördermaßnahme
„Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)“:

Verantwortlich im Sinne des Presserechts

Katja Wendler
DECHEMA e.V.
Tel.: +49 (0)69 7564-425
E-Mail: katja.wendler(at)dechema.de

Das dieser Publikation zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung unter dem Förderkennzeichen 033R224 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren der einzelnen Beiträge.
Die Publikation ist nicht für den gewerblichen Vertrieb bestimmt.

Erschienen im Mai 2023

Vorwort	4
„ReziProK“ – Ergebnisse aus 25 Forschungsprojekten für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft	5
Vorstellung der „ReziProK“-Forschungsprojekte	6
Cluster 1: Optimierte Nutzung von Rezyklaten	9
Kreislaufführung / Schließen von Produktkreisläufen	10
Innovative Technologien	16
Recycling	20
Cluster 2: Verlängerte Produktnutzung	27
Nutzungsintensivierung	28
Nutzungsverlängerung	36
Produktdesign	42
Cluster 3: Remanufacturing	49
Cluster 4: Kreislauffähige Elektrofahrzeuge	59
Projektübergreifende Fragestellungen der Fördermaßnahme	68
Akzeptanzforschung	68
Bewertungswerkzeuge/LCA	70
Geschäftsmodelle	74
Rechtliche Rahmenbedingungen	76
Ausblick und Handlungsempfehlungen	78
Stichwortregister	81
Weiterführende Links	83

Vorwort



MinR Dr. Wolf Junker, Bundesministerium für Bildung und Forschung, Leiter Referat 726 Ressourcen, Kreislaufwirtschaft; Geoforschung (Quelle W. Junker)

Um unsere Welt auch für künftige Generationen lebenswert zu erhalten, müssen wir unsere derzeitige Lebensweise grundlegend umstellen: Höchste Priorität gilt dabei dem Schutz unseres Klimas in Verbindung mit einer weitgehenden Entkopplung des Wirtschaftswachstums vom Ressourcenverbrauch.

Dafür brauchen wir vor allem einen grundlegenden Wandel unserer derzeit oftmals linearen Wirtschaftsweise (Produzieren, Nutzen, Entsorgen) hin zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft. Die Förderung der Kreislaufwirtschaft ist deshalb ein Schwerpunkt der Bundesregierung. Eine nachhaltige Wertschöpfung erreichen wir nur, wenn wir beispielsweise die Lebens- und Nutzungsdauer von Produkten und Materialien verlängern – sie weiter- und wiederverwenden, statt sie zu entsorgen. So können wir den Wert der Produkte und ihrer Materialien möglichst lange im Wirtschaftskreislauf halten. Kreislaufwirtschaft kann im besonderen Maße dazu beitragen, den Wirtschaftsstandort Deutschland unabhängiger von Rohstoffimporten und damit resilienter zu machen.

Mit der Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)“ im Rahmen seiner Strategie „Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)“ stellt das Bundesministerium für Bildung und For-

schung (BMBF) die nötigen wissenschaftlichen Grundlagen bereit. Dabei adressieren die Forscherinnen und Forscher in den geförderten „ReziProK“-Projekten über das Recycling hinaus zahlreiche weitere Wertschöpfungsstufen: von der Wiederverwendung gebrauchter Produkte über ein reparaturfreundliches Produktdesign bis hin zur Aufarbeitung oder zum Ersatz von Modulen in Geräten. Zentrale Ansatzpunkte für Forschung und Entwicklung sind hierbei innovative Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft in Verbindung mit öko-effizientem Produktdesign und digitalen Technologien.

Die vorliegende Abschlusspublikation gibt einen Einblick in die erzielten Ergebnisse der 25 „ReziProK“-Projekte, die in dreijähriger Forschungsarbeit entstanden. Sie zeigt deren Potenziale zur Lösung gesellschaftlich relevanter Probleme, wie die Reduzierung des Elektroschrottaufkommens oder die Senkung der Umweltauswirkungen von Textilien. Sie zeigt auch Umsetzungshemmnisse und weiteren Forschungsbedarf. Auch Handlungsempfehlungen an die Politik werden diskutiert. Nur wenn es gelingt, allen Beteiligten sowohl die ökonomischen als auch die ökologischen langfristigen Vorteile der Kreislaufwirtschaft zu vermitteln, kann die erforderliche Umsetzung gelingen.

Die Ergebnisse der Fördermaßnahme werden dabei auf dem Weg zu einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft einen wertvollen Beitrag leisten.

Ihr Bundesministerium für Bildung und Forschung

„ReziProK“ – Ergebnisse aus 25 Forschungsprojekten für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft

Friege, H.; Wolfmeyer, P. (N³ Nachhaltigkeitsberatung Dr. Friege & Partner); Schielke, C. und Wendler, K (DECHEMA e.V.)

Nachhaltiges Ressourcenmanagement ist mehr als Recycling – es umfasst zahlreiche weitere Wertschöpfungsstufen, vom reparaturfreundlichen Produktdesign über die Wiederverwendung gebrauchter Produkte bis hin zur Aufarbeitung oder dem Ersatz von Modulen in entsprechend aufgebauten Geräten. Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) fördert die Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)“ im Rahmen seiner „FONA“-Strategie (Forschung für Nachhaltigkeit) mit rund 30 Millionen Euro. „ReziProK“ ist Bestandteil des BMBF-Forschungskonzepts „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft“ und zielt auf die Erforschung innovativer Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft in Verbindung mit öko-effizientem Produktdesign und digitalen Technologien. In den 25 Forschungsprojekten der Fördermaßnahme „ReziProK“ wurden zahlreiche neue Erkenntnisse für einen nachhaltigeren Umgang mit Ressourcen gewonnen. In den Forschungsprojekten entwickelten Partnerinnen und Partner aus Wirtschaft, Wissenschaft und Industrie über drei Jahre lang innovative Lösungen für Produktkreisläufe. Das Vernetzungs- und Transfervorhaben „ResWinn“ begleitete die Forschungsteams der „ReziProK“-Projekte fachlich und unterstützt den Transfer der Ergebnisse in die wirtschaftliche Praxis.

In den Forschungsprojekten geht es um sehr unterschiedliche, meist langlebige Produkte wie Bauteile, Baumaterialien, Elektronikgeräte, Pumpen, Industriewerkzeuge, Elektrofahrzeuge und Fahrzeuersatzteile, aber auch Verpackungen und Textilien. Die Erkenntnisse aus der Fördermaßnahme „ReziProK“ zeigen, dass auf Langlebigkeit, Reparaturfähigkeit und Wiederverwertbarkeit der Materialien angelegte Designkonzepte als entscheidende Voraussetzungen für eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft am Anfang jeder Produktentwicklung stehen müssen. In diesem Sinne wurde in den Forschungsprojekten auf die technische Optimierung von Produkten geachtet. Ein weiterer, entscheidender Aspekt ist die gesicherte Rückholbarkeit der Produkte. Um diese zu gewährleisten, wurden in den meisten Forschungsprojekten Geschäftsmodelle geprüft, bei denen die Produzierenden über Dienstleistungen mit den Nutzenden in Kontakt bleiben oder auf die Produkte nach der Nutzungsphase wieder zugreifen können. „Digitale Zwillinge“ von Bauteilen,

„lernende“ Kennzeichnung auf Textilien oder die automatische Erkennung von rückgeführten Produkten mit Unterstützung künstlicher Intelligenz sind neue Instrumente, die bei den „ReziProK“ Forschungsprojekten erfolgreich eingesetzt wurden.

Die Ergebnisse der „ReziProK“-Projekte zeigen, dass es vielfältige Möglichkeiten gibt, den hohen Rohstoffverbrauch zu senken – in Deutschland wurden im Jahr 2017 statistisch pro Kopf 16,1 Tonnen Rohstoffe konsumiert (Umweltbundesamt, 2018). Mit einer solchen ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft wird es gelingen, Produkte, Module und Komponenten wesentlich länger als bisher innerhalb der Wirtschaft zu erhalten und anschließend die Rohstoffe zurückzugewinnen. Angesichts der weltweit steigenden Preise, vor allem für Metalle, sind dies auch ökonomisch dringende Maßnahmen. Gleichzeitig können dadurch der Energieverbrauch auf dem „Produkt-Lebensweg“ und die damit verbundene Emission von Treibhausgasen deutlich verringert werden – dies wurde in nahezu allen Projekten überprüft.

Es gilt nun, die Forschungsergebnisse möglichst rasch in die wirtschaftliche Praxis zu überführen. Um entsprechende Produkte und Geschäftsmodelle im Wettbewerb gegenüber dem klassischen, linearen Modell „Herstellen – Nutzen – Wegwerfen“ zu unterstützen, bedarf es flankierender Maßnahmen, z.B. bei der Produktkennzeichnung, und Vorgaben für das Produktdesign. Die Akzeptanz für Produkte aus Sekundärrohstoffen bei Verbraucherinnen und Verbrauchern wie auch deren Engagement bei der Rückführung gebrauchter Produkte an die Herstellenden sind unverzichtbare Elemente der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft.

Die „ReziProK“-Forschungen

Das Bundesforschungsministerium unterstützt mit der Fördermaßnahme „Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)“ die Erforschung und Entwicklung von Innovationen für eine ressourceneffiziente, zirkuläre Wirtschaft. Dazu entwickelten 25 Projektteams mit Partnerinnen und Partnern aus Wirtschaft und Wissenschaft Geschäftsmodelle, Designkonzepte und digitale Technologien zur Schließung von Produktkreisläufen und adressier-

ten dabei ein breites Themen- und Branchenspektrum (s. Tabelle 1). Die Themenschwerpunkte waren dabei in vier Cluster untergliedert und umfassten die Förderung des Einsatzes von Rezyklaten und die Entwicklung von Blockchain-Technologien, die Verlängerung und Intensivierung der Produktnutzung, den Ausbau von Remanufacturing sowie die Verbesserung der Kreislauffähigkeit von Elektrofahrzeugen. Im Folgenden werden die Forschungsprojekte und -ergebnisse dargestellt.

Tabelle 1: Übersicht der Forschungsschwerpunkte der geförderten „ReziProK“ Projekte

Projektdateien – Übersicht		All-Polymer	ConCirMy	DIBICHAIN	Di-Link	DiTex	OPTIRODIG	REPOST	UpZent
Innovationspotenzial des Projekts	Geschäftsmodell	++	+	++	+++	++		+++	+++
	Material/Produkte	+++		++	++	+++	+++	+++	+++
	Technische Prozesse	+		++	++		+	+++	
	IT		++	+++	+++	++	+++		
	Distributed Ledger Technology/Blockchain			+++					
	Sensortechnik				+++	++	++		
	Leichtbau	++						+	
	Modulbau	++							
	Logistik	++			+			+++	
	Mobilität	++							
	Kreislaufführung/Ressourceneinsparung	+++	+++		+++	+++	+++	+++	+++
Nachhaltigkeit	Bewertung Nachhaltigkeit	+++	+++	+++	++	+++	++	+++	+++
	Direkter Bezug zu Sustainable Development Goals	+++			++	+++		+++	+++
	Nutzung bzw. Entwicklung von Nachhaltigkeitsindikatoren	++	+++	+++		+++			+++
	Ökobilanzierung	++	+++	+++		+++		+++	+++
Gesetze, Regelwerke, Standards	Tangieren europäische, deutsche gesetzliche Regelungen und/oder internationale Normungen die Bearbeitung des Projekts?	++	++		+			+++	+++
	Ist geplant, Standardisierungen (z.B. DIN-Norm, DIN SPEC) im Projekt zu etablieren?		++	++	+				
Übertragbarkeit	Übertragbarkeit des/der entwickelten Technik/Geschäftsmodells/ Designs auf andere Branchen bzw. Produkte?	++	++						+++
Europäischer Bezug	Übertragbarkeit der Projektergebnisse auf europäische Fragestellungen	+++			+++		+++	++	+++

AddrE-Mo	EIBA	ReLIFE	REPARE	C.O.T.	CircularBy Design	EffizientNutzen	LongLife	MoDeSt	PERMA	praxPACK	RESMAP	RezzProKA	WearzShare	KOSEL	LEVmodular	LifeCycling?
+++	++	+++	++	++	++	+++	+++	+++	+++	+++	+	+++	+++	+++	+++	+++
+++		+++	+++	+	+++	++		+++	++	+	+++	+++	++	+++	+++	++
+++	+++	+++	+++	++	+	++	+	+	++		++	+++		++	+++	++
++	+++	+	++			++	+++	++	++	+	+++	++	+		++	++
						+										
	+++	++	+				+++				+	+		++	+++	+
					+++			+++	+++		+	++		+++	+++	
+	++		++	+					++	+++	++	++	+	+	+++	++
+++	++													+++	++	+++
+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+++
+++	++	++	+++	+++	++	++	+++	+++	+++	++		++	+++	+++	+++	+++
++	+++			+++	+++	++	+	+	+++		+	+++	+		++	+++
+			++	+++	++				+++		++		+++	+++	++	
++	++	++	+++	+++	++	+	++	+++	++	++	+++		+++	+++	+++	+
					++	+++		++		++	++	++			++	++
					+++	++			+++	+						
+++	+++	+++		+	+++	++	+++				+++	+++	++	++		+++
+++	+++	+			+++	+++	+++		++	++		++	+	+++	+++	+++

LEGENDE

Grad der Relevanz:

- +++ Hoch
- ++ Mittel
- + Niedrig

Leerfelder: Keine Angaben durch Projekte

Cluster-Zugehörigkeit:

- Optimierte Nutzung von Rezyklaten
- Verlängerte Produktnutzung
- Remanufacturing
- Kreislauffähige Elektrofahrzeuge



Quelle: kyrychukvitaliy - stock.adobe.com

Cluster 1: Optimierte Nutzung von Rezyklaten

Berg, H. (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)

Recycling stellt nach wie vor eine der zentralen Strategien der Kreislaufführung und der Circular Economy dar. Entsprechend bestehen für die meisten Materialfraktionen national und international etablierte Regelwerke, Technologien und Märkte. Dennoch verändert sich die Situation für viele Materialien stetig. So entstehen nicht nur neue Regularien. Auf EU-Ebene setzen der Green Deal und die dazugehörigen Strategien - allen voran der Circular Economy Action Plan, aber auch die Sektorstrategien - neue Anreize. Beides führte in den vergangenen Jahren zu neuen Impulsen zur Ausweitung des Recyclings. Es bestehen dabei weiterhin hohe Herausforderungen, um ein hochwertiges Recycling oder sogar Upcycling zu ermöglichen, Downcycling oder Materialverluste zu vermeiden, Märkte für Rezyklate zu etablieren oder ein (werkstoffliches) Recycling überhaupt zu entwickeln. Der Forschungsbedarf ist daher ebenfalls hoch und erstreckt sich dementsprechend von den genannten Herausforderungen der zu rezyklierenden Materialien selbst, über Prozessverbesserungen bis hin zur Etablierung von Märkten sowie der Entwicklung von Geschäftsmodellen und digitaler Ökosysteme.

Die Notwendigkeit und Chancen diesbezüglicher Forschung zeigten sich auch bei den Projekten des Clusters 1 „Optimierte Nutzung von Rezyklaten“ der Fördermaßnahme „ReziProK“. Die acht Projekte des Clusters deckten die ganze Breite der skizzierten Forschungsagenda ab. Hinsichtlich der Materialien reichte die Bandbreite von Metallen über Mineralik (Altporenbeton) und Textilien bis hin zu verschiedenen Kunststoffen. Um sicherzustellen, dass die erarbeiteten Ergebnisse einen positiven Beitrag zu nachhaltiger Entwicklung liefern, wurde zudem die Nachhaltigkeitsbewertung berücksichtigt. Da Transparenz, Informationstransfer und Prozesssteuerung zentrale Herausforderungen von Recyclingstrategien sind, spielt die Digitalisierung eine besondere Rolle. Fünf der acht Projektteams untersuchten daher digitale Technologien zur Unterstützung und Optimierung des Recyclings und der dazugehörigen Materialkreisläufe und entwickelten sie weiter. Die Spannweite der betrachteten Ansätze war dabei groß. Sie erstreckte sich von Sensorik zur Produktionsüberwachung und Steuerung, über Produktpässe, Nachverfolgungstechnologien und Blockchain bis hin zur Nutzung von Optimierungsalgorithmen zur Markt- bzw. Versorgungssteuerung.

Zum Abschluss der Fördermaßnahme „ReziProK“ können alle Projektteams dieses Clusters Erfolge vorweisen. Wie es für Forschungsprojekte üblich ist, entsprechen sie nicht immer den vorab definierten Zielen und Maßnahmen, doch liegt darin oft eine besondere Gelegenheit für Fortschritt. Auch bleibt die Lage für das Recycling dynamisch. Die letzten Jahre waren für viele Materialien und Rohstoffe – sowohl primäre als auch sekundäre – von Versorgungsschwankungen geprägt, wie wir sie lange Zeit nicht kannten. Aktuell zeichnet sich keine Entspannung dieser Lage ab. Hierdurch entsteht aber ein deutlicher Schub für mehr Kreislaufwirtschaft. Denn das Wiederzurverfügungstellen von Materialien und Rohstoffen leistet in absehbar engen Versorgungslagen einen wichtigen Beitrag zu einer sicheren und umweltfreundlicheren Wirtschaft.



Abbildung 2: Ressourcenschonung durch Re-Use. (Quelle: pixabay)

Digitale Lösungen für industrielle Kunststoffkreisläufe

Kunststoff, Recycling, Digitalisierung, Rezyklate, Produktpass, Geschäftsmodelle, Messtechnik

Berg, H. und Bendix, P. (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie)

Ausgangs- und Problemlage

Steigende Abfallmengen als Folge unseres gestiegenen Konsums werden von weiten Teilen der Gesellschaft zunehmend als Problem wahrgenommen. Öffentlichkeit, Politik und Unternehmen wünschen sich eine Kreislaufwirtschaft, in der materielle Ressourcen wieder genutzt werden, anstatt sie zu entsorgen. Gerade auf Kunststoffabfällen und Kunststoffrecycling liegt derzeit ein besonderer Fokus. Das zeigt sich in der intensiven Bearbeitung des Themas durch politische Gremien auf allen Ebenen, aber auch am großen öffentlichen Interesse an Kunststoffabfall, das zu einer breiten Berichterstattung in den Medien führt. Allerdings ist die Umsetzung des Prinzips „Kreislaufwirtschaft“ gerade in der Kunststoffwirtschaft besonders herausfordernd. Technologisch ist eine signifikante Verbesserung des Status quo des Kunststoffrecyclings möglich. Allerdings stehen viele andere Hemmnisse einer umfassenden Etablierung der Kreislaufwirtschaft entgegen.

Projektziele und Vorgehen

Im Projekt „DiLink“ wurden digitale Möglichkeiten geschaffen und getestet, die es erlauben Kunststoffe in größeren Mengen und in besserer Qualität zu recyceln. Durch die entwickelte „DiLink“ App werden digital Informationen bezüglich der Rezyklatqualität in der Wertschöpfungskette weitergegeben. So wird Vertrauen in den Werkstoff Rezyklat geschaffen, das Recycling verbessert und es können neue, hochwertige Anwendungsfelder erschlossen werden.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

„DiLink“ App

Daten zu Kunststoffen werden meist vom Herstellenden über mitgelieferte Datenblätter an die verarbeitenden Betriebe weitergegeben. Die „DiLink“ App geht hier einen Schritt weiter und erstellt ein virtuelles Abbild der Kunststoffe, das die benötigten Daten für die entsprechenden Betriebe verfügbar macht. Sensoren ermitteln die Qualität der Rezyklate und zeichnen sie über den gesamten Produktionszeitraum auf. Die App ermöglicht die Weitergabe relevanter Qualitätsparameter zwischen Recyclendem und kunststoffverarbeitendem Betrieb. Mit den Daten zu Beschaffenheit und Menge von Kunststoffresten sowie den aus ihnen hergestell-

„DiLink“ Digitale Lösungen für industrielle Kunststoffkreisläufe

Projektbeteiligte:

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie; SKZ – Das Kunststoff-Zentrum; FIR e.V. an der RWTH Aachen; Infosim; HOFFMANN + VOSS Technische Kunststoffe; MKV GmbH Kunststoffgranulate

Koordinator:

Holger Berg
Wuppertal Institut für Klima, Umwelt & Energie
holger.berg@wupperinst.org
Tel.: 0202 2492-179

Laufzeit:

01.06.2019- 31.05.2022

Projektwebsite:

www.di-link.de

Förderkennzeichen:

033R235

ten Rezyklaten und einer Möglichkeit, diese Daten entlang der Wertschöpfungskette digital weiterzureichen, können kunststoffverarbeitende und gewerbliche Unternehmen sowie Recyclingfirmen solche Kunststoffe zukünftig als hochwertige Wertstoffe im Kreislauf halten. Ergänzend kann die App Fachwissen zur Rezyklataufbereitung und -verarbeitung anzeigen.

Digitale Messtechnik

Für die Überwachung der Prozessqualität kommt die Online-Spektroskopie zum Einsatz. Diese misst die Lichtabsorption der Kunststoffschmelze im Extruder. Mit einer geeigneten Datenauswertung können dann Veränderungen im Kunststoff, z.B. durch thermischen Abbau, nachgewiesen bzw. verfolgt werden. Diese Informationen können verwendet werden, um Inhomogenitäten im Ausgangsmaterial zu detektieren oder Prozessparameter wie Temperatur und Drehmoment anzupassen. Ihre Anwendbarkeit wurde auf die speziellen Problemstellungen im Recompounding getestet.

Geschäftsmodelle

Der zunehmende Einsatz von Kunststoffrezyklaten verändert den Material- und Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Akteurinnen und Akteuren im Wertschöpfungsnetzwerk des Kunststoffkreislaufs. Um die „DiLink“-Anwendung zu integrieren und den Informationsfluss zu optimieren, wurden die Rollenmodelle der verschiedenen Akteure weiterentwickelt und ein neues Wertstromsystem auf der Grundlage des Business Ecosystem Designs entworfen. Basierend auf der Applikation wurden innovative und nachhaltige Geschäftsmodelle für die zentralen Rollen identifiziert, mit Schwerpunkt auf dem Nutzenversprechen, der Ertragsmechanik und der Wertschöpfungslogik. So konnten neue kompetitive Geschäftsmodelle und neuartige Rollen im Gesamtsystem identifiziert werden.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Auch wenn Recycling nur die drittbeste Option nach Abfallvermeidung und der Wiederverwendung oder Reparatur von Produkten ist, wird es eine wichtige Rolle spielen müssen, um die CO₂-Emissionen in naher Zukunft auf netto-Null zu bringen. Ein recycelter Kunststoff hat bei seiner Herstellung einen deutlich geringeren CO₂-Fußabdruck als Neuwere-Kunststoffe. Dieser Fußabdruck sinkt zudem signifikant, wenn sich der Anteil an Ökostrom an der Prozessenergie in Zukunft weiter erhöht. Durch die Möglichkeit, mehr Kunststoff besser zu recyceln, trägt das Projekt „DiLink“ zur Nachhaltigkeit bei.

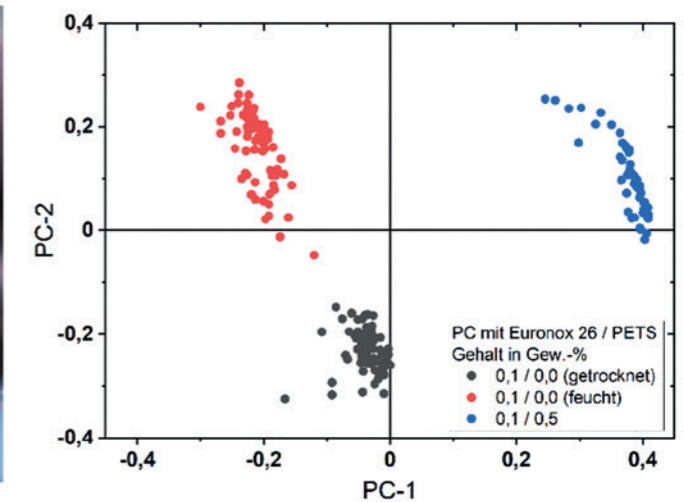


Abbildung 3: Die „DiLink“ App in ihrer Anwendung – links (Quelle: Infosim). Beispiel einer Hauptkomponentenanalyse anhand von Polycarbonat mit unterschiedlichen Gehalten an Stabilisatoren. – rechts (Quelle: SKZ)

Auf dem Weg zu einer zirkulären Textilwirtschaft

Geschäftsmodelle, Textilservice, Berufsbekleidung, Textilrecycling, Ressourcenschonung, Bettwäsche, Recycling

Rubik, F.; Müller, M.; Schmidt, S.; Vogel, C. (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung); Gärtner, S.; Reinhardt, G.; Senn, J. (Institut für Energie- und Umweltforschung); Hecht, K. (Hohenstein Institut für Textilinnovation); Boldrini, B.; Gerbig, M. und Nebel, K. (Hochschule Reutlingen)

Ausgangs- und Problemlage

Weltweit werden immer mehr Textilien produziert – mit gravierenden Folgen für die Umwelt. Der Umgang mit Textilien am Lebensende und die Verminderung von Umweltauswirkungen in der textilen Kette sind Kernelemente der Textilstrategie der Europäischen Kommission. Eine Textilwirtschaft mit funktionierenden Recyclingprozessen und kreislauffähiger Infrastruktur könnte ein Lösungsansatz sein. „DiTex“ erprobte die Machbarkeit einer zirkulären Textilwirtschaft im Unternehmensbereich. Das Handelsvolumen für Berufsbekleidung und persönliche Schutzausrüstung in Deutschland betrug 2019 2,9 Mrd. €. Etwa 1/3 der Berufsbekleidung waren Leasingtextilien. 34 von 42 Mio. Beschäftigten in Deutschland benötigten 2020 Schutz- oder Arbeitskleidung. Über Textilservices zirkulieren enorme Volumina identischer Textilien bekannter Zusammensetzung in etablierter Logistik. Die Nutzung dieser Strukturen für den textilen Kreislauf zu erproben, weiterzuentwickeln und ökologische Potenziale von Ansätzen einer Kreislaufwirtschaft abzuschätzen, war das Ziel von „DiTex“.

Projektziele und Vorgehen

Das Projektteam von „DiTex“ wählte fünf zentrale Ansätze

- hoher Rezyklateinsatz
- Verwendung langlebiger Komponenten zur Lebenszyklusverlängerung
- „intelligentes Etikett“ als digitale Tracking-Lösung
- Erprobung zirkulärer Geschäftsmodelle sowie chemisches Faser-zu-Faser-Recycling am Lebensende),

mit dem Ziel, die Stoffkreisläufe zu verengen, zu verlangsamen und zu schließen und so Umwelt- und Ressourcenenlastungseffekte zu erzielen. Ergänzende Ansätze waren Ökoeffizienz, Zertifizierung und der Aufbau neuer Geschäftsbeziehungen zu Recyclingunternehmen. Diese Ziele wurden in einem Arbeitsprogramm verfolgt, das aus konzeptionellen, empirischen und evaluativen Teilen bestand und in einer zusammenfassenden Auswertung mündete. Kernelement war ein Praxistest: Ein Rettungsstellen-Poloshirt (100 % rezykliertes Polyester – rPES), ein Polizei-Businesshemd (62 % Baumwolle aus kontrolliert

„DiTex“ Digitale Technologien als Enabler einer ressourceneffizienten kreislauffähigen B2B-Textilwirtschaft

Projektbeteiligte:

Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW); ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg; Hohenstein Institut für Textilinnovation; Hochschule Reutlingen; MEWA Textil-Service; circular.fashion; Dibella; Wilhelm Weishäupl

Koordinator:

Dr. Frieder Rubik
Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
frieder.rubik@ioew.de
Tel.: 06221 – 64 91 66

Laufzeit:

01.08.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:

<https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de>

Förderkennzeichen:

033R228

biologischem Anbau / 38 % rezykliertes Polyester – rPES) und eine Hotel-Bettwäschegarnitur (50 % Lyocell, regenerierte Cellulose / 50 % rezykliertes Polyester – rPES) wurden zwischen Sommer 2021 und Frühling 2022 genutzt und bewertet. Die Textilien wurden durch einen Textilservice bereitgestellt, abgeholt und gepflegt. Textil- und Nutzungsdaten wurden digital getrackt. Während und nach dem Praxistest erfolgten umfassende Prüfungen:

- Mittels spektroskopischer Messungen wurden physikalische Eigenschaften (u.a. Morphologie, Farbe) und die chemische Zusammensetzung im Verlauf der Nutzung der Textilien nachverfolgt.
- Die „DiTex“-Textilien wurden verschiedenen Textilprüfungen (u.a. mechanische Eigenschaften, Pflegeeigenschaften, Physiologie) entsprechend der Hohenstein-Qualitätsstandards unterzogen.

- Mittels (Übersichts-)Ökobilanzen wurden die Auswirkungen auf Umwelt und Ressourcenschutz der Standardtextilien mit den „DiTex“-Textilien verglichen und Sensitivitätsanalysen erstellt.
- Die Erfahrungen der Nutzerinnen und Nutzer der „DiTex“-Textilien, der Textildienstleistenden (Wäschereibetriebe) sowie der Testanwendungs-Institutionen wurden durch Interviews und Befragungen ausgewertet.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

- Faserzusammensetzung und Flächenkonstruktion der „DiTex“-Textilien entsprechen weitgehend den Qualitätsanforderungen an Leasingtextilien. Die drei Designs aus Recyclingmaterial sind als qualitativ gleichwertig zu Standardtextilien aus Primärmaterialien einzustufen. Für eine maximierte Lebensdauer ist eine auf Dauerhaftigkeit ausgelegte Konfektionierung sehr wichtig.
- Ergebnisse der (Übersichts-)Ökobilanzen der „DiTex“-Textilien zeigen:
 - CO₂-Fußabdruck: Die „DiTex“-Textilien haben gegenüber vergleichbaren Standardtextilien nur geringe Einsparungen, bei einer Erhöhung der Nutzungen entstehen höhere Einsparungen.
 - Analoges gilt für die Einsparung fossiler Energieträger.
 - Flächenfußabdruck: Hier entstehen mittlere bis sehr hohe Reduktionen.
 - Wasserfußabdruck: Der Fußabdruck verringert sich je nach „DiTex“-Textilie gering (Polizeihemd) bis sehr hoch (Bettwäsche, Poloshirt).
 - Weitere Umweltauswirkung: Der Bedarf an Primärmaterialien wird durch den Einsatz der „DiTex“-Textilien mäßig bis deutlich reduziert.
- Digitale Strategien können die Nachverfolgung von Material-, Pflege- und Nutzungsdaten der Textilien entlang des Lebenswegs gewährleisten, es fehlt jedoch an Standardi-



Abbildung 4: Arbeitsbekleidung im Textilservice (Quelle: MEWA 2022)

sierung und Schnittstellen zwischen Akteurinnen und Akteuren. Umweltauswirkungen der digitalen Infrastruktur und elektronischer Komponenten sind zu beachten.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Aus „DiTex“ lassen sich folgende Aussagen für gewerblich genutzte Textilien ableiten:

- Es gilt, den Ressourcendurchfluss zu verringern. Veränderte Einkaufs- und Nutzungsgewohnheiten oder längere Nutzung der Textilien haben ein hohes Potenzial nach dem Vermeidungsprinzip.
- Materialsubstitution (Baumwolle > Biobaumwolle > Lyocell > Polyester – PES > rezykliertes Polyester – rPES) fördert eine nachhaltigere Ressourcennutzung.
- Der Ersatz von Primär- durch Recyclingfasern der gleichen Faserart bringt niedrige Umweltvorteile.
- Der B2B-Textilservice trägt zu einer zirkulären Textilindustrie bei, indem er einfach zu recycelnde Textilien in sein Produktportfolio aufnimmt und diese nicht entsorgt, sondern an Recyclingunternehmen übergibt.
- Recycling ist ein Element nachhaltiger Ressourcennutzung, aber nicht die Lösung für die Umweltauswirkungen der Textilwirtschaft. Das Recycling nicht mehr nutzbarer Textilien sollte dann erfolgen, wenn sie effizient und ohne hohen Chemikalien- und Energieaufwand zu recyceln sind. Das betrifft v.a. Verschnittreste aus der Konfektionierung sowie möglichst sortenreine Textilien.
- Optimierungen an verschiedenen Stufen der Wertschöpfungskette können weitere Umweltvorteile erbringen, z.B. durch Optimierungen der Wäschepflege. Dafür sind Schulungen und Aus- und Weiterbildung des Personals sowie ggf. technische Nachrüstungen notwendig.



Abbildung 5: „DiTex“-Polizeihemd in der Nutzung (Quelle: ZPD NI 2022)

Durch Digitalisierung und Vernetzung die Sekundär-Rohstoffproduktivität optimieren

Digitalisierung, Vernetzung, Sekundärrohstoffe, Energieverbrauch, Maschinelles Lernen, Lineare Optimierung (Simplex)

Shikun, C. (Universität Duisburg-Essen); Christoph, J. (Friedr. Lohmann GmbH); Kaufmann, T. (Hochschule Kempten); Hoffmann, M. und Steinmüller, K. (RHM Rohstoff-Handelsgesellschaft GmbH)

Ausgangs- und Problemlage

In der Gießerei- und Stahlindustrie werden heute bereits ca. 45 % des Rohstoffbedarfs durch Sekundärrohstoffe abgedeckt. Dieser Anteil kann und soll noch erhöht werden.

Projektziele und Vorgehen

Im Zuge des Projektes „OptiRoDig“ sollte zwischen der Recyclingindustrie und den Schmelzwerken ein digitales Netzwerksystem entwickelt werden. In diesem sollten umfangreiche Analysedaten verfügbarer Sekundärrohstoffe – Metallschrotte – bereitgestellt werden. Diese Datenbasis sollte den Schmelzwerken ermöglichen, geeignete Rohstoffe zu beschaffen, ihre Schmelzprozesse zu optimieren und somit gezielt höhere Anteile an Sekundärrohstoffen einzusetzen.

Vorgehensweise:

- Analyse von verschiedenen Schrotten nach chemischen und physikalischen Attributen
- Entwicklung des Simplex-Algorithmus zur Feststellung der kostenoptimierten Zusammensetzung aus verschiedenen Schrotten
- Optimierung mit Machine-Learning zur Erhöhung des Einsatzes von Sekundärrohstoffen sowie einer Reduzierung des Energieverbrauchs
- Zusammenführung des Simplex-Algorithmus und des Machine-Learning zur Feststellung einer gesamtheitlichen Effizienz

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

In dem für das Projekt erstellten cloud-fähigen Optimierungstool kann die Zusammenstellung der Schmelze hinsichtlich Kosten mit Hilfe eines Simplex-Algorithmus berechnet werden. Die Randbedingungen (z.B. Anteil Späne) sind flexibel einstellbar. Der Schutz der Daten ist durch einen Log-In sichergestellt. Nutzende können eigene Daten hinzufügen und verändern. Daten anderer Nutzerinnen und Nutzer

„OptiRoDig“ – durch Digitalisierung und Vernetzung die Sekundär-Rohstoffproduktivität optimieren

Projektbeteiligte:
RHM Rohstoff-Handelsgesellschaft GmbH;
Friedr. Lohmann GmbH; Universität Duisburg-Essen;
Hochschule Kempten

Koordinator:
Kai Steinmüller
RHM Rohstoff-Handelsgesellschaft GmbH
k.steinmueller@rhm-rohstoffe.de
Tel.: 01511-5500565

Laufzeit:
01.07.2019 – 31.03.2023

Projektwebsite:
<https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/OptiRoDig.html>

Förderkennzeichen:
033R247

können nicht eingesehen werden. Alle Werkstoffe aus dem „Werkstoffschlüssel Stahl“ können als Zielwerkstoffe ausgewählt werden. Zusätzlich können eigene Werkstoffe hinzugefügt werden.

Der Schmelzprozess im Ofen einer Gießerei wurde mit Machine-Learning (ML) modelliert, um so die prozesstechnischen Einflussgrößen zu analysieren. Die ML-Modelle werden in die Cloud-Anwendung integriert, sodass eine Gesamtoptimierung bzgl. metallurgischer Wechselwirkungen in der Schmelze und Gesamtkosten vorgenommen werden kann.

Verschiedene Faktoren beeinflussen den Energieverbrauch beim Schmelzen im Mittelfrequenz-Induktionsofen:

- Direkte Faktoren, wie z.B. Geometrie, Schüttdichte, chemische Analyse, Verunreinigungen etc. der verfügbaren Schrotte wirken sich auf das Einschmelzverhalten aus
- Indirekte Faktoren, wie z.B. Prozess-Delays, führen zu einer längeren Einschaltzeit des Ofens.

- Das Schmelzen ist ein nicht-linearer Prozess (z.B. Wärmeverlust durch Strahlung bei geöffnetem Ofendeckel steigt mit T^4 , d.h. er ist proportional zur vierten Potenz der absoluten Temperatur (T); eine Verdopplung der Temperatur im Schmelzofen bewirkt beispielsweise, dass der Wärmeverlust durch Strahlung um den Faktor 16 ansteigt).
- Da die datenbasierte Modellierung mit Methoden wie z.B. linearer Regression u.a. deshalb schwierig bis unmöglich ist, wurde der Schmelzprozess im Ofen einer Gießerei mit Machine-Learning (ML) modelliert.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Durch die Modellierung des Schmelzprozesses und die Berücksichtigung der jeweils gattierten (d.h. fachgerecht gemischten) Rohstoffe kann ein Prozessmodell entwickelt werden, welches Informationen über die Einflussgrößen auf den Energieverbrauch beim Schmelzen liefert. Solche Modelle decken außerdem Schwachstellen im Prozess auf. Mit Hilfe der linearen Optimierung (Simplex) und des erstellten Prozessmodells (basierend auf ML) können hinsichtlich Energie- und Rohstoffkosten optimierte Gattierungen zusammengestellt werden. Beachtet werden hierbei neben den reinen Rohstoffkosten auch die durch die Modelle prognostizierten Energie- und Primärrohstoffverbräuche.

Die Optimierung des Schmelzprozesses (Erhöhung des Anteils an Sekundärrohstoffen) ermöglicht die Einsparung von Energie und primären Rohstoffen sowie eine Senkung des CO₂-Ausstoßes. Die benötigte Schmelzenergie während des Einschmelzvorgangs fluktuiert stark. Dies entsteht wahrscheinlich prozessbedingt sowie durch die jeweils eingesetzten Rohstoffe und deren Varianz hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung. Das Optimierungspotenzial wird als enorm eingeschätzt.

Verteilung spezifischer Energieverbrauch

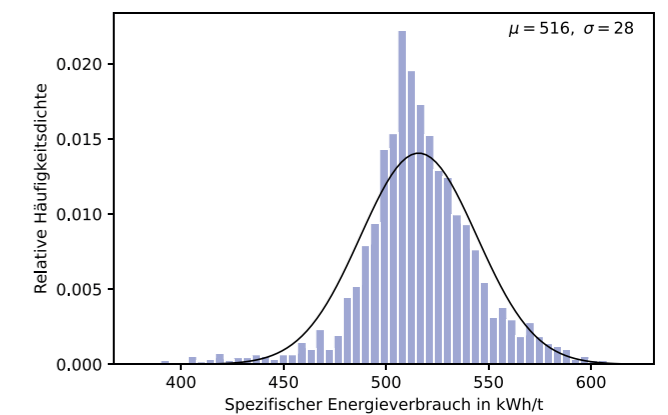


Abbildung 6: Verteilung spezifischer Energieverbrauch (Quelle: HKE)

Ensemble Modell Energieverbrauch (kWh)

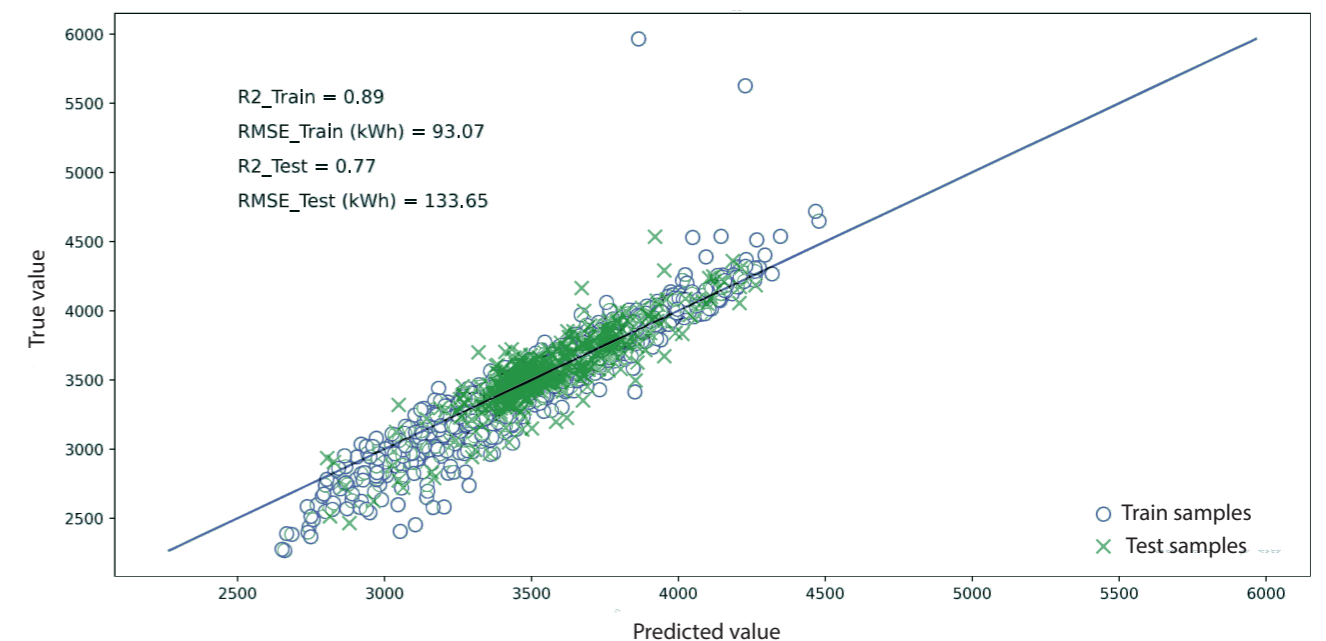


Abbildung 7: Ensemble Model Energieverbrauch (Quelle: HKE)

Entwicklung eines stufen- und kreislauf-übergreifend vernetzten Konfigurators für zirkuläres Wirtschaften (Circular Economy)

Kreislaufwirtschaft, Konfigurator, Reifen, Ökobilanzierung

Krahtova, P. (CAS Software AG)

Ausgangs- und Problemlage

In Deutschland fällt jährlich rund eine halbe Million Tonnen Altreifen an. Nur ein kleiner Anteil wird als Recyclingmaterial für die Herstellung neuer Reifen verwendet.

Altreifen stellen jedoch eine wertvolle Ressource dar und können durch Verwertung als Ressource in den Materialkreislauf zurückgeführt werden. Dabei besteht auch bei den Fahrzeugherstellenden Interesse daran, diesen Anteil zu steigern – eine beispielsweise durch die Altfahrzeug-Richtlinie begründete Motivation, nach welcher Altfahrzeuge zu 85 % wiederverwendet oder recycelt und zu 95 % wiederverwertet werden müssen. Diese Vorgaben sind auch im Hinblick auf die Entwicklung von Neufahrzeugen bzw. deren Komponenten wichtig. Mit der Transformation zur Elektromobilität erhöht sich der Druck, da einige Komponenten von Elektrofahrzeugen schwerer zu recyceln sind als von Verbrennungsmotoren.

Projektziele und Vorgehen

Im Rahmen von „ConCirMy“ wurde untersucht, ob und wie der Reifen hinsichtlich der Ziele einer Kreislaufwirtschaft optimiert werden kann. Es wurde ein Software-Tool entwickelt, das den gesamten Produktlebenszyklus betrachtet und Informationen zur Umweltverträglichkeit bereitstellt, die dann in Kaufentscheidungen berücksichtigt werden und transparente Ökobilanzierungsdaten über verschiedene Produkte liefern können.

Diese können von unterschiedlichen Gruppen, d.h. Akteurinnen und Akteuren der Lieferkette – aus Verbrauch, Reifenherstellung und Recyclingunternehmen – abgerufen und neben anderen wichtigen Faktoren wie Funktionalität und Kosten in der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. So sollen die Herstellung bzw. der Kauf von nachhaltigeren Produkten, die Entwicklung eines umweltfreundlicheren Designs sowie die Zuführung zu einer Wiederverwendung unterstützt werden. Der Konfigurator agiert als vernetzendes Kernsystem, das verschiedenen Akteurinnen und Akteuren der Lieferkette jeweils spezifische Informationen zugänglich macht. Technisch sind sowohl die integrierte Umweltbewertung von Produkten und Komponenten in einem Produktkonfigurator

„ConCirMy“ – Entwicklung eines stufen- und kreislaufübergreifend vernetzten Konfigurators für zirkuläres Wirtschaften (Circular Economy)

Projektbeteiligte:

CAS Software AG; Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN); Technische Universität Berlin, Fachgebiet Innovationsökonomie; DECHEMA Gesellschaft für Chemische, Technik und Biotechnologie e. V.

Koordinator:

Preslava Krahtova
CAS Software AG
Preslava.krahtova@cas.de
Tel.: 0721 9638762

Laufzeit:

01.07.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:

www.concirmy.org

Förderkennzeichen:

033R236

für Endkundinnen und -kunden als auch die vergleichende Umsetzung verschiedener Berechnungsansätze neu.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Für die Analyse der Wertschöpfungskette wurden die Prozesskette der Reifenherstellung vom Rohstoff bis hin zu Recyclingtechnologien untersucht sowie Rückführungsmöglichkeiten und Verwertungswege von Rezyklaten aus Reifen identifiziert. Die Recherchen zeigten, dass Reifen ein hochkomplexes Produkt sind und eine etablierte Produktklassifizierung auf Rohstoffebene nicht frei zugänglich ist. Ein wichtiges Ergebnis des Projektes ist die Entwicklung eines generischen Reifenmodells und eine exemplarische Sachbilanzierung, welche als Grundlage für die Modellierung dient. Die integrierte Nachhaltigkeitsbewertung mit Ökobilanzdaten aus Ecoinvent wurde mit dem generischen Reifenmodell in einem Konfigurator-Prototyp integriert und wird noch getestet und demonstriert. Weiterhin wurde ein cloud-basier-

ter Prototyp entwickelt, der eine multidimensionale nachhaltige Steuerung eines Produktes (Reifen) unterstützt. Parallel zu den technischen Entwicklungen erfolgten sozioökonomische Analysen, ein Feldexperiment sowie ein- und mehrstufige Umfragen zu Akzeptanzfaktoren, z.B. unter Privatpersonen, Fachkräften des Reifenwertschöpfungs-systems, Fuhrparkverantwortlichen sowie Leasingunternehmen. Die Implikationen daraus wurden in der „ConCirMy“-Softwarelösung berücksichtigt. Darüber hinaus wurden Rahmenbedingungen und Umsetzungsbarrieren einer zirkulären öffentlichen Reifenbeschaffung ermittelt sowie Handlungsempfehlungen formuliert.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Im Allgemeinen war das Ziel dieses Projekts, Menschen für das Thema Kreislaufwirtschaft am Beispiel von Reifen zu sensibilisieren. Verbraucherinnen und Verbraucher können nachhaltige Kaufentscheidungen treffen, indem sie Reifen

mit höherer Recyclingquote, runderneuerte Reifen oder Reifen mit niedrigerer Umweltbelastung wählen. Durch dieses neugeschaffene Bewusstsein trägt das Projekt zu Ressourceneffizienz und einem nachhaltigeren Handeln bei. Ein Austausch mit Stakeholder aus dem Fuhrparkmanagement, der Leasingberatung oder der öffentlichen Beschaffung zeigte, dass diese bereits sensibilisiert für das Thema Recycling sind. Vor allem die öffentliche Beschaffung kann signifikant zu einer höheren Nachfrage nach nachhaltigeren Reifen beitragen. Die höhere Kaufkraft der genannten Parteien führt zu einem Multiplikator-Effekt. Gleichzeitig sollen die Standardisierung und Zertifizierung des Datenaustauschs mittels einer DIN SPEC die Digitalisierung der Kreislaufwirtschaft vorantreiben. Diese Entwicklung würde wiederum die Markteinführung umweltfreundlicher Technologien bei der Herstellung von Reifen vereinfachen. Eine weitere Möglichkeit liegt darin, im Konfigurator die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsinformationen bei der Produktauswahl zu integrieren, um auf diese Weise nachhaltige Kaufentscheidungen zu fördern.



Abbildung 8: Recycling von Altreifen (Quelle: pxhere)



Abbildung 9: Altreifen auf dem Wertstoffhof (© Ramona Simon)

Mit Blockchain zu mehr Transparenz in der Lieferkette

Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit, Blockchain, Lieferkette, Transparenz auf Anfrage, LCA

Kötter, A. (Altran Deutschland S.A.S. & Co KG/Capgemini Engineering)

Ausgangs- und Problemlage

Die heutige Produktentwicklung und Fertigung ist im Hinblick auf ihre Rohstoffe und Materialflüsse oftmals linear. Produkte werden entwickelt, verwendet und am Ende ihrer Nutzungszeit entsorgt. Dabei gehen wertvolle Materialien und Rohstoffe verloren und stehen damit für weitere Produkte und Lebenszyklen nicht mehr zur Verfügung. Das gilt nicht nur für alltägliche Produkte, sondern sogar noch mehr für komplexe Produkte wie z.B. ein Flugzeug. Am Ende der Produktlebensdauer werden sogar Firmen extra beauftragt, sich um die „Entsorgung“ zu kümmern. Oftmals werden aus dem komplexen Produkt dabei nicht in ausreichendem Maßstab wertvolle Materialien oder Produkte extrahiert, um diese weiteren Lebenszyklen zuzuführen. Das liegt z.B. an fehlenden Informationen zu den eingesetzten Materialien oder zur Demontage. Außerdem kann für ein komplexes Produkt heute noch kein verlässlicher ökologischer Fußabdruck ermittelt werden, da sich das Produkt über die Lieferkette aufbaut; auch diese Lieferkette (z.B. Transporte) müsste bei der Ermittlung bz.B. des CO₂-Fußabdrucks des Produkts berücksichtigt werden. Zur Lösung beider Problemstellungen bedarf es eines Mindestmaßes an Transparenz in der Lieferkette, um am Lebensende eines Produktes (End-of-Life) notwendige Informationen für eine höhere Recyclingquote zu erhalten. Zusätzlich sind diese nötig, um über die gesamte Lieferkette der Produktion eine belastbare Ökobilanz zu kalkulieren. Sie ist notwendig, um die neuralgischen Punkte mit hohem negativen, aber auch positiven Umwelteinfluss zu identifizieren. Nur so ist es möglich, den kritischen Punkten in der Lieferkette die nötige Aufmerksamkeit zu Verbesserung der Gesamtökobilanz zu schenken.

Projektziele und Vorgehen

Damit die Lieferkette digital erfasst und Informationen geteilt werden können, musste im Projekt „DIBICHAIN“ zunächst das Thema Blockchain besser beleuchtet werden. Dazu wurden die zu Projektbeginn etablierten Blockchaintechnologien miteinander verglichen. Die angewendeten Kriterien waren dabei: Informationssicherheit und Datenschutz, Produktdaten, Community und Support, aber auch Aspekte wie Interoperabilität, Verbreitung und nicht zuletzt der Umweltaspekt und dabei insbesondere der Energiebedarf.

„DIBICHAIN“

Projektbeteiligte:

Airbus; Blockchain Research Lab; Chainstep; iPoint Systems

Koordinator:

Andreas Kötter
Altran Deutschland S.A.S. & Co KG/Capgemini Engineering
andreas.koetter@capgemini.com
Tel.: 0173 5280 866

Laufzeit:

01.07.2019 – 30.06.2022

Projektwebsite:

https://dibichain.com

Förderkennzeichen:

033R241

Außerdem wurden über die gesamte Projektlaufzeit die folgenden vier Aspekte eingehender beleuchtet:

1. (Rück-)Verfolgung von ausgewählten Materialien, deren Veredlung und Verarbeitung von der Rohstoffentnahme bis zur Rückführung in Stoffkreisläufe
2. Sicherstellung der Einhaltung von sozialen und ökologischen Standards über den gesamten Produktlebenszyklus(-kreislauf)
3. Blockchain als „Single Source of Truth“
4. Eindeutige Identifikation und Verfolgbarkeit von Produkten über den gesamten Produktlebenszyklus

Als Vorlage für das Projekt diente hierbei eine Kabinentrennwand des Partners Airbus, deren Produktion, Lebenszyklus und End-of-Life exemplarisch für viele komplexe Produkte anwendbar ist. Nachdem im Projekt Fokusgruppenumfragen und Use Case Workshops organisiert worden waren, wurden die Anforderungen geclustert und in eine Entwicklungsroadmap eingeordnet. Außerdem wurden eine Kategorisierung und eine Priorisierung vorgenommen. Die Ergebnisse dienten dann der sukzessiven Abarbeitung von Konzeption, Design und Softwareentwicklung in iterativer, agiler Vorgehensweise, um einen Demonstrator zu entwickeln.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Die Anforderungen der Fokusgruppen an den Demonstrator spiegeln gegensätzliche Interessen wider: Einerseits ist eine höhere Transparenz notwendig, andererseits wollen die Lieferkettenteilnehmenden unbedingt die Kontrolle über die geteilten Produktdaten behalten. Insbesondere im Bereich der Rezepturen oder besonderer Fertigungstechniken ist die Wahrung von Geschäftsgeheimnissen oberstes Gebot. Um diesen und weiteren Anforderungen gerecht zu werden, war es notwendig, die produktbezogenen Daten, die auf der Blockchain selbst gespeichert werden, auf das notwendigste zu reduzieren. Gleichzeitig darf die Identifikation der Teilnehmenden innerhalb einer bestimmten Lieferkette nur unter bestimmten Bedingungen möglich sein.

Die Lösung ist eine dezentrale Infrastruktur, die es erlaubt, Produktinformationen auf Anfrage auszutauschen. Die Blockchain fungiert dabei als anonymer, integrierter „Broker“, der Anfragen zu einem Produkt/Charge/Material anonym weiterleitet und zustellen kann. Der Empfänger/die Empfängerin kann selbst entscheiden, ob er/sie die Frage beantworten möchte, oder nicht. Die Antworten können aus beliebigen Daten bestehen, die in der IT-Landschaft des Absenders/der Absenderin dann weiter prozessiert werden können. In unserem Beispiel ist das ein Datensatz einer Life-Cycle-Analysis (LCA) eines Zuliefernden, der dann in die GesamtlCA des finalen Produktes integriert werden kann, um direkt aus der Lieferkette Ökobilanzinformationen zu erhalten. Sie ermöglichen eine verlässliche Bewertung des Produkts „von Cradle to X“. Außerdem ist denkbar, dass ausgetauschte Produktdaten gehandelt werden, wodurch neue Einnahmequellen und Geschäftsmodelle entstehen können.

Das Design des Demonstrators ist absichtlich so gehalten, dass beliebige IT-Anwendungen aus den Organisationen der Lieferkettenteilnehmenden angedockt werden können, um produktbezogene Informationen zu liefern, einzulesen oder zu prozessieren. (Bsp.: LCA-Anwendungen, Manufacturing Execution System (MES) oder SAP-Anwendungen)

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

In erster Linie wird mit dem Demonstrator eine Möglichkeit geschaffen, Transparenz in Lieferketten zu bringen bzw. auch die Umwelteinflüsse entlang dieser sichtbar zu machen. Dies führt dazu, dass ein Original Equipment Manufacturer (OEM) z.B. deutlich genauer die negativen Treiber der Ökobilanz seines komplexen Produktes identifizieren, und dadurch deutlich gezieltere Maßnahmen zu ihrer Eliminierung ergreifen kann. Zusätzlich schafft die Lösung eine Möglichkeit, die Recyclingquote zu verbessern, da Entsorgungsunternehmen gezielt Material- oder Demontageinformationen anfragen können. Mit diesen Informationen wird es deutlich leichter, komplexe Produkte zu demontieren, um einzelne Komponenten besser recyceln und dann den Stoffkreisläufen zuführen zu können. Außerdem können wertvolle Inhaltstoffe gezielter identifiziert und ggf. auch besser extrahiert werden. Damit wird Kreislaufwirtschaft gefördert und Abfall vermieden. Darüber hinaus werden die begrenzten Ressourcenvorkommen geschont.



Abbildung 10: Produktzentrierung zur Wahrung des Datenschutzes (Quelle: „DIBICHAIN“ Projekt)

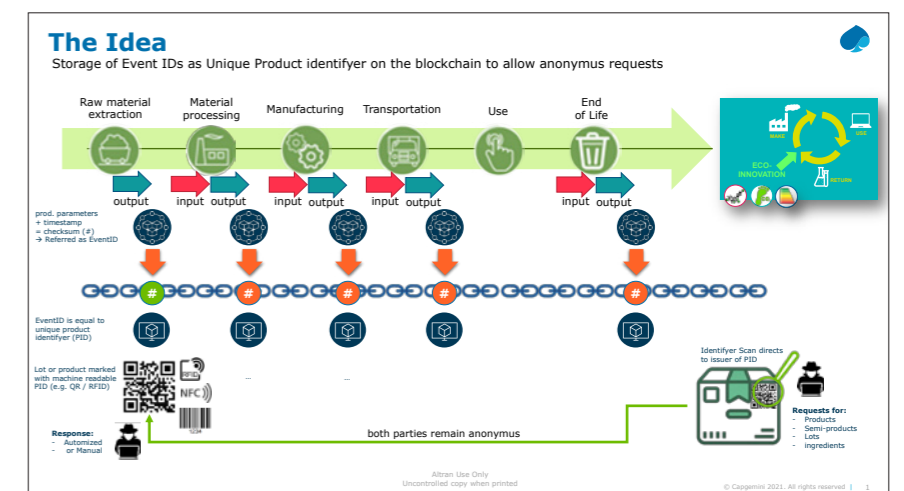


Abbildung 11: Produkt-ID als Informationsanker (Quelle: „DIBICHAIN“ Projekt)

Voll recycelbare Faserverbundkunststoffe für die Kreislaufwirtschaft

Kreislaufwirtschaft, Recycling, Faserverstärkte Kunststoffe, Kunststofffasern, Nachhaltige Geschäftsmodelle, Kunststoffverarbeitung, Klimaneutralität

Görzen, J. (A+ Composites GmbH)

Ausgangs- und Problemlage

In der globalen Nachhaltigkeitsdiskussion mehren sich die Rufe nach einer vollständigen Vermeidung von Kunststoffen, insbesondere infolge der Verschmutzung der Weltmeere durch Kunststoffabfälle. In der EU fallen jährlich rund 26 Millionen Tonnen Kunststoffabfälle an, von denen weniger als 30 % für das Recycling gesammelt werden. Das regulatorische Umfeld – gerade durch die im Januar 2018 veröffentlichte EU-Kunststoffstrategie – ist für die in der Kunststoffindustrie tätigen Unternehmen herausfordernd. So soll die Kunststoffindustrie vollständig in eine Kreislaufwirtschaft überführt werden.¹ Außerdem soll der Ausstoß von CO₂ minimiert werden, um Klimaneutralität zu erreichen. Entsprechend groß ist die Notwendigkeit, die Ressourceneffizienz von Kunststoffen zu erhöhen und Sekundärkunststoffen zu mehr Einsatz zu verhelfen. Jedoch lassen sich Primärkunststoffe häufig nicht einfach durch Sekundärkunststoffe substituieren. Recyclingkunststoffe sind oftmals weniger leistungsfähig als Neuware. Eine naheliegende Lösung ist die Aufwertung der Sekundärkunststoffe durch thermoplastische Faserverbundmaterialien. Doch diese sind häufig nicht recycelbar, sodass sie nach ihrem Einsatz nicht mehr kreislauffähig sind.

Projektziele und Vorgehen

An dieser Stelle setzte das Projekt „All-Polymer“ an. Das Ziel des Projekts war es, voll recyclingfähige faserverstärkte Kunststoffprodukte zu entwickeln, sodass in diesen Primär durch Sekundärkunststoffe ersetzt werden und Rezyklate neuen Anwendungen zugeführt werden können. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Prototypen für Anwendungen in Verpackung, Bauwesen und Automobil – den drei großen Bereichen der Kunststoffindustrie – hergestellt. Sie wurden durch passende unidirektionale Faserverbundbänder, sogenannte UD-Tapes, der Firma A+ Composites GmbH aufgewertet. Der Vorteil der UD-Tapes ist, dass sie bei geringem Materialeinsatz große Einsparungen ermöglichen und viel Flexibilität bei der Wahl der Anwendung bieten. Die Entwicklung der Prototypen wurde durch Material- und Nachhaltigkeitsuntersuchungen der Universitäten Koblenz-Landau und

„All-Polymer“ – Faserverstärkung zur Erhöhung der Ressourceneffizienz hochwertiger, voll recyclingfähiger Kunststoffprodukte

Projektbeteiligte:

Technische Universität Kaiserslautern; Universität Koblenz-Landau; Infinex Holding GmbH; Hahn Kunststoffe GmbH; A+ Composites GmbH

Koordinator:

Dr.-Ing. Markus Brzeski
A+ Composites GmbH
info@aplus-composites.de
Tel.: 06333 9999 060

Laufzeit:

01.09.2019 – 30.11.2022

Projektwebsite:

<https://allpolymer.de>

Förderkennzeichen:

033R237

Kaiserslautern vervollständigt, sodass eine ganzheitliche Betrachtung im Projekt erfolgt ist. Die beteiligten Unternehmen wurden anhand des Tools „Circulytics“ der Ellen MacArthur Foundation bewertet und so deren Stand im Bereich der zirkulären Unternehmensführung ermittelt. Anhand der identifizierten Stärken und Schwächen konnten Hinweise für das Management erarbeitet werden, die den Unternehmen dabei helfen, die Transformation hin zu einem vollständig auf Zirkularität und Nachhaltigkeit ausgerichteten Betrieb vorzunehmen. Als Prototyp aus der Verpackungsindustrie wurde ein volumenreduzierbarer Behälter der Infinex Holding GmbH ausgewählt. Im leeren Zustand kann der Behälter so zusammengefaltet werden, dass für die Leerfahrt auf den Platz eines vollen Behälters fünf zusammengefaltete Behälter passen. Durch „All-Polymer“ sollte nun auch das Material, aus dem dieser Behälter besteht, zirkulär werden. Eine Lebenszyklusanalyse hat gezeigt, dass ein Kunststoffbehälter, der mehrzyklisch verwendet wird, gegenüber Einwegbehältern aus Wellpappe nach bereits 18 Zyklen ökologisch

vorteilhaft ist. Angenommen wird, dass ein Behälter durchschnittlich mehr als doppelt so viele Durchläufe schafft. Damit übertreffen Mehrwegsysteme aus Kunststoff schon nach ein paar wenigen Zyklen konventionelle Einweglösungen.

Die Stegbohle der Hahn Kunststoffe GmbH, die bereits vollständig aus Kunststoffen aus dem Gelben Sack hergestellt wird, wurde für das Projekt „All-Polymer“ als Prototyp aus der Baubranche ausgewählt. Die Bohlen werden auf Unterkonstruktionen montiert. Durch die verbesserte Festigkeit dank der UD-Tapes ist es möglich, den Auflagerabstand zu erhöhen und damit neue Anwendungsfelder zu erschließen sowie bei der Installation Unterzüge einzusparen. Die Röchling Automotive GmbH stellte als assoziierte Partnerin den Prototypen aus der Automobilbranche zur Verfügung. Der Grundgedanke bei der untersuchten Unterbodenstruktur war, mit Hilfe von glasfaserverstärkten Tapes den Leistungsabfall der Bauteile mit Rezyklat abzufangen und zusätzlich den bisherigen Anteil an Glas-Langfasern durch die Verwendung von UD-Tapes zu reduzieren.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Im Projekt konnten signifikante Verbesserungen der technischen Parameter bei den Prototypen aus Sekundärkunststoffen erzielt werden. Somit wurde das Hauptziel des Projekts, Sekundärkunststoffe aufzuwerten, erreicht. Die Prozess- und Materialentwicklungen haben zudem gezeigt, dass die Prototypen in Serienanwendungen überführt werden können, die nicht nur auf die im Projekt betrachteten Anwendungen und Branchen übertragbar sind, sondern auf viele weitere Kunststoffprodukte. Beim Tapelegen und Heiß-Pressverfahren ist ein Aufbringen bzw. Einlegen von UD-Tapes im Serienprozess möglich und damit ohne große Umstellungen in vielen Anwendungen, die diese Technik nutzen, sofort

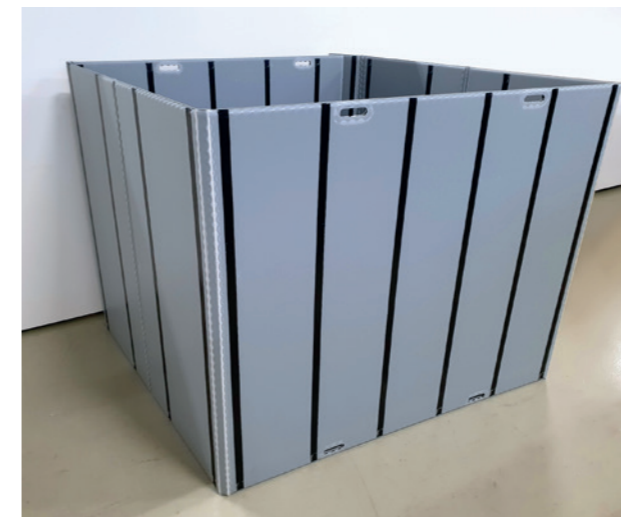


Abbildung 12: Volumenreduzierbarer Behälter (Quelle: Infinex Holding GmbH)

einsetzbar. Durch die Lebenszyklusanalyse wurde deutlich, dass der wesentliche Treiber des CO₂-Ausstoßes die genutzte Energie zur Herstellung ist. Durch eine komplette Umstellung des eingesetzten Stroms auf erneuerbaren Strom kann der CO₂-Ausstoß um 93 % gesenkt werden.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Durch die im Projekt entwickelten voll recycelbaren Anwendungen können die verarbeitenden Unternehmen sehr große Mengen an Primärkunststoffen einsparen. Die Übertragbarkeit auf zahlreiche andere Anwendungsfälle zeigt, dass sich durch das Forschungsprojekt ein neues Produktspektrum für den Einsatz von Sekundärkunststoffen erschließt, das durch Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit gekennzeichnet ist. Unternehmen bekommen durch die im Projekt gezeigte Vorteilhaftigkeit von Mehrwegsystemen starke Anreize, ihre eigenen Strukturen und Herstellungsprozesse auf Nachhaltigkeit hin zu untersuchen und eine komplette Umstellung auf erneuerbare Energien anzustreben.



Abbildung 13: Ausschnitt aus einer faserverstärkten Unterbodenstruktur (Quelle: A+ Composites GmbH)

¹ <https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/priorities/kreislaufwirtschaft/20180830ST011347/eu-strategie-fur-weniger-plastikmull-in-europa> (14.06.2022)

Hochwertige Kreislaufwirtschaft von Porenbeton

Porenbeton, Rohstoffsubstitution, Recycling, CO₂-arme Zemente, Kreislaufmanagement, LCA

Kreft, O. (Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH)

Ausgangs- und Problemlage

Porenbeton (zum Beispiel Ytong®) ist ein seit fast 100 Jahren bekannter und bewährter Baustoff. Porenbeton ist grundsätzlich vollständig recyclingfähig: Bei der Produktion fallen immer Bruch und Verschnittreste an, die entweder zu Granulat (Ölbinder, Wärmedämmschüttungen, Dachbegrünungssubstrate oder im Haustierbereich als Hygienestreu) weiterveredelt oder in aufgemahlener Form in die laufende Produktion von Porenbeton zurückgeführt werden. Im Gegensatz zu diesen frischen Produktionsresten enthält Porenbeton-Abbruchmaterial in der Regel Fremdstoffe, wodurch die Möglichkeit einer hochwertigen Wiederverwertung dieses Materials erschwert wird.

Projektziele und Vorgehen

Ziel des Projektes „REPOST“ war es, Grundlagen für eine ressourceneffiziente, qualitativ hochwertige und wirtschaftliche Kreislaufführung für Porenbeton zu erarbeiten. Der bereits vorhandene Stoffkreislauf für sortenreines Porenbetonmaterial sollte deshalb im zentralen Teilprojekt von „REPOST“ für entsprechendes Altmaterial geöffnet werden. Aus Porenbeton-Altmaterial verschiedener Sortenreinheiten wurden Baustoffprototypen (Porenbeton-, Kalksand- und Leichtbetonsteine) für den Mauerwerksbau entwickelt, die unter Einhaltung normativer Eigenschaftskennwerte jeweils maximal mögliche Mengen an rezykliertem Sekundärporenbeton enthalten. Wo dieses Altmaterial nicht direkt stofflich wiederverwertet werden kann, wurde eine thermische Umwandlung in Dicalciumsilikat, einen Hauptbestandteil von Zementklinker, untersucht. Ziel war, den zu deponierenden Anteil an Porenbeton zu minimieren und in der Porenbetonproduktion die primären Rohstoffe Zement bzw. gebrannten Kalk teilweise mit einem Recyclingprodukt zu ersetzen, das bei seiner Herstellung einen niedrigeren Energieverbrauch und somit niedrigere CO₂-Emissionen verursacht. Darüber hinaus wurde untersucht, ob und wie die Transformation einer konventionellen, linearen Nutzung von Porenbeton in Richtung einer zirkulären und nachhaltigen Nutzung gelingen kann. Dafür sollten Handlungsoptionen auf Basis einer techno-ökonomischen und ökologischen Analyse sowie einer optimierten Standort-Kapazitäts- und Logistikplanung bewertet werden.

„REPOST“ – Recycling Cluster Porenbeton

Projektbeteiligte:

Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH; Otto Dörner Entsorgung GmbH; Karlsruhe Institut für Technologie (Institut für Technische Chemie, Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion)

Koordinator:

Dr. Oliver Kreft
Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH
oliver.kreft@xella.com
Tel.: 03382 7060-187

Laufzeit:

01.06.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:

<https://innovativeproduktkreislaeufe.de/Projekte/REPOST>

Förderkennzeichen:

033R249

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Im Projektverlauf wurden mehrere Lieferungen an vorsortiertem Altporenbeton von Otto Dörner Entsorgung GmbH an die Xella Granulatanlage Rotenburg/Wümme geliefert. Dazu wurde nach Schulung des Personals bei Dörner Porenbeton aus Abbruchmaßnahmen in Hamburg händisch sortiert. Die visuellen Vorprüfungen auf kritische Fremdanteile waren ohne Befund und das Material wurde der Zerkleinerung bei Xella zugeführt. Das entstandenen Porenbetonmehl war frei von Schadstoffen gemäß LAGA M20, TR-Boden, sodass aus chemischer Sicht keine Anwendungsbeschränkungen für das zerkleinerte Altmaterial bestanden.

Nach der Optimierung von Verfahrensparametern und Rezepturen wurden am Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Technische Chemie (KIT-ITC) insgesamt über 100 kg Belitklinker aus vier unterschiedlichen Altporenbetonqualitäten gebrannt und dem Projektpartner Xella zur Verfügung gestellt. Daten zu Stoff- und Energiebilanzen wurden dem Institut für Industriebetriebslehre und industrielle Produktion (KIT-IIP) zur techno-ökonomischen Analyse übermittelt. Im Technikumsmaßstab ließen sich bis zu 50 % des sonst in der Porenbetonherstellung eingesetzten Portlandzements (OPC) durch Recycling (RC)-Zementklinker (Belit) aus Altporenbeton

ton ersetzen (Abbildung 15 zeigt Material aus einer ersten Hochskalierung im Großtechnikum der Xella Technologie und Forschungsgesellschaft mbH mit 25 % RC-Zementklinker). Es wurden Rezepturen für Porenbeton entwickelt, die bis zu 40 M.-% an zerkleinertem Altporenbeton enthalten. Zur Verfügung stehen heute Rezepturen mit 20 M.-% (Porenbeton der Güteklasse PP2, siehe Abbildung 14), 30 M.-% (Güteklasse PP4) sowie 40 M.-% Porenbetonmehl (Porenbeton-Planbauplatte für die Anwendung als nichttragende Innenwand). Diese drei Produktgruppen machten im Jahr 2021 circa 95 % der Xella-Gesamtproduktion an Porenbeton in Deutschland aus. Aktuell werden in Xella-Werken Probeproduktionen auf Basis dieser neuen Rezepturen durchgeführt. Ziel sind Re-

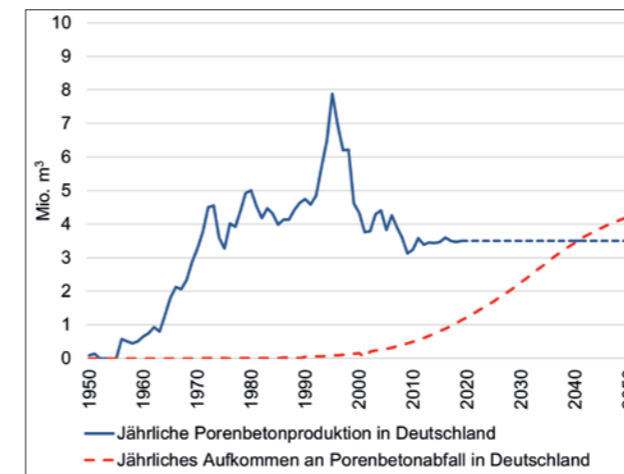


Abbildung 14: Porenbeton (PB)-Neuproduktion und Aufkommen von Porenbetonabfall in Deutschland 1950 – 2050

(Quelle: Steins et al. (2021): Assessment of post-demolition autoclaved aerated concrete (AAC) volumes in Germany, Resources, Conservation & Recycling, DOI: 10.1016/j.resconrec.2021.105504)

zepturfreigaben sowie Produktionsaufnahmen. Die Entwicklung eines Kalksandsteins mit zerkleinertem Altporenbeton sowie eines Leichtbetonsteins unter Verwendung von granuliertem Altporenbeton als Leichtzuschlag wurde im Technikumsmaßstab abgeschlossen. Mittels Modellierung wurden am KIT-IIP die bis 2050 anfallende Mengen an Porenbeton-Abbruchmaterial in Deutschland (auf Landkreisebene) ermittelt. Dabei zeigte sich, dass in den nächsten Jahren und Jahrzehnten mit einem signifikant steigenden Aufkommen zu rechnen ist, das von 1,2 Millionen m³ im Jahr 2020 auf über 4 Millionen m³ im Jahr 2050 steigen kann (siehe Abbildung 14). Transfermöglichkeiten bestehen einerseits bei der Ausweitung des Porenbeton-Recyclings auf ganz Europa. Hier sind insbesondere in Großbritannien und in Polen signifikante Aufkommen an Altporenbeton erwartbar. Andererseits könnten die eingesetzten Methoden auch zur Etablierung/Optimierung von Recyclingnetzwerken für andere Baustoffe aus dem Gebäuderückbau genutzt werden.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Eine ökobilanzielle Bewertung verschiedener Verwertungsoptionen für Altporenbeton zeigte, dass das Recycling mit großen CO₂-Einsparungen sowie einer signifikanten Reduktion weiterer Umweltauswirkungen einhergeht. Die beste Recyclingalternative hinsichtlich der Treibhausgasemissionen ist das Beimischen von Altporenbeton in gemahlener Form in der Herstellung von Porenbeton (closed-loop Recycling). Durch diese Verwertung lässt sich eine Einsparung von fast 0,5 kg CO₂ pro kg Altporenbeton erreichen. Für eine vollständige Rezepturumstellung innerhalb der Xella Deutschland GmbH würden pro Jahr circa 60 kt Altporenbeton benötigt. Daraus ergibt sich ein Einsparpotenzial für Treibhausgasemissionen von bis zu 30 kt CO₂eq pro Jahr.



Abbildung 15: Herstellung von Porenbetonprototypen im Großtechnikum der Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH; unten links: Porenbeton Planblock Ytong® PP2-0,35 mit 20 % Anteil an Altporenbeton; unten rechts: Porenbeton Planblock mit RC-Zementklinker (Belit) aus Altporenbeton (Quelle: Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH)

Upcycling-Zentrum

Kreislaufwirtschaft, Ressourceneffizienz, Kaskadennutzung von Reststoffen, Upcycling, Produktentwicklung, zirkuläres Design, soziale Inklusion

Heck, P. (Hochschule Trier/lfaS - Institut für angewandtes Stoffstrommanagement)

Ausgangs- und Problemlage

Ziel von „UPZENT“ war, den Projektansatz eines Upcycling-Zentrums in ein übertragbares Geschäftsmodell zu überführen und an weiteren Standorten zu erproben. „UPZENT“ vereinte Ressourceneffizienz, Kreislaufwirtschaft und soziales Engagement über professionelle Produktentwicklung und die Zusammenarbeit mit sozialen Werkstätten. Es fokussierte den Aufbau eines geschlossenen Stoffkreislaufs durch die Nutzung gewerblicher Reststoffe. Diese, von unterschiedlichen regionalen Unternehmen stammenden Reststoffe, bilden die Hauptkomponenten der „UPZENT“-Produkte. Die Reststoffe wurden auf ihre Nachhaltigkeit und Wiederverwertbarkeit geprüft sowie selektiert, da dies Voraussetzung für die kaskadische Nutzung des Reststoffes im Sinne der Kreislaufwirtschaft war. Dabei wurden folgende Reststofffraktionen verwendet: Holz, Kartonage, Textilien und Kunststoffe. Die Kombination aus hochwertigem Design und regionalen Reststoffen ließ Neues entstehen: sozialintegrative und ressourcenschonende Designprodukte, welche von Langzeitarbeitsuchenden und Migrierten gefertigt wurden.

Projektziele, Vorgehen und Forschungsergebnisse

Im Projekt wurde ein inter- und transdisziplinärer Forschungsansatz mit hohem Praxisbezug verfolgt. Die Kompetenzen von „UPZENT“ reichten von Stoffstrommanagement über Finanzierung und Kreislaufwirtschaft, Projektmanagement, Ingenieurwissenschaften, Networking, Produktdesign bis hin zu handwerklichen Fertigkeiten. Weiterhin wurden das produzierende Gewerbe und die Entsorgungsbranche eingebunden. Im Projektverlauf entwickelten die Verbundbeteiligten das Kreislaufproduktdesign, den Herstellungsprozess und die Produktqualität sowie -sicherheit stetig weiter. Verschiedene Arbeitstreffen zur Weiterentwicklung des Produktkatalogs, zahlreiche Produktkonferenzen, die Standardisierung der „UPZENT“-Verfahren und Abstimmungen für die Produktvermarktung wurden durchgeführt. „UPZENT“ verband diverse Lebenswelten und stärkte den gesellschaftlichen Zusammenhalt, indem Menschen unterschiedlicher Ausbildung, sozialer Verhältnisse, Altersgruppen und Herkunft zusammenarbeiteten. Es wurden Arbeitsplätze für diejenigen geschaffen, die es am gegenwärtigen Arbeitsmarkt schwer haben. Herstellungsorte der „UPZENT“-Produkte waren die sozialen Werkstätten AQA gGmbH in Neunkirchen (Saarland) und FAUK e. V. in Herzogenrath (Re-

„UPZENT“ – Upcycling-Zentrum Ein partizipatives Geschäftsmodell zur Sensibilisierung und Implementierung einer ressourceneffizienten Kreislauf- wirtschaft

Projektbeteiligte:

K8 Institut für strategische Ästhetik gGmbH; AQA gemeinnützige Beschäftigungs- und Qualifizierungsgesellschaft des Landkreises Neunkirchen (AQA gGmbH) und Förderverein Arbeit, Umwelt und Kultur in der Region Aachen e. V. (FAUK e. V.)

Koordinator:

Prof. Dr. Peter Heck
Hochschule Trier, Umwelt-Campus Birkenfeld,
lfaS – Institut für angewandtes Stoffstrommanagement
info@upcycling-saar.de
Tel.: 06782 17-2621

Laufzeit:

01.09.2019 – 31.08.2022

Projektwebsite:

www.upzent.de

Förderkennzeichen:

033R239

gion Aachen), welche durch die Zusammenarbeit mit „UPZENT“ einen Marktzugang, Qualifizierung und Wertschätzung erlangten. Die leitenden Personen der Werkstatt und Mitarbeitende kooperierten im Rahmen des Projektes mit Forschenden und Design-Fachleuten, um die Upcycling-Produkte, beginnend bei den Materialien über das Design bis hin zur Produktion, nachhaltig zu gestalten. Mit steigendem Bekanntheitsgrad und Erfolg von „UPZENT“ ist die Zusammenarbeit mit weiteren sozialen Werkstätten geplant. Es wurden ca. 90 verschiedene Reststoffe aus lokalen Unternehmen gesammelt und je nach Nutzen zu Upcycling-Prototypen sowie den bereits in Vermarktung befindlichen Produkten verarbeitet. Derzeit verfügt „UPZENT“ über ca. 15 marktreife Produkte, es sind rund zehn Prototypen in Entwicklung und weitere fünf Produkte wurden einem Re-Design-Prozess unterzogen. Seit Projektbeginn wurden bereits mehr als 2.500 Produkte aus verschiedenen gewerblichen Reststoffen von den sozialen, beteiligten Werkstätten hergestellt. Im regionalen Umfeld der „UPZENT“-Standorte Neunkirchen und Herzogenrath wurden knapp 30 Kooperationen mit lokalen Unter-

nehmen geschlossen. Ziele der Kooperationen waren die Kaskadennutzung von Reststoffen und die Sensibilisierung der Unternehmen für eine kreislauffähige Verwertung der in ihrem Unternehmen anfallenden Reststoffe sowie für mehr Ressourceneffizienz. Somit erfolgte durch „UPZENT“ zugleich eine Sensibilisierung für nachhaltigen Konsum. Die verschiedenen Reststoffe, welche durch die Kooperationen akquiriert werden konnten, wurden in Form einer Reststoffbibliothek inventarisiert und für weitere Kooperationen sowie Produktgestaltungszwecke dokumentiert.

Ressourceneffizientes Geschäftsmodell

Für die Entwicklung des Geschäftsmodells wurden geeignete Organisations- und Kooperationsformen untersucht, die eine Ausweitung des bestehenden Ansatzes ermöglichen. Das bereits aufgebaute Upcycling-Zentrum in Neunkirchen mit seinem Unternehmens-Netzwerk fungierte dabei als Best-Practice-Modell. Im Rahmen der Entwicklung eines Geschäfts- und Organisationsmodells wurden der Entwicklungsstand im Bereich kreislauffähiger Geschäftsmodelle recherchiert, eine Methodologie zur Entwicklung des Kreislaufwirtschaftsmodells definiert und die Organisationsmodelle bestehender Upcycling-Betriebe analysiert. In diversen Workshops entwickelte sich auf Grundlage des Business Model Canvas das „UPZENT“-Geschäftsmodell mit der Berücksichtigung sozialer, ökonomischer und ökologischer Aspekte. Dieses neue Modell ermöglichte innovative Ansätze, die bis dahin nicht berücksichtigt wurden. Anhand der bisherigen Ergebnisse wurden die Abläufe von „UPZENT“ analysiert und die wichtigsten projektbezogenen Prozesse (Stoffstrom- und Reststoffanalyse, Produktdesign und -gestaltung, Auftragsabwicklung und Fertigung) definiert. Ziel der Definition der Prozessketten war, die Arbeitsabläufe zu standardisieren und die jeweiligen Zuständigkeiten zu verdeutlichen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Im Zuge der Nachhaltigkeitsbewertung wurden drei Kategorien definiert:

- 1) qualitative Betrachtung anhand ausgewählter UN-Nachhaltigkeitsziele (SDGs – Sustainable Development Goals) zur Identifizierung der Effekte von „UPZENT“ auf Nachhaltigkeit, Zirkularität und Kreislaufwirtschaft
- 2) qualitative und quantitative Zusammenfassung der sozialen, ökonomischen und ökologischen Leistungskennzahlen der „UPZENT“-Aktivitäten im Projektzeitraum
- 3) Detailuntersuchung der „UPZENT“-Leuchtturm-Produkte“ zur möglichen Einsparung von Treibhausgasen je Produkt im Vergleich zur konventionellen (meist thermischen) Verwertung der verwendeten Reststoffe

Es wurden verschiedene, öffentlichkeitswirksame Aktivitäten durchgeführt. So konnten innerhalb der Projektlaufzeit

schätzungsweise 450.000 Menschen durch Zeitungsartikel, 110.000 Menschen durch Filmbeiträge sowie ca. 1.000 Menschen durch Vorträge, Vernetzungstreffen und Sensibilisierungsmaßnahmen erreicht werden.

Möglichkeiten des Transfers

Im Projektverlauf wurden die Phasen und Prozesse von „UPZENT“ detailliert analysiert. Diese wurden so dokumentiert und standardisiert, dass der Projektansatz von weiteren sozialen Werkstätten übernommen und die gemeinsame Arbeit mit allen Beteiligten erleichtert werden kann. Die Standardisierung der Prozesse sichert und vereinfacht die Übertragbarkeit des Konzepts auch nach der Finanzierungsphase. Der Betrieb von „UPZENT“ wird in enger Zusammenarbeit mit den Projektbeteiligten fortgesetzt; die in den vergangenen Jahren erworbenen Erfahrungen und das Know-how sind hierbei von entscheidender Bedeutung.

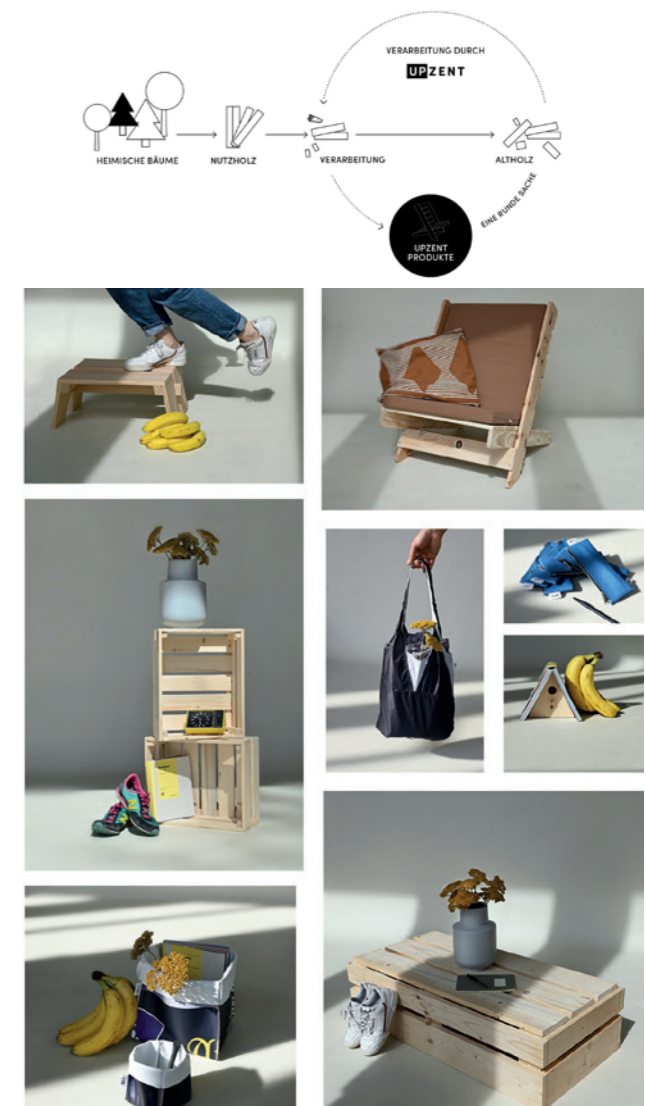


Abbildung 16: „UPZENT“-Reststoffkreislauf, „UPZENT“-Produkte (Quelle: „UPZENT“, 2022)



Quelle: ChayTee - stock.adobe.com

Cluster 2: Verlängerte Produktnutzung

Eichert, C. (RITTEC Trade + Consulting GmbH & Co. KG)

Eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft beschränkt sich nicht auf die Wiedergewinnung von Materialien oder Produkten, sondern zielt explizit auf eine möglichst lange Nutzung von Produkten ab. Auch in der Abfallhierarchie, die Grundlage aller rechtlichen Regelungen ist, die Weiter- und Wiederverwendung eine zentrale Rolle: Auf die oberste Hierarchiestufe Vermeidung („Reduce“) folgt dem das Weiternutzen („Reuse“). Erst wenn beides nicht mehr möglich ist, folgt das Recycling, bei dem die Materialien und Rohstoffe wiedergewonnen werden, um in neue Produkte einzugehen.

In der Fördermaßnahme „ReziProK“ wurden eine Vielzahl von Ansätzen erforscht und entwickelt, in denen die Weiternutzung, d.h. die Lebensverlängerung von Produkten, im Mittelpunkt stand. Dies reichte von der Nutzungsverlängerung von Elektro- und Elektronikprodukten durch Reparatur und Gebrauchtgeräthandel, Mietmodelle für Bekleidung oder Modelle für die Weiternutzung von Möbeln und Ausstattungsgegenständen bis zu Weiterverwendungen spezifischer metallverarbeitender Werkzeuge und Schneidgeräte. Die Grundlagen, die eine Weiternutzung, eine Reparatur oder auch ein wertschöpfendes Recycling ermöglichen, wurden im Design gelegt. Einzelne Projektteams untersuchten den Einfluss des Designs z.B. auf die Reparatur oder die Möglichkeit zum Komponentenaustausch, um so die Leistungsmerkmale des Produkts zu verbessern. Wie lassen sich die Funktionalitäten eines Mobiltelefons durch ein modulares Design erweitern oder wie trägt eine Reduktion der Materialvielfalt in Elektrogroßgeräten zur Steigerung der Produktqualität im Recycling bei? Auch der Frage nach dem Sinn und den Einsatzmöglichkeiten von Mehrwegverpackungen im Onlinehandel wurde nachgegangen, denn dessen Versandverpackungen stellen heute eine unübersehbar große Abfallmenge dar.

Auch wenn die Inhalte der einzelnen zehn Projekte des Clusters „Verlängerte Produktnutzung“ kaum unterschiedlicher sein könnten, haben sie eines gemeinsam: die Entwicklung von Geschäftsmodellen. Diese waren ebenso vielfältig wie die Projekte selbst. Im Rahmen des Austauschs über die Projektgrenzen hinweg stellte sich heraus, dass es nicht „DAS“ Geschäftsmodell für eine Verlängerung der Produktnutzung gibt. So waren es bei dem einen Projekt die Daten, die während der Nutzungsphase einer Pumpe erfasst werden, um den Montage-Fachleuten direkt mögliche Reparaturhinweise zu geben, so dass nicht die gesamte Pumpe, sondern nur einzelne Teile ausgetauscht werden müssen. Die standardisierte Erstellung von Reparaturanleitungen trägt dazu bei, dass sich

Reparaturaufwendungen optimieren lassen und Reparaturen so effizienter und damit attraktiver werden. Weitere identifizierte Geschäftsmodelle stellten das Eigentum in den Mittelpunkt. Herstellende sollen sich schon bei der Erstellung ihres Produkts über den späteren Rückbau und die Weiterverwendung Gedanken machen. Solche Modelle sind nicht nur für mobile Geräte, sondern auch für Büroeinrichtungen bzw. ganze Bürolandschaften entwickelt worden.

Viele erfolgversprechende Ansätze werden nach der Entwicklungsphase im Rahmen der Projekte ihren Weg in die Umsetzung finden. Doch gute technische Lösungen und tragfähige Geschäftsmodelle alleine reichen nicht. Am Ende müssen Kundinnen und Kunden davon überzeugt werden, dass eine Weiternutzung von Produkten keine „Lösung zweiter Klasse“, sondern eine sinnvolle Ergänzung des stetig Neuen sein kann und sollte. Die durch die Projektteams des Clusters „Verlängerte Produktnutzung“ durchgeführten Marktstudien haben hier Defizite offengelegt, deren Beseitigung größere Anstrengungen erfordert als die Realisierung technischer Produktpassungen. Der gesellschaftliche Mindset insgesamt muss sich ändern. Dies ist und bleibt eine Aufgabe aller Beteiligten der Wertschöpfungskette. Andere Akteurinnen und Akteure, wie Markenherstellende, sind aufgefordert die Ergebnisse aus den Projekten der Fördermaßnahme „ReziProK“ aufzugreifen und in die Neugestaltung ihrer Geschäftsmodelle und ihrem Marketing im Sinne einer Ressourceneffizienz einbinden.



Abbildung 17: Eine verlängerte Produktnutzung schont Ressourcen (Quelle: pixabay).

Mehr als nur Schrott – Ressourcen neu denken!

Stahl, Schneidwaren, Remanufacturing, Repurposing

Kästner, T. (TKM GmbH)

Ausgangs- und Problemlage

Mit dem nationalen und globalen Ressourcenverbrauch steigen auch die Umweltwirkungen z.B. der Gewinnung von Ressourcen. Der Ansatz der Circular Economy bietet Möglichkeiten, beides wirksam zu senken. Für Produkte auf Eisen (Fe)-Basis ist eine etablierte Möglichkeit das Recycling, also das Schließen von Stoffkreisläufen. Weitere Möglichkeiten, die vor dem Umschmelzen ansetzen, sind das Remanufacturing und Repurposing. Auf diese Weise können die Materialien länger im Wirtschaftszyklus gehalten und genutzt werden. Die kooperierenden Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus dem Bergischen Land schlossen im Projekt „CoT“ beispielhaft Stoffkreisläufe in der ansässigen metallverarbeitenden Industrie. Ziel des Projekts war es, Ressourcen- und Energieverbrauch zu senken sowie die neuen Produktionsprozesse wirtschaftlich tragfähig zu gestalten. Bei der Entwicklung kam es zu vielfältigen Herausforderungen. So bedurfte es neuer Prozesse für die sortenreine Rückführung, um den qualitativ hochlegierten Werkzeugstahl entweder im originären Herstellungsprozess zu nutzen oder unternehmensübergreifend in Produktionsketten zu integrieren. Der wesentliche Fortschritt lag dabei im Vermeiden des Umschmelzens. Zwar ist auch dieser in der Stahlindustrie dominierende Recyclingprozess Teil einer Kreislaufwirtschaft, geht jedoch mit Verlusten von Legierungsmetallen sowie hohen Energie- und Ressourcenverbräuchen einher.

Projektziele und Vorgehen

Das grundlegende Ziel des Projekts war der modellhafte Umbau eines Industriezweigs, der die Möglichkeiten der Kreislaufschließung anwendungsbezogen umsetzt. Weitere Ziele waren die Verlängerung der Nutzungsdauer hochwertiger Materialien und die Vermeidung von Verlusten. Die Verlängerung der Nutzungsdauer bezog dabei auch die Quantifizierung von werkstoffkundlichen Eigenschaften mit ein. Neben einem starken Produktfokus umfasste das Projekt auch die Untersuchung der regionalen Übertragbarkeit. So war ein zentrales Anliegen, Möglichkeiten von digitaler Unterstützung, Netzwerke und Kooperationen für eine regionale Übertragbarkeit zu nutzen. Das Projektteam verfolgte dauerhaft das Ziel, ökonomische und ökologische Effekte vor dem Hintergrund der Ressourceneffizienz zu quantifizieren. Grundlegend für die Entwicklung eines funktionierenden Produktionsprozesses war die Auswahl

„CoT“ – Circle of Tools: Entwicklung und Erprobung von Demonstratoren im Kontext der zirkulären Wertschöpfung von Werkzeugstählen

Projektbeteiligte:

TKM GmbH; Kirschen-Werkzeuge Wilh. Schmitt & Comp. GmbH & Co.; P.F. Freund & CIE. GmbH; Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; Bergische Universität Wuppertal; PlanConsult GmbH

Koordinator:

Thomas Kästner
TKM GmbH
tkaestner@tkmgroup.com
Tel.: 02191 969 296

Laufzeit:

01.07.2019 – 31.12.2022

Förderkennzeichen:

033R230

von geeigneten Handwerkzeugen als Zielprodukte, die sich aus einem Maschinenkreismesser als Ausgangsprodukt herstellen lassen. Nach der Erhebung des Status Quo sowie der Untersuchung produktspezifischer Materialeigenschaften und -funktionalitäten wurden Fertigungsprozesse entwickelt bzw. angepasst. Das umfasste auch die Entwicklung eines Rückholungsprozesses und dessen Einbindung in die administrativen Prozesse der Unternehmen sowie ihres Geschäftsmodells. Die Prozesserhebung und -entwicklung war grundlegend für die ökologische und ökonomische Bewertung. Das Anwendungsbeispiel wurde zuerst auf Unternehmensebene übertragen, dann folgte eine Analyse der wesentlichen Industriezweige des Bergischen Städtedreiecks (Remscheid, Wuppertal, Solingen). Die partizipativen Transferformate dienten dem Verbreiten des innovativen Projektansatzes sowie dem Erkennen von Barrieren, für die Handlungsempfehlungen abgeleitet wurden.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Das Forschungsprojekt zeigte die Umsetzbarkeit der Circular Economy in der Schneidwarenindustrie auf. Der entwickelte Fertigungsprozess vermeidet das energieintensive Umschmelzen im Recycling und nutzt die hochwertigen Materialeigenschaften in einem zweiten Produktlebenszyklus. Das führte zu einer Steigerung der Funktionalität der Handwerkzeuge durch eine erhöhte Verschleißbeständigkeit und eine sich daraus ergebende höhere Produktstandzeit. Die Nutzungsdauer erhöhte sich um bis zu Faktor fünf. So war es möglich, den Energie- und Ressourcenbedarf sowie die Treibhausgasemissionen zu halbieren. Dasselbe galt für die Selbstkosten. Damit konnte gezeigt werden, dass die postulierten ökologischen und ökonomischen Vorteile der Circular Economy in der Schneidwarenindustrie realisiert werden können. Dabei sind ressourcen- und energieintensive Prozesse wie das Schleifen, aber auch die zusätzliche Rückholung zu optimieren. Ansonsten besteht die Gefahr, dass die ökologischen und ökonomischen Einsparungen überkompensiert werden. In der metallverarbeitenden Industrie besteht ein großes Interesse, Schrotte umzuarbeiten und für die Fertigung von Neuwaren zu nutzen. Hier bieten sich vor allem Stoffströme auf einer niedrigen Verarbeitungsstufe an. Die Übertragbarkeit ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Dabei ist die Auswahl von Zielprodukten ausschlaggebend für die Machbarkeit. Faktoren wie Geometrie, geeignete Fertigungsverfahren, Umgestaltung des Zielprodukts, die Demontage-

fähigkeit und vor allem die Kompatibilität der Materialeigenschaften sind entscheidend. Auch die Wirtschaftlichkeit ist früh im Prozess zu berücksichtigen. Dabei eignen sich vor allem Produkte, die die Einpreisung der erhöhten Nachhaltigkeit ermöglichen und so mögliche ökonomische Mehraufwendungen kompensieren.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Die beispielhafte Integration der Wertschöpfungsketten dreier Unternehmen in der Schneidwarenindustrie zeigt den möglichen ökologischen und ökonomischen Mehrwert der Circular Economy. Die Mehrfachnutzung des Stahls steigerte auch die Ressourceneffizienz. Durch die Materialeigenschaften des hochwertigen Stahls des Ausgangsprodukts konnte die Lebensdauer der Zielprodukte erheblich gesteigert werden, was auch zum Verlangsamen der Stoffströme führte. Welche Einsparung durch das Repurposing tatsächlich realisiert werden konnte, war von der Nutzungsdauer abhängig sowie der langfristig verminderten Produktion. Das Projekt zeigte auch das Interesse und das Potenzial einer regional konzentrierten Industrie auf – in diesem Fall die Schneidwaren- und Metallverarbeitungsindustrie im Bergischen Städtedreieck: Die vermeintlichen Abfallströme eines Betriebs können ein wertvoller Ressourceninput eines anderen Betriebs sein.

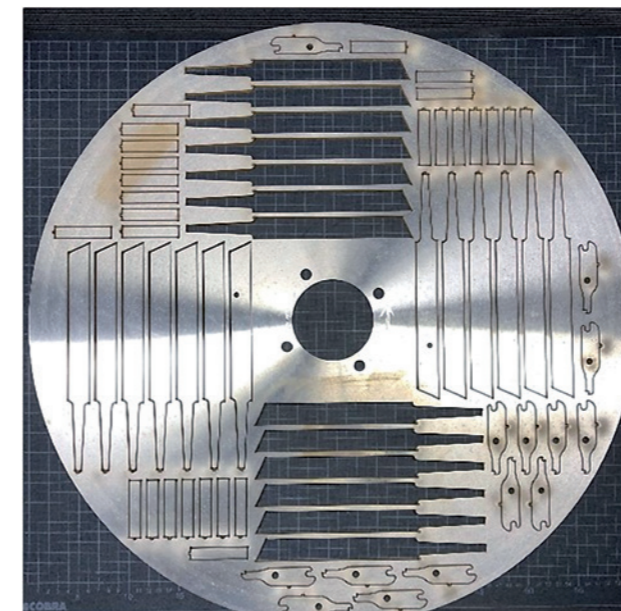


Abbildung 18: Umarbeiten von Schneidwaren (Quelle: Bergische Universität Wuppertal)



Abbildung 19: Entnommene und geschliffene Repurpose Produkte (Quelle: Bergische Universität Wuppertal)

Plattform zur effizienten Ressourcenauslastung in der Möbel- und Ausstattungsindustrie

Kreislaufwirtschaft, Möbel, Plattform, Geschäftsmodelle, Produkt-Service-Systeme

Wulf, F. (Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde) und Balder, J. (Technische Universität Berlin)

Ausgangs- und Problemlage

Büromöbelhersteller wie auch Ausstellungs-, Messe- und Kulissenbauer müssen zunehmend auf flexiblere Bedürfnisse wie z.B. Coworking-Büros reagieren. Diese neuen Arbeitsumfelder wurden bereits 2015 vom Verband der deutschen Möbelindustrie als Megatrend „New Work“ identifiziert². Zugleich führen ein verändertes Umweltbewusstsein bei den Kunden sowie gestiegene Umweltauflagen zu der Überlegung, auch Möbel in einem Kreislaufsystem anzubieten. Jüngste Materialengpässe und Preissteigerungen³ lassen die Möbel- und Ausstattungsbranchen zusätzlich über ihre Wertschöpfungsketten nachdenken.

Das Forschungsprojekt „PERMA“ greift diese Trends auf und hat sich zum Ziel gesetzt, geeignete Geschäftsmodelle zur Verlängerung der Produktnutzungsdauer, insbesondere in den Bereichen Möbel-, Messe-, Event-, Ausstellungs- und Kulissenbau zu etablieren. Diese folgen den so genannten R-Strategien⁴ (Abb.20) und ermöglichen die Reduktion des Verbrauchs von Primärressourcen sowie eine verstärkte Kreislaufführung von Materialien. Zur Umsetzung dieser Geschäftsmodelle wird eine Plattform etabliert, welche die Vermarktung von Produkten und Services wie auch den Austausch zu ressourceneffizienten Konstruktions- und Produktionslösungen für den Möbelbau möglich macht.

Projektziele und Vorgehen

Um die Projektziele zu erreichen, wurden zunächst kreislauforientierte Geschäftsmodelle (BM) im Sinne des „Product-as-a-Service“-Ansatzes⁵ (PaaS) entwickelt, welche die Produktlebensdauer der Möbel und Ausstattungen signifikant verlängern können. Dabei bleibt das Produkteigentum beim Hersteller, das Produkt wird gegen eine Nutzungsgebühr für die Kunden bereitgestellt. Ein Planer vermittelt zwischen dem Hersteller und den Kunden und koordiniert zusätzlich Logistik- und Service-Unternehmen für alle im Produkt-Lebenszyklus anfallenden erforderlichen Repair- und Refurbish-Maßnahmen. Planer haben damit eine zentrale Rolle,

„PERMA“ – Plattform zur effizienten Ressourcenauslastung in der Möbel- und Ausstattungsindustrie

Projektbeteiligte:

System 180 GmbH; Kubix GmbH; StoneOne AG; Technische Universität Berlin; Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde

Koordinator:

Andreas Stadler
System 180 GmbH
perma@system180.com
Tel.: 030 788 58-41

Laufzeit:

01.08.2019 – 31.07.2022

Projektwebsite:

www.planet.furniture

Förderkennzeichen:

033R227

da sie über den Verlauf der Nutzungsperioden der Möbel hinweg zentrale Ansprechpartner bleiben. Durch Hinweise zur Konstruktion können schon bei der Neuentwicklung von Möbeln und Innenrichtungen erforderliche Reparatur-, Wiederaufbereitungs- und Weiterverwendungsmaßnahmen in zeitlicher- und aufwand-bezogener Hinsicht minimiert werden. Weiterhin wird in PERMA ein Bewertungslabel konzipiert, welches die hierarchisch geordneten Produktzustände separat in den Kategorien „Optik“ und „Funktionalität“ darstellt. Die Entwicklung eines Wiederverwendbarkeitslabels ermöglicht die Kennzeichnung und Klassifizierung der Langlebigkeit und des Wiederaufbereitungsvermögens eines Möbelstücks, sowie des angebotenen Service des Herstellers.

Um die neuen Geschäftsmodelle realisieren, Konstruktionshinweise geben und Produktzustände beurteilen zu können, wurde eine digitale Plattform entwickelt, auf der diese Aktivitäten gebündelt werden und die alle Akteure miteinander verbindet.

2 Megatrends, imm cologne; Verband der Deutschen Möbelindustrie e.V., Bad Honnef, 2015

3 Verband der deutschen Möbelindustrie (2021). Materialengpässe in der Möbelindustrie verschärfen sich weiter. URL [https://www.moebelindustrie.de/presse/3431/materialengpaesse-in-der-moebelindustrie-verschaerfen-sich-weiter.html] Zugriff am 16.05.2022

4 Kirchherr J, Reike D, Hekkert M (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resour Conserv Recycl. 127: 221-232

5 Tukker, A. (2015). Product services for a resource-efficient and circular economy—a review. Journal of cleaner production, 97, 76-91.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Es wurden kreislaforientierte Geschäftsmodelle definiert und zukünftig benötigte Geschäfts- und Wertschöpfungsprozesse identifiziert. Nachfolgend wurden die zugehörigen Arbeitsabläufe und Supportprozesse zunächst als User Stories formuliert und anschließend mit Hilfe des Tools Signavio in BPMN 2.0 beschrieben. Für die Plattform wurden Kernfunktionalitäten festgelegt sowie benötigte Datenschnittstellen abgeleitet und in ein Grobkonzept überführt. Mit Hilfe der entstandenen Prozesslandschaft konnte der Design- Entwurf zur Bedienoberfläche der Plattform umgesetzt werden. Aus diesem wurde ein funktionsfähiger Prototyp entwickelt, der kontinuierlich weiterentwickelt wird. Auf Ebene der Konstruktion wurden ressourceneffiziente Gestaltungsregeln, ein Konzept für die Zustandsbewertung der auf der Plattform angebotenen Produkte sowie ein Wiederverwendbarkeits-Label erstellt. Weiterhin wurden erste Schritte zum Aufbau eines Partner- Netzwerkes gemacht.

Zukünftig soll es durch die Öffnung des Innovationsprozesses ermöglicht werden, dass Teilnehmer der Plattform im Rahmen eines Wertschöpfungsnetzwerkes gemeinsam weitere Innovationen für die Möbel- und Ausstattungsbranche schaffen. Dafür müssen die gefundenen Geschäftsmodelle erweitert werden, und die dazu erforderlichen Geschäftsprozesse definiert werden. Die Plattform muss zusätzlich Funktionalitäten wie ein WIKI zur gemeinschaftlichen Sammlung und Dokumentation von Erfahrung und Wissen bzw. eine Wissensbasisbibliothek und die Möglichkeit zur Open Innovation abbilden.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Durch die Forschungsarbeiten wurden grundlegende Erkenntnisse zur Adaption kreislauforientierter Geschäftsmodelle für die Möbel- und Ausstattungsindustrie gewon-



Abbildung 20: R-Strategien zur Verbrauchsreduzierung von natürlichen Ressourcen und Schließung von Stoffkreisläufen mit Kennzeichnung derer, die von dem Forschungsprojekt „PERMA“ abdeckt werden (Quelle: in Anlehnung an Kirchherr et al. (2017) und Potting et al. (2017)).

nen. Die erarbeiteten Gestaltungsregeln ermöglichen die Konstruktion von Möbeln, die aufwandsarm zu montieren, demontieren und wiederaufzubereiten sind. Im Sinne der Ressourceneffizienz können dadurch bei Produktion, Logistik und Lagerung Energie und damit CO₂ eingespart werden. Durch die Anwendung ressourceneffizienter Gestaltungsregeln kann schon beim Design der Möbel berücksichtigt werden, dass diese den Kundenbedürfnissen auch auf lange Sicht gerecht werden und über mehrere Nutzungsperioden hinweg Verwendung finden können. Die Anwendung des Modularitäts-Prinzips erlaubt den Tausch von funktionalen Elementen und Komponenten und schafft damit die benötigte Flexibilität, Möbel über ihre Lebensdauer hinweg an den Bedarf unterschiedlicher Arbeitsumfelder anzupassen.

Durch die Vergabe des Wiederverwendbarkeitslabels entsteht zwischen den Herstellern ein Wettbewerb, Möbel ressourceneffizienter zu konstruieren und für das Serviceangebot im Sinne des PaaS-Ansatzes zu optimieren. Dieser Ansatz ermöglicht es zudem, die Einsatzdauer von Möbeln zu verlängern und neue Märkte zu erschließen. So erleichtert beispielsweise die Umsetzung von Miet-Modellen Kunden den Zugang zu höherwertigeren Möbeln aus regionaler Produktion, wodurch der Import von Discount-Möbeln meist aus Billiglohnländern und aus nicht einheimischen Materialien, reduziert wird. Fertigung und Reparatur finden ebenfalls regional statt.

Durch die Einrichtung einer digitalen Plattform wird die Ausübung von kreislauforientierten Geschäftsmodellen erst ermöglicht. Da Kreislaufwirtschaft im Möbelbau-Sektor bisher eher unüblich ist, wird durch die Etablierung der Plattform eine Stärkung der Kreislaufwirtschaft erwartet. Die Plattform dient zugleich der Bildung eines Netzwerkes (Abb. 2) von Forschungs- und Bildungseinrichtungen wie auch Normungsinstituten, welche ihre Expertise in die modulare Gestaltung von Möbeln durch Mitarbeit an den Handlungsempfehlungen zur fortlaufenden Optimierung der Konstruktionsregeln einbringen. Über die Plattform werden Erkenntnisse zu Designregeln und zu Kreislaufprozessen in Form von Publikationen oder Blog- und Social Media-Beiträgen veröffentlicht, sodass weitere Hersteller dadurch zur Teilnahme an Kreislaufwirtschaftsprozessen inspiriert werden. Dadurch gelingt ein Transfer nicht nur in die beteiligten Unternehmen, sondern auch über die Grenzen der PERMA-Community hinaus.

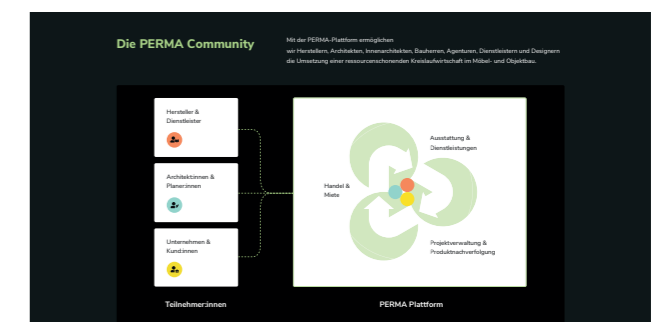


Abbildung 21: „PERMA“- Community- Website (Quelle: „PERMA“).

Schließung von Kreisläufen für Bauprodukte aus dem Innenausbau mittels geeigneter Geschäftsmodelle

Geschäftsmodelle, Innenausbau, Produktkreislauf, Rückführung, 2nd use, Eingesetzte Rohstoffmenge, CO₂-Aufwand, Planspiel

Flamme, S. (FH Münster)

Ausgangs- und Problemlage

Das Ausbaugewerbe ist in Deutschland mit etwa 136 Milliarden Euro Umsatz und etwa 1,2 Millionen Beschäftigten in 252.000 Betrieben der bedeutendste Sektor im Baubereich. Die hier eingesetzten Bauprodukte haben im Vergleich zum Rohbau deutlich kürzere Umlaufzeiten, meist weniger als zehn Jahre. Dies ergibt sich durch einen Wechsel der Nutzerinnen und Nutzer oder veränderte Bedürfnisse, z. B. aufgrund von gestalterischen Aspekten, technischen Modernisierungen oder geänderten Raumnutzungskonzepten. Während die Gebäudehülle und die Konstruktion überwiegend unberührt bleiben, sind vor allem die Gewerke im Innenausbau hiervon betroffen, sodass Produkte häufig entsorgt werden, bevor sie ihr technisches Lebensende erreicht haben. Um die Nutzungsintensität bzw. Ressourceneffizienz der eingesetzten Materialien zu erhöhen, könnte neben technischen Modifikationen (z. B. zur Verbesserung der Recyclingfähigkeit der Bauprodukte) auch die temporäre Vermietung der Produkte (Leasing) durch die Herstellenden ein Lösungsansatz sein. Dabei übernehmen diese über den gesamten Lebenszyklus die Verantwortung für ihre Produkte. Grundsätzlich sollten mit diesem Projekt zwei Ziele verfolgt werden: 1. Verlängerung der Lebensdauer eines Produktes, z. B. durch modulares Umbauen im Bestand oder Vermarktung als 2nd-use-Bauteil und 2. Rohstoffsicherung durch effiziente Recyclingverfahren nicht wiederverwendbarer Produkte.

Projektziele und Vorgehen

Hier im Projekt „RessProKA“ sollten die Kreisläufe von Bauprodukten geschlossen werden, die im mengenrelevanten Innenausbau eingesetzt werden und bei denen die Herstellenden, u. a. mittels geeigneter Geschäftsmodelle, die „Produktverantwortung“ über den gesamten Lebenszyklus für ihre Bauprodukte übernehmen. Voraussetzung für ein funktionsfähiges, ressourceneffizientes Geschäftsmodell ist das Zusammenspiel aus technischem Kreislauf (Produktdesign, Produktion, Einbau, Nutzung, Instandhaltung, Rückbau, Verwertungsoptionen) in einem geeigneten rechtlichen sowie kaufmännischen Rahmen. Aus diesem Grund berücksichtigte das Projekt „RessProKA“ die Optimierung des technischen Kreislaufs auch unter Berücksichtigung ausgewählter öko-

„RessProKA“ – Schließung von ressourceneffizienten Produkt-Kreisläufen im Ausbaugewerbe durch neue Geschäftsmodelle

Projektbeteiligte:

FH Münster, Institut für Infrastruktur · Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU); Betriebswirtschaftliches Institut für Abfall- und Umweltstudien (BIFAS); Lindner Group KG, Arnstorf

Koordinator:

Prof. Dr.-Ing. Sabine Flamme
FH Münster, Institut für Infrastruktur – Wasser-Ressourcen-Umwelt (IWARU)
flamme@fh-muenster.de
Tel.: 0251 83-65153

Laufzeit:

01.07.2019 – 30.06.2022

Projektwebsite:

www.fh-muenster.de/forschung/forschungsprofil/projekt.php?anzeige=projekt&pr_id=1020

Förderkennzeichen:

033R250

logischer Aspekte und die Ausgestaltung von tragfähigen kaufmännischen und rechtlich geprüften Geschäftsmodellen für kreislauffähige Produkte. Die Verantwortung für die Rückführung nach Gebrauch und die Refabrikation tragen dabei die Herstellenden. Das Projektteam von „RessProKA“ verfolgte eine Übertragung der entwickelten Konzepte und Instrumente auf andere Bauprodukte.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Im Rahmen des Projektes wurden exemplarisch drei Produkte der Firma Lindner aus den Bereichen Boden, Decke und Wand betrachtet. Dabei diente der NORTEC-Doppelboden zunächst als Pilotprodukt. Die Vorgehensweise wurde anschließend auf das Stahldeckensegel und qualitativ auch auf eine Systemwand übertragen. Zunächst wurden die Produkte

unter technischen Aspekten betrachtet. Um die Rückführung und im besten Fall eine Wiederverwendung zu ermöglichen, muss eine gute Rückbaubarkeit und möglichst eine Standardisierung der Bauteile gewährleistet werden. Sowohl der Doppelboden als auch das Deckensegel bieten diesbezüglich bereits ein hohes Potenzial. Bei der Systemwand ist eine Standardisierung, z. B. durch Einhaltung von Rastermaßen, erforderlich. Die entwickelten Geschäftsmodelle umfassten sogenannte „Circular Economy Bausteine“ wie die Vereinbarung einer Rückgabepflicht, eines Rückgaberechts sowie das Angebot von 2nd-use-Produkten, von Serviceleistungen innerhalb der Vertragslaufzeit und die Auswahl von Finanzierungsmodellen. Mittels Planspielen, an denen u. a. Kundinnen und Kunden der Lindner Gruppe sowie Planende und Dienstleistende der Immobilienbranche teilnahmen, wurden diese Bausteine einem ersten simulierten Praxistest unterzogen. Dabei wurden u. a. die Rolle der CO₂-Bewertung, die möglichen Kostenauswirkungen und der Wunsch nach Serviceleistungen erörtert. Als Ergebnis zeigte sich ein großes Interesse an den entwickelten Geschäftsmodellen und die Bereitschaft, 2nd-use-Produkte einzusetzen. Vor allem der CO₂-Bilanz wurde eine große Bedeutung zugemessen. Diese wurde im Zuge der ökologischen Bewertung gemeinsam mit der Berechnung der eingesparten Rohstoffmenge Teil der ökologischen Bewertung. Durch die Umsetzung der entwickelten Geschäftsmodelle ließen sich für den Doppelboden bis zu 42 % der CO₂-äquivalenten Emissionen und bis zu 48 % der einzusetzenden Rohstoffe einsparen. Die entsprechenden ökonomischen Auswirkungen wurden in Form einer dynamischen Szenarioanalyse untersucht. Für die Betrachtung des Bodens zeigte sich, dass das Kreislaufmodell bereits heute kostenseitig dem Status Quo überlegen ist. Für die 2nd-use-Produkte können Kostensenkungen zwischen 10 % und 25 % erzielt werden. In den betrachteten Szenarien

konnte gezeigt werden, dass diese Spanne mit zunehmenden Energie- und CO₂-Preisen noch deutlich größer wird. Um die entwickelten Geschäftsmodelle praktisch umzusetzen, ist auch eine rechtliche Betrachtung erforderlich. Diese fokussierte sich insbesondere auf zivilrechtliche und steuerrechtliche Rahmenbedingungen mit dem Ergebnis, dass die Geschäftsmodelle zivilrechtlich mit der heutigen Rechtsprechung bereits umzusetzen sind. Steuerrechtlich sind hingegen noch weitere Klarstellungen notwendig. Die Übertragbarkeit der Geschäftsmodelle auf andere Bauprodukte und andere Baubereiche wurde bereits mit den assoziierten Partnerinnen und Partnern wie Schüco, z. B. für die Segmente Fenster, Außentüren oder Fassade, bzw. dem resource Stiftung e. V. als unabhängige Initiative aus Wirtschaft, Gesellschaft, Wissenschaft und Politik diskutiert und wird auch weiterverfolgt.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Durch die prozess- und praxisorientierte Entwicklung und Umsetzung der Geschäftsmodelle am Beispiel von verschiedenen Produkten der Fa. Lindner wurden ein recyclinggerechter Rückbau und eine Wiederverwendung oder ein Recycling von Elementen des Innenausbau erreicht. Dadurch lassen sich deutlich Rohstoffe und CO₂-äquivalente Emissionen einsparen. Im Bereich Boden werden erste Ansätze bereits umgesetzt, indem aufbereitete Gipsfaserplatten als 2nd-use-Produkte angeboten werden. Zudem sind bereits Pilotprojekte initiiert worden. Durch die intensive Betrachtung der einzelnen Prozessschritte zur Aufstellung der Geschäftsmodelle ist eine Übertragbarkeit auf andere Bauprodukte und andere Baubereiche gegeben.

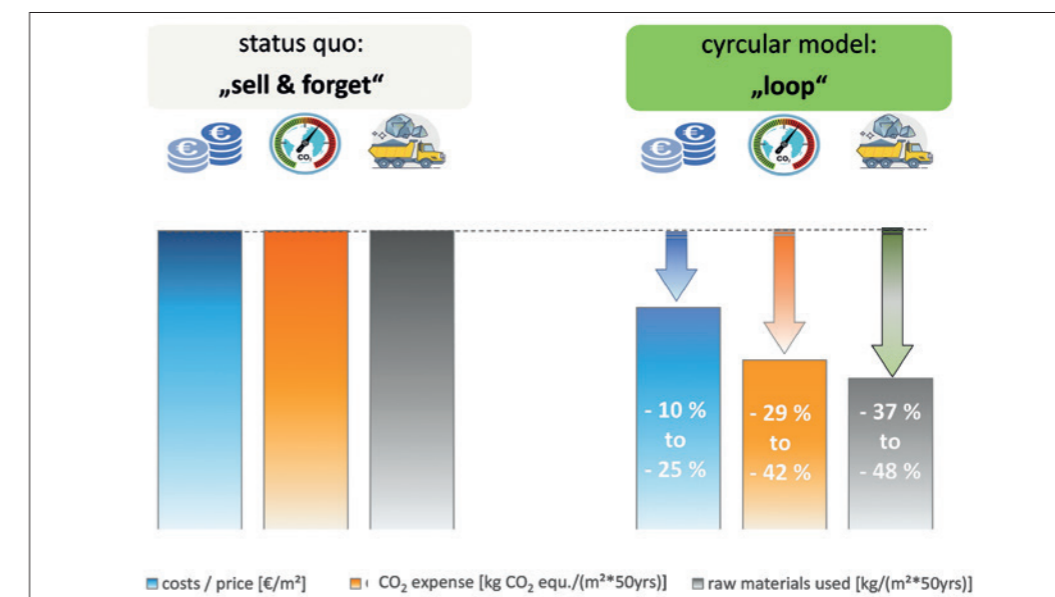


Abbildung 22: Ökonomische und ökologische Wirkungen (Quelle: eigene Darstellung „RessProKA“)

Miet-Modelle: Die Lösung für mehr Nachhaltigkeit in der Modebranche?

Mieten statt besitzen, Kreislaufwirtschaft, Kleidung und Textilien, Geschäftsmodelle, fashion rental, sustainable fashion, Produkt-Service-Systeme, collaborative fashion consumption

Bodenheimer, M. (Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung)

Ausgangs- und Problemlage

Laut Schätzungen der Europäischen Union sind zwischen 2 % und 10 % der negativen Umweltauswirkungen des Konsums in den Mitgliedsstaaten mit der Modeindustrie verbunden.⁶ Diese Last ergibt sich u. a. aus den hohen verkauften Stückzahlen bei gleichzeitig geringer Nutzungsintensität. Zugleich ist das Potenzial für Ressourceneinsparungen in diesem Sektor beträchtlich, da im Durchschnitt jedes dritte Kleidungsstück nie oder seltener als viermal pro Jahr getragen wird.⁷ Um diese Probleme anzugehen, muss die Nutzung einzelner Kleidungsstücke intensiviert und damit der Bedarf an Neuproduktionen verringert werden. Mögliche Lösungen sind entweder, dass Menschen ihre Kleidung länger und häufiger tragen und gleichzeitig weniger davon kaufen, also die sogenannte Slow Fashion, oder dass Teile von mehreren Nutzerinnen und Nutzern nacheinander getragen werden. Auf dieses Prinzip setzen Mode-Miet-Modelle, bei denen die Kundinnen und Kunden Kleidung für eine bestimmte Zeit mieten, bevor dieselben Teile dann an den nächsten Nutzen weitervermietet wird. Hierdurch kann die Nutzung einzelner Kleidungsstücke deutlich intensiviert werden.

Projektziele und Vorgehen

Ziel des Projekts „Wear2Share“ war es, die ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit von Mode-Miet-Modellen zu untersuchen und Optimierungspotenziale aus ökologischer, betriebswirtschaftlicher und konsumentenpsychologischer Sicht zu erarbeiten. Die Grundlage des Projekts bildete eine enge Zusammenarbeit mit der Geschäftsführung der ehemaligen Relenda GmbH, die über viele Jahre hinweg Erfahrungen im Vermieten von nachhaltiger Damenoberbekleidung und Kindermode sammeln konnte und den Forschenden tiefe Einblicke in ihr Geschäftsmodell gewährte. So war es möglich, eine realitätsnahe Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Konzepts anzufertigen, in der sowohl die größten Hürden als auch Chancen für die Zukunft identifiziert wurden. Diese Informationen wurden durch eine Analyse des Marktpotenzials ergänzt, welche sich auf Befragungen von Kundinnen und Kunden zweier repräsentativer Zielgruppen

„Wear2Share“ – Innovative Kreislauf-geschäftsmodelle in der Textilwirtschaft

Projektbeteiligte:

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI; Thekla Wilkening/Cool Circles UG; bubble.kid berlin kidswear; Ehemals Relenda GmbH

Koordinator:

Dr. Miriam Bodenheimer
Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI
miriam.bodenheimer@isi.fraunhofer.de
Tel.: 0721-6809-352

Laufzeit:

01.07.2019 – 30.06.2022

Projektwebsite:

<https://t1p.de/prejn>

Förderkennzeichen:

033R248

stützte. Des Weiteren fanden zwei Stakeholder-Workshops mit Vertreterinnen und Vertretern aus der Textilbranche und ihrer Peripherie statt und Interviews mit Expertinnen und Experten wurden geführt. Um die ökologische Nachhaltigkeit des Geschäftsmodells zu bewerten, wurde eine vereinfachte Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040 (2021) durchgeführt, die die Wirkungskategorien Treibhausgaspotenzial (GWP₁₀₀), kumulierter Energieaufwand (KEA) und Wassernutzung betrachtete.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Zum Einstieg die gute Nachricht: Mode mieten hat im Vergleich zum Online-Shopping eine vorteilhaftere Umweltbilanz, da der vermiedene Wasser- und Energieaufwand für die Produktion neuer Kleidungsstücke den Energiebedarf höherer Transportlasten durch den wiederholten Versand überkompensiert. Das Einsparpotenzial für den modellierten Fall der Damenoberbekleidung mit Nutzungsdaten aus der

Praxis liegt bei ca. 31 % für Treibhausgasemissionen und kumuliertem Energieaufwand sowie bei 37 % für den Wasserverbrauch (Abbildung 23). Einsparungen sind dabei schon ab dem zweiten Mietzyklus möglich. Die Sensitivitätsanalysen zeigen aber auch, dass Einsparungen durch falsches Nutzungsverhalten verloren gehen können, wie z. B. lange Pkw-Strecken beim Rückversand, viele Waschzyklen und die Nutzung von Trocknern.

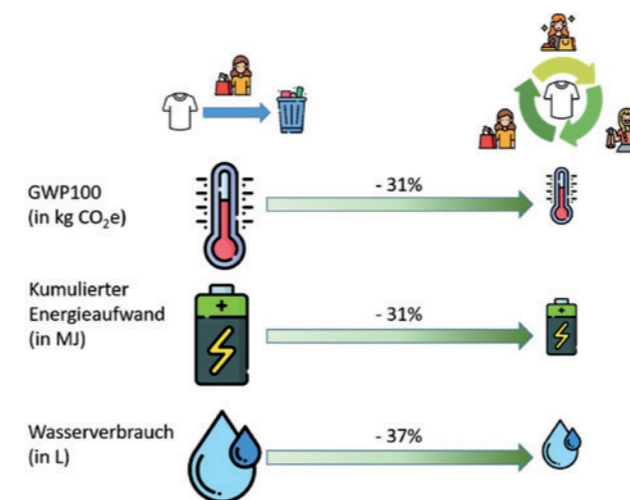


Abbildung 23: Vergleich der Ökobilanz eines linearen Kaufmodells (links) und eines Kreislaufmodells (rechts) für Damenoberbekleidung (Quelle: Fraunhofer ISI, Flaticon)

Die Zielgruppenbefragungen zeigten, dass sich 32 % der befragten Frauen und 53 % der befragten Eltern das Mieten von Kleidung vorstellen können. Frauen akzeptieren dabei auch das in der Branche gängige Abo-Modell. Bei Abo-Modellen ist der Preis das entscheidende Kriterium für die Befragten, wichtiger als Stückzahl, Wechselhäufigkeit, Nachhaltigkeit oder Marken, die über die Abo-Flatrate bezogen werden können.

Für das Mieten spricht, dass Kleidung, die nur einmal gebraucht wird, nicht gekauft werden muss (77 %), das Vermeiden von Fehlkäufen (61 %) und die Möglichkeit, neue Stile auszuprobieren (60 %). Auch der Umweltgedanke motiviert viele der Befragten (53 %). Als Hindernis stellt sich vor allem ein oft unterschätzter Faktor dar: das Vertrauen. Geschäftsmodelle der Sharing Economy, die auf gemeinschaftlichem Konsum beruhen, basieren auf Vertrauen.

Als sensible Themen für potenzielle Kundinnen und Kunden von Fashion-Rental-Modellen lassen sich die Frage der Haftung für Schäden (70 %), die Befürchtung, am Ende mehr Geld zu zahlen, als wenn das Produkt direkt gekauft würde (53 %), und ein Zweifel an der einwandfreien Qualität der geliehenen Produkte nennen (55 %). Auch der Wunsch, Kleidung zu besitzen, statt zu mieten, spielt noch eine erhebliche Rolle

(66 %). Ebenfalls hinderlich ist der fehlende Bekanntheitsgrad alternativer Konsummodelle: nur 39 % der Befragten wissen von der Möglichkeit, Kleidung zu mieten, zwei Drittel der Befragten haben noch nie von dem Konzept gehört. Vor allem der letzte Punkt ist eine große Herausforderung für das Geschäftsmodell, indem sich die Aqise und Bindung der Kundschaft als sehr teuer erwiesen. In Kombination mit dem hohen Preisdruck auf dem Markt, der durch das Überangebot von schneller, billiger Fast Fashion entsteht, kommt das Geschäftsmodell im Bereich der Vermietung von Alltagskleidung schnell an seine Grenzen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Der Austausch mit Praxisakteurinnen und -akteuren stand im Zentrum des Projekts. Neben ausführlichen Gesprächen mit der Geschäftsleitung der Relenda GmbH fanden auch Workshops und Interviews statt, in denen die Projektergebnisse mit insgesamt 27 Vertreterinnen und Vertretern aus Herstellung, Logistik, Handel, Vermietung und Nachsorge diskutiert und weiterentwickelt wurden. Als Fazit lassen sich daraus eine Reihe von Empfehlungen ableiten, um das klar vorhandene Ressourceneffizienzpotenzial von Mode-Miet-Modellen in Zukunft besser zu entfalten.

Für zukünftige Anbieterinnen und Anbieter von Mietmode empfiehlt es sich, mit einem Sortiment hochpreisiger und langlebiger Kleidungsstücke für besondere Anlässe anzufangen und hohe Marketinginvestitionen einzuplanen, um den Bekanntheitsgrad des Angebots zu steigern. Wenn dieses Modell erfolgreich etabliert ist, sollten Abos für Alltagsmode eingeführt werden, die das Nachhaltigkeitspotenzial nochmal deutlich steigern können. Um diese Entwicklung zu unterstützen, müssen sich auch die Rahmenbedingungen auf dem Markt ändern. So würde bspw. eine erweiterte Produzentenverantwortung Anreize für Herstellende schaffen, ihre Kleidung langlebiger zu gestalten. Dadurch könnten einzelne Teile häufiger vermietet werden, was sowohl ökologisch als auch betriebswirtschaftlich zu begrüßen wäre.

Durch eine Senkung der Mehrwertsteuer für nachhaltige Geschäftsmodelle ließe sich dem Konkurrenzdruck durch die billige, aber wenig nachhaltige Fast Fashion entgegenwirken. Auf das Geschäftsmodell angepasste Versicherungslösungen könnten dazu beitragen, Bedenken der Kundinnen und Kunden bezüglich der Schadenshaftung zu verringern und so einen wesentlichen Hinderungsgrund für die Teilnahme beseitigen.

⁶ [www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI\(2019\)633143_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/633143/EPRS_BRI(2019)633143_EN.pdf)

⁷ www.greenpeace.de/si-tes/www.greenpeace.de/files/publications/20151123_greenpeace_detox_ergebnisbe-richt_fast_fashion.pdf

Datenbasierte Geschäftsmodelle für die Kaskadennutzung und verlängerte Produktnutzung von Elektro(nik)produkten

Elektronikprodukte, Kreislaufwirtschaft, Kaskadennutzung, Nutzungsverlängerung, Reparatur, Wiedervermarktung, Nachhaltige Geschäftsmodelle

Eichert, C. (RITTEC Trade + Consulting GmbH & Co. KG)

Ausgangs- und Problemlage

Elektro(nik)produkte sind in modernen Gesellschaften unverzichtbar. Durch die höheren Einkommen, die kürzeren Produktlebenszyklen und die globale Industrialisierung werden immer mehr Elektro(nik)produkte auf den Markt gebracht.⁸ Die multi-materielle Zusammensetzung, die unterschiedlichen Verbindungstechniken und die auf Herstellung/Montage optimierten Produkte sind komplex. Das bisher vorherrschende lineare Grundprinzip der industriellen Wirtschaft, welches auf dem Muster Herstellung, Gebrauch und Entsorgung (Make, Use, Dispose) beruht, stößt an seine Grenzen. Die Menge an Elektroschrott nimmt weltweit jährlich um rund 2 Millionen Tonnen zu. Im Jahr 2030 werden 74,7 Millionen Tonnen Elektronikmüll erwartet. Den daraus resultierenden erheblichen Umweltauswirkungen und dem steigenden Ressourcenverlust muss durch eine Kreislauf-führung von Elektro(nik)produkten entgegengewirkt werden.

Projektziele und Vorgehen

Das Projekt „EffizientNutzen“ zielte darauf ab, die Lebens- und insbesondere Nutzungsdauer von Elektro(nik)produkten signifikant zu erhöhen. Neben der Analyse aktueller Marktstrukturen und der Entwicklung nachhaltiger Geschäftsmodelle (vgl. Abbildung 24) wurden im Projekt zwei zentrale Handlungsstränge zur Gewinnung praxisnaher Erkenntnisse verfolgt:

- „Reparatur von Elektro(nik)produkten“ (siehe Forschungsergebnisse I) sowie
- „Neuvermarktung gebrauchter Elektro(nik)produkte“, (siehe Forschungsergebnisse II)

„EffizientNutzen“ – Datenbasierte Geschäftsmodelle für die Kaskadennutzung und verlängerte Produktnutzung von Elektronikprodukten

Projektbeteiligte:
RITTEC Trade + Consulting GmbH & Co. KG; Robert Bosch GmbH; Circular Economy Research GmbH; TEQPORT Services GmbH; TU Braunschweig; TU Clausthal

Koordinator:
Carsten Eichert
RITTEC Trade + Consulting GmbH & Co. KG
eichert@rittec-trade.eu
Tel.: 04131 408-5544

Laufzeit:
01.07.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:
www.effizientnutzen.de

Förderkennzeichen:
033R240

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

I) Reparatur von Elektro(nik)produkten

Im Rahmen des Handlungsstrangs „Reparatur von Elektro(nik)produkten“ wurde eine kostenfreie und herstellenden-unabhängige Reparaturstudie mit begleitenden Teilnehmendenbefragungen über eine Laufzeit von 18 Monaten durchgeführt. Die Erkenntnisse wurden u.a. in einer Vielzahl an Reparaturanleitungen und Veröffentlichungen (Rudolf et al. 2022) festgehalten. Am Ende der Reparaturstudie zeigte sich, dass von den 524 reparierten Elektro(nik)produkten 58 % innerhalb von durchschnittlich 5,5 Stunden repariert und dadurch eine Nutzungsverlängerung erzielt werden konnte. Für eine wirtschaftliche Reparatur muss hierbei der Neupreis

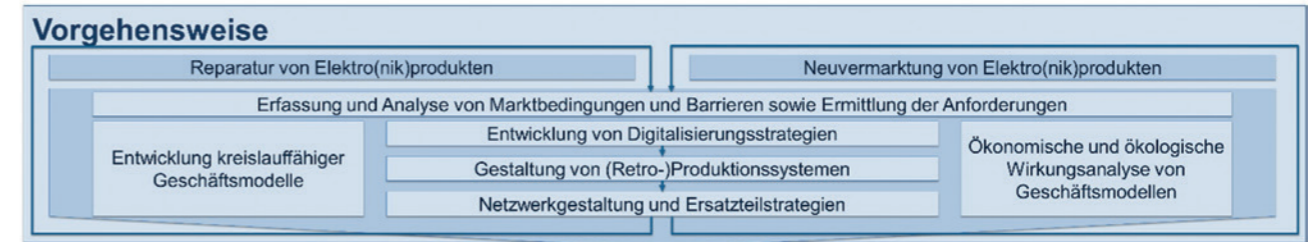


Abbildung 24: Vorgehen und Arbeitspakete im Projekt „EffizientNutzen“ (Quelle: „EffizientNutzen“)

eines Produkts bei durchschnittlich mind. 90 € liegen. Die meisten Kundinnen und Kunden waren bereit, Elektro(nik)produkte zu reparieren, wenn die Reparaturkosten bei 20 – 40 % des Neuanschaffungspreises liegen. Bei Befragungen, im Rahmen des Projekts, stellte sich jedoch heraus, dass die Reparatur insbesondere auf Seite der Kundinnen und Kunden ein Imageproblem hat (Hieronymi et al. 2020). Dazu tragen u. a. das mangelnde Vertrauen in die Qualität und Langlebigkeit eines gebrauchten Gerätes bei, die von potenziellen Käuferinnen und Käufern meist nur schwer zu beurteilen sind. Ausgehend von den Ergebnissen der Reparaturstudie wurde ein Reparaturportal-Prototyp mit dem Ziel aufgebaut, durch den einfachen Zugang zu Reparaturanleitungen für Fachleute die Reparaturzeit und somit die Kosten für Reparaturen zu senken (siehe Handlungsempfehlungen in Rudolf et al. 2022). Das zugrundeliegende Geschäftsmodell wird nun weitergehend geprüft, um es weiteren Akteurinnen und Akteuren zugänglich zu machen.

II) Neuvermarktung gebrauchter Elektro(nik)produkte

Im Rahmen des zweiten Handlungsstrangs „Neuvermarktung gebrauchter Elektro(nik)produkte“ ist es gelungen,

eine innovative Methode zur Gestaltung von nachhaltigen Geschäftsmodellen zu entwickeln (vgl. Abbildung 26). Es wurden zentrale Barrieren und Handlungsempfehlungen für die Neuvermarktung von Gebrauchtgütern identifiziert. Aktuell wird die Gründung einer „Initiative Gebraucht“ (Arbeitstitel) geprüft, die das Thema „Gebrauchtgerät“ propagieren und durch Maßnahmen (z. B. die Entwicklung einfach anzuwendender Qualitätskriterien, rechtliche Absicherung von Erwartungen an Gebrauchtgüter, Leitfaden für Wiederverwendung) zu einer verstärkten Nutzung von Gebrauchtgütern beitragen kann.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Die Forschungsergebnisse und Geschäftsmodelle tragen dazu bei, Hürden für Gebrauchtgüter abzubauen, Ressourcenkreisläufe zu schließen und Kundinnen und Kunden transparent aufzuzeigen, welche positiven Umweltauswirkungen nachhaltiger Konsum hat. Bestenfalls findet so ein Umdenken zum Kauf von Gebrauchtgütern und der Nutzung von Reparaturangeboten statt. Es hat sich gezeigt, dass es wirtschaftlich möglich ist, eine Nutzungsverlängerung durch Reparatur oder Wiedervermarktung zu erzielen und somit Primärressourcen für die Neuproduktion von Elektro(nik)produkten einzusparen.

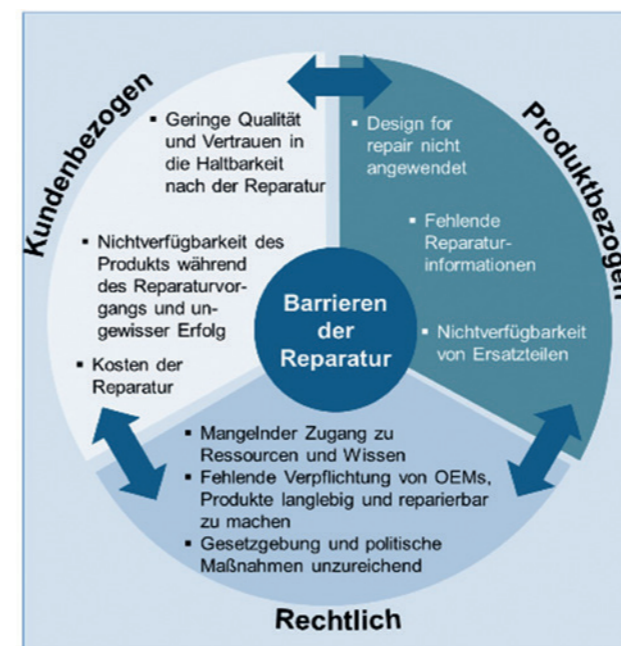


Abbildung 25: Reparaturbarrieren (Quelle: Rudolf et al. 2022)

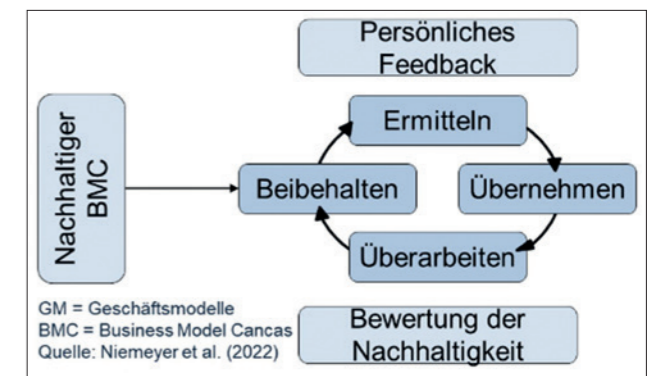


Abbildung 26: Methodik zur Geschäftsmodell-Entwicklung (Quelle: Niemeyer et al. 2022)

⁸ Forti, V.; Baldé, C.; Kuehr, R.; Bel, G. The Global E-Waste Monitor 2020. Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential; International Solid Waste Association; ISBN 978-92-808-9114-0.

Prognose der Restnutzungsdauer von technischen Systemen

Maschinenelemente, Bauteillebensdauer, Predictive Maintenance, Ressourceneffizienz, Zustandsdiagnose, Restnutzungsdauerprognose

Tietjen, T.; Westphal, I.; Egbert, L.; Steinfeld, M.; Zitnikov, A. (Universität Bremen/BIK/BIBA)

Ausgangs- und Problemlage

Die technisch mögliche Lebensdauer von Bauteilen wird häufig nicht ausgeschöpft. Ein Grund hierfür sind die oftmals zu kurz bemessenen Wartungszyklen. Bei der Maschinenauslegung spielen Sicherheitsfaktoren eine erhebliche Rolle, die meist so berechnet sind, dass ein Ausfall unter planbaren Bedingungen vermieden wird. Risiken in Bezug auf ungeplante Betriebsausfälle sind aber nur sehr schwer vorhersehbar, genau wie die damit einhergehenden Folgeschäden. Als Konsequenz werden Bauteile früher als notwendig entsorgt, was einen vermeidbaren Ressourcenverbrauch darstellt. Diesem Umstand kann mit einer modifizierten, ressourceneffizienten Instandhaltungsstrategie begegnet werden. Hierfür ist eine Methodik zur Zustandsbestimmung und Restnutzungsdauerprognose kritischer Bauteile erforderlich. Damit diese Option auch tatsächlich angewandt wird, bedarf es unterstützender Geschäftsmodelle für die Systembauteilherstellung und den Betrieb von Anlagen.

Projektziele und Vorgehen

Mithilfe von externer Sensorik kann der Zustand einer technischen Anlage direkt bzw. indirekt erfasst werden. Ziel ist hierbei die Überprüfung der Einhaltung von Auslegungsparametern kritischer Bauteile. Die Umsetzung erfordert eine detaillierte Auseinandersetzung mit den zu überwachenden Bauteilen, deren potenziellen Schadensbildern und zugehörigen Schadensmechanismen, die anhand von physikalischen Messgrößen erfasst werden. Basierend auf den identifizierten Messgrößen wird eine geeignete Sensorik ausgewählt. Diese kann direkt in die Anlagen integriert oder in Form einer mobilen Prüfstation (MPS) angebracht werden, wodurch zudem Kosten gespart werden. Die im Rahmen des Projekts „LongLife“ entwickelte MPS ist modular konzipiert und ermöglicht die Anbindung der integrierten Sensoren, die entsprechend der anliegenden Schadensmechanismen variieren. Die MPS liefert darüber hinaus einen kleinen Beitrag zur Ressourcenschonung, da nicht jede Anlage mit Sensorik ausgestattet werden muss. Neben der Sensorik bedarf es einer Softwarelösung, bei der aktuelle Daten aus dem Anlagenbetrieb mit historischen Daten, die entsprechend der Bauteilzustände klassifiziert sind, zusammengeführt werden. Dazu werden Daten von bekannten Schadensfällen den aktuell erfassten Daten aus dem Betrieb zugeordnet.

„LongLife“ – Neue Geschäftsmodelle für die Weiternutzung technischer Systeme basierend auf einer einfachen, dezentralen Zustandsbestimmung und Prognose der Restnutzungsdauer

Projektbeteiligte:

Universität Bremen/BIK; Aimpulse Intelligent Systems GmbH; CoSynth GmbH & Co. KG; encoway GmbH; DESMA Schuhmaschinen GmbH

Koordinator:

Thorsten Tietjen
Universität Bremen/BIK
ttietjen@uni-bremen.de
Tel.: 0421 218-64870

Laufzeit:

01.07.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:

www.longlife.uni-bremen.de

Förderkennzeichen:

033R246

Ausgehend von dieser Datengrundlage ist ein regelbasierter Ansatz notwendig, um den aktuellen Zustand des Bauteils zu klassifizieren. Können die erhobenen Daten keinem Zustand zugeordnet werden, muss die Datenbasis neu klassifiziert oder diese Daten zunächst einem ähnlichen Zustand zugeordnet werden. Die Klassifizierung ist hierbei ein iterativer Prozess, durch den die Zustandsdiagnose mit neu auftretenden Schadensfällen stetig präziser wird.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Bei der Gestaltung von Geschäftsmodellen, die die Nutzungsverlängerung unterstützen, müssen spezifische Charakteristika möglicher Anwendungsfälle beachtet werden. Zum einen zeigte sich, dass oft eine Zusammenarbeit von mehreren Beteiligten des Wertschöpfungsnetzwerks erforderlich ist. Diese gehen über reine transaktionale Leistungsbeziehungen hinaus und haben eher einen kooperativen Charakter. Daher wurde ein Ansatz gewählt, bei dem die Geschäftsmodelle über die Konfiguration unterschiedlicher

Referenzbausteine auf die jeweiligen Anforderungen der Beteiligten zugeschnitten werden. Die durch die längere Nutzung erzielbaren Einsparungen beim Material-/Artikelwert reichen jedoch i.d.R. nicht zur Refinanzierung der Erstellung der Prognosemodelle aus. Daher müssen andere Mehrwerte, z.B. die Transparenz bzgl. der verlässlichen Nutzungsdauer der Komponenten, einfließen. Zudem wurde der Mehrwert der gewonnenen Zustandsdaten für die Weiterentwicklung der Komponenten berücksichtigt.

Der mathematische Ansatz zur Quantifizierung von Bauteilabnutzung basiert auf einem Soll/Ist-Vergleich relevanter Messgrößen und bildet die Grundlage für die Restnutzungsdauerprognose. Zunächst wurde für die technischen Anlagen in den betrachteten Anwendungsfällen die ausfallkritischen Bauteile identifiziert. Diese Anlagen verfügen bereits über integrierte Sensorik, welche durch die entwickelte MPS ergänzt wurde. Die MPS ist so konzipiert, dass sie möglichst einfach in die Datentechnik der Anlagenbetreiber integriert werden kann, und die gewonnenen Daten fließen in das entwickelte mathematische Modell zur Zustandsbestimmung und zur Restnutzungsdauerprognose ein. Die im Rahmen des Projekts entwickelte Vorgehensweise ist auf unterschiedliche Anlagen anwendbar. Gleiches gilt für das Vorgehen zur Analyse des Anwendungsfalls und den Ansatz zur Geschäftsmodellkonfiguration auf Basis von beschriebenen Referenzbausteinen. Dieses lässt sich auf andere Anwendungsfälle der Kreislaufwirtschaft, die auf eine verlängerte Nutzungsdauer zielen, übertragen. Der prototypisch entwickelte Geschäftsmodell-Konfigurator diente der Konzeptüberprüfung,

kann aber auch Anregungen für andere Anwendungsfälle liefern.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Durch den Ansatz zur zustandsorientierten Instandhaltung wird die Nutzungsdauer von Bauteilen im technischen System verlängert und ungeplante Stillstände bleiben damit aus. Ein vorzeitiger Austausch der Bauteile wird vermieden oder erfolgt, bevor größere Schäden an weiteren Komponenten entstehen, wodurch Ressourcen eingespart werden. Des Weiteren werden Serviceeinsätze der Wartungstechnikerinnen und -techniker reduziert, die Planbarkeit der Instandhaltungsarbeiten erhöht und die Kosten für den Anlagenbetreibenden gesenkt, was gleichzeitig einen Beitrag zum umweltschonenderen Umgang mit Ressourcen leistet. Zusätzlich können Prozesse angepasst werden, um bereits abgenutzte Bauteile unter geringerer Auslastung weiter verwenden zu können. Der Einsatz der MPS erübrigt zudem die Installation von zusätzlicher Sensorik an den einzelnen technischen Systemen. Das Wertversprechen der Geschäftsmodelle für diesen Kreislaufwirtschaftsansatz baut nicht primär auf Material- und Energieeinsparung auf. Vielmehr ist dies ein positiver Nebeneffekt des im Fokus stehenden Mehrwerts der Ausfallsicherheit. Eine quantifizierte Aussage bzgl. der Ressourceneffizienz kann mit steigender Anzahl erfolgreicher Anwendungsfälle getroffen werden.

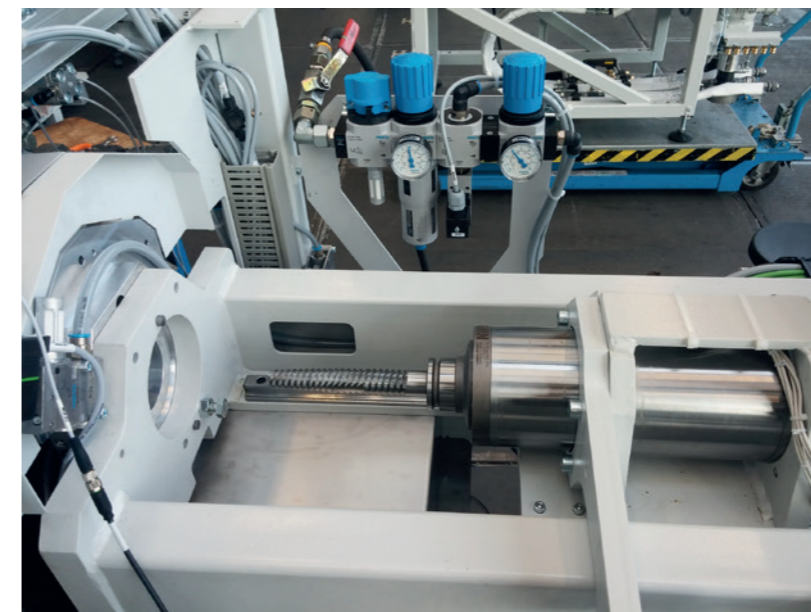


Abbildung 27: Eine neuwertige Antriebsspindel einer Schuhmaschine, die sich im Laufe des Betriebs zusetzt und damit geänderte Betriebsparameter initiiert. (Quelle: eigene Aufnahme „LongLife“)

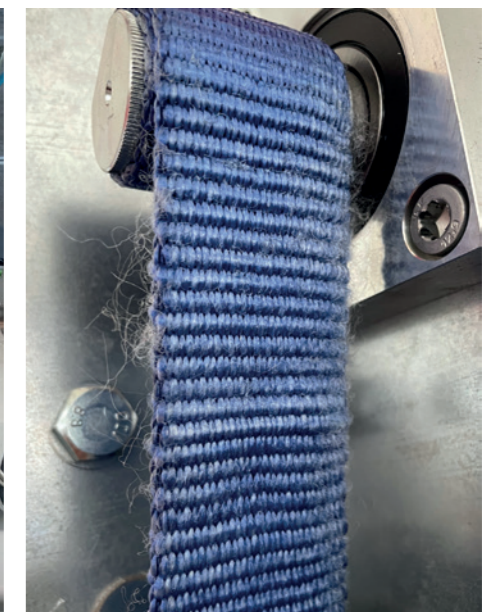


Abbildung 28: Ein Haltegurt mit Abnutzungsanzeichen nach ca. 280.000 Lastzyklen (Quelle: eigene Aufnahme „LongLife“)

Ressourceneffizienz durch smarte Pumpen: Hochwertige Kreislaufführung auf Komponentenebene

Heizungspumpen, Technische Gebäudeausstattung, Ressourceneffizienz, Kreislaufführung, Wiederverwendung, Klimaschutz, Digitalisierung, Remote-Prozesse

Fetting, T. (WILO SE)

Ausgangs- und Problemlage

Moderne, „smarte“ Heizungspumpen verfügen über Elektronikkomponenten, die neben der effizienten Steuerung der Pumpenfunktion auch ermöglichen, aus der Ferne auf die Pumpe zuzugreifen, ihren Zustand nachzuvollziehen und im Rahmen einer Fernwartung Einfluss auf die Pumpen auszuüben. Gleichzeitig erlauben die über die Pumpen während ihrer Lebensdauer gesammelten Informationen eine bessere Einschätzung des Zustands einzelner Komponenten am Produktlebensende. Gleichzeitig bedeutet der Einbau von mehr Elektronikkomponenten einen größeren ökologischen Impact der Pumpen. Im Projekt „ResmaP“ haben es sich die Beteiligten zur Aufgabe gemacht, Möglichkeiten zur Steigerung der lebenszyklusweiten Ressourceneffizienz zu identifizieren, die sich aus den erweiterten Funktionalitäten der Pumpen ergeben. Heizungspumpen unterliegen als ein Teil der technischen Gebäudeausstattung Trends, die den Bau und Betrieb von Gebäuden aktuell bestimmen: Wünsche nach mehr Wohnkomfort und Effizienz der Gebäude führen zu einer stärkeren Vernetzung der technischen Geräte. Damit geht besonders bei der Fertigung der Elektronikkomponenten ein höherer Ressourcenverbrauch einher, aber es eröffnen sich auch neue Möglichkeiten der Nutzung von während des Lebenszyklus gewonnenen Daten. Insofern geht das Konsortium davon aus, dass Heizungspumpen stellvertretend für weitere Teile der technischen Gebäudeausstattung verstanden werden können und – sofern entsprechende Voraussetzungen erfüllt sind – Erkenntnisse aus diesem Projekt übertragen werden können.

Projektziele und Vorgehen

Zur Erreichung der Projektziele wurden vier Forschungsfragen formuliert: (1) Wie kann „smart“ zur Verbesserung der Kreislaufführung und Erhöhung der Materialeffizienz von Heizungspumpen beitragen? (2) Wie müssen unterstützende Prozesse und Organisationsstrukturen dazu gestaltet sein? (3) Wie groß ist das Potenzial der Ressourceneinsparung/Effizienzerhöhung? (4) Welche Ergebnisse können in den Kontext anderer Branchen übertragen werden?

„ResmaP“ – Ressourceneffizienz durch smarte Pumpen: Hochwertige Kreislaufführung auf Komponentenebene

Projektbeteiligte:
WILO SE; Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML; TH Köln

Koordinator:
Thomas Fetting
WILO SE
thomas.fetting@wilo.com
Tel.: 0231 4102 7485

Laufzeit:
01.07.2019 – 30.06.2022

Förderkennzeichen:
033R233

Diese Forschungsfragen wurden über die Projektlaufzeit in vier Arbeitspaketen bearbeitet. Zunächst erfolgte eine IST-Analyse, die neben einer Recherche zum Stand der Technik die technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen umfasste und in ein Design für die ökologische Bewertung und den Versuchsbetrieb mündete. In diesem Rahmen wurden auch rechtliche Aspekte sowie neue Geschäftsmodelle analysiert. Anschließend wurden im Rahmen eines Versuchsbetriebs umfangreich Daten erhoben, mit deren Hilfe eine Einschätzung des Zustandes von Pumpenbaugruppen basierend auf Betriebsparametern und Umweltbedingungen vorgenommen werden konnte. Ferner wurden basierend auf den auftretenden Fehlerbilder Ansätze für Remote-Wartungs- und Reparaturprozesse identifiziert, da nicht jeder auftretende Fehler für die Behebung einen physischen Einsatz an der Pumpe erfordert. Die Daten aus dem Versuchsbetrieb wurden im Arbeitspaket Optimierung für die begleitenden Arbeiten der Umweltanalyse sowie der technischen und organisatorischen Umsetzung zusammengefasst und ausgewertet. Im Rahmen der Vernetzungsaktivitäten wurden neben wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Präsentationen auch Handwerksbetriebe explizit angesprochen. Aufgrund der langen Produktlebensdauer, die in der Regel gesetzliche Gewährleistungszeiträume deutlich übersteigt,

sind Fachhandwerkerinnen und -handwerker eine wichtige Schnittstelle zwischen Herstellenden und Einbaustellen. Daher wurden diese im Rahmen von Stakeholder-Veranstaltungen für die Themen des Projektes sensibilisiert und zu ihren Einstellungen befragt.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Auch wenn Prozesse zur Fernwartung von Pumpen derzeit noch nicht Stand der Technik sind darstellen und die Verbreitung Remote-fähiger Pumpen aufgrund der langen Produktlebensdauern nur langsam voranschreitet, konnten zahlreiche Szenarien identifiziert werden, in denen eine Behebung von Fehlfunktionen aus der Ferne möglich ist und zu einer direkten Einsparung von Arbeits- und Wegezeit sowie Emissionen führt. Da von einer Zunahme des Anteils smarter Pumpen auszugehen ist, werden diese Potenziale mit der Zeit wachsen. Grundsätzlich sind diese Ergebnisse auf weitere Bereiche der technischen Gebäudeausstattung anwendbar. Abhängig vom technischen Zustand der als defekt zurückgenommenen Pumpen ergeben sich für verschiede-

ne Komponenten und Baugruppen teilweise hohe Anteile potenziell wiederverwendbarer Teile. So können Elektronikmodule zu mehr als 80 % als komplettes Modul oder in Teilen hochwertig im Kreislauf geführt werden. Hierbei handelt es sich um eine Baugruppe, die ca. 45 % der gesamten Herstellungsemissionen verursacht. Eine Wiederverwendung ist also aus Klimaschutz- und Ressourcensicht zu begrüßen. Ferner zeigte sich im Rahmen der Stakeholderbeteiligung im Projekt ein hohes Bewusstsein der Fachhandwerkerinnen und -handwerker für die Themen Digitalisierung, Ressourcenschonung und Kreislaufführung. Da ein Großteil des Heizungspumpenabsatzes in den Austausch und nicht in den Neubau geht, ist dieses Bewusstsein bei Handwerksbetrieben als wichtigste Schnittstelle zu Verbraucherinnen und Verbrauchern von großer Relevanz für die langfristige Verankerung der Themen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Es konnte gezeigt werden, dass eine gezielte, hochwertige Kreislaufführung von Komponenten speziell auch bei Elektronikbauteilen möglich ist und der durch diese Komponenten zunächst verursachte, zusätzliche ökologische Impact durch die Langlebigkeit und Wiederverwendbarkeit zumindest abgedeckt werden kann. Die Umsetzbarkeit konnte in einem Unternehmen mit großer Fertigungstiefe exemplarisch dargestellt werden und ist aus Sicht des Konsortiums auf weitere technische Produkte insbesondere im Bereich der Investitionsgüter und technischen Gebäudeausstattung übertragbar. Gleichzeitig besteht auf dem Weg zur breiten Umsetzung der Forschungsergebnisse in der betrieblichen Praxis noch Handlungsbedarf. Hierbei ist insbesondere die rechtliche Unsicherheit für Unternehmen zu nennen, die mit Komponenten, die aus zurückgenommenen Produkten entnommen wurden, im Rahmen eines Wiederverwendungsprozesses Neuteile ersetzen möchten.

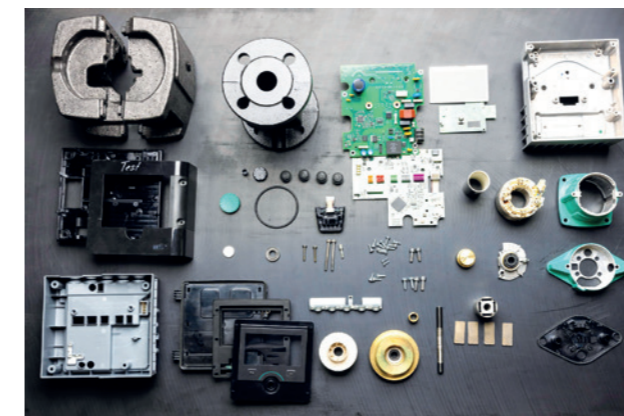


Abbildung 29: Eine zerlegte Heizungspumpe (Quelle: WILO SE)

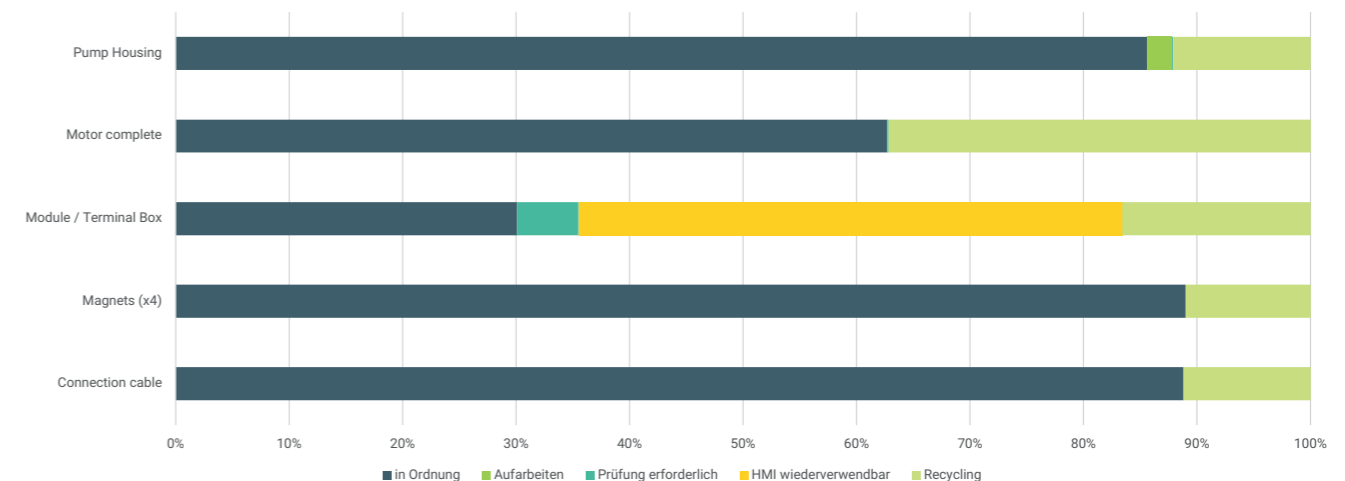


Abbildung 30: Kreislaufführungsoptionen auf Komponentenebene (Quelle: „ResmaP“)

Ressourcenwende über nachhaltiges Produktdesign von Konsumgütern am Fallbeispiel Kühl-/Gefriergerät

Energie- und Ressourceneffizienz, Rezyklateinsatzquote, WEEE, Produktdesign, Reparaturfreundlichkeit, Recyclingfähigkeit

Raatz, S. (Helmholtz-Institut Freiberg/Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf)

Ausgangs- und Problemlage

Um zukünftig eine stabile Versorgung der deutschen Wirtschaft mit Rohstoffen sicherzustellen, bedarf es dringend eines Umdenkens in der Nutzung sekundärer Rohstoffe. Die Rezyklateinsatzquote hat sich laut Eurostat seit 2015 (dem Start der Erfassung) bis heute kaum verändert, sie stieg von 11,6 auf 12,2 %. Eine der Ursache hierfür ist, dass bei der Entwicklung von Produkten (Produktdesign) die Kreislauf- und Recyclingfähigkeit am Lebenszyklusende (EoL) bisher kaum mitgedacht wird. Hier setzt das Projekt „Circular by Design“ an, um an einem konkreten Haushaltsprodukt zeigen, welche Materialeffizienzpotenziale im Hinblick auf die Rückgewinnung der enthaltenen Rohstoffe, sowohl bezüglich des konstruktiven Produktdesigns als auch der Materialauswahl, vorhanden sind.

Projektziele und Vorgehen

Das zentrale Anliegen und die Innovation des Vorhabens „Circular by Design“ bestand in der Bewertung des Norm- und Designprozesses eines Kühl-/Gefriergeräte-Prototypen, der neben Energieeffizienz auch auf Ressourceneffizienz hin optimiert sein soll. Kühl-/Gefriergeräte eignen sich gut als Beispiel, weil sie häufig verwendet werden und bereits gut charakterisiert sind. Ein aktuelles Modell der Firma Liebherr bildete dabei die Ausgangsbasis. Ziel war es, innerhalb eines Living-Lab Design-Prozesses verschiedene Designszenarien während der Projektlaufzeit zu durchlaufen sowie Modelle zu entwerfen, deren modularer Aufbau und intelligente Materialzusammensetzung ein nahezu vollständiges Recycling sowie die Wiederverwendung einzelner Bauteile erlauben und dadurch neue Markt-/Geschäftsmodelle (Repair, Cash-back, Leasing etc.) eröffnen. Unter Mitwirkung der Projektbeteiligten Becker Elektrorecycling (BEC) und Entsorgungsdienste Kreis Mittelsachsen (EKM) sowie ausgehend von dem derzeitigen, insbesondere auf Energieeffizienz ausgerichteten Referenzprodukt soll anhand der Quantifizierung der Verluste gezeigt werden, an welchen Stellen die Rohstoffe tatsächlich verloren gehen, wie diese Verluste durch ein geeignetes Produktdesign reduziert und Rohstoffe möglichst langfristig im Kreislauf gehalten werden können.

„Circular by Design (CbD)“ – Ressourcenwende über nachhaltiges Produktdesign von Konsumgütern am Fallbeispiel Kühl-/Gefriergerät

Projektbeteiligte:

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.; Wuppertal-Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH; Folkwang Universität der Künste; BEC Becker Elektrorecycling Chemnitz GmbH; EKM Entsorgungsdienste Kreis Mittelsachsen GmbH

Koordinator:

PD Dr. Simone Raatz
Helmholtz-Institut Freiberg, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf
s.raatz@hzdr.de
Tel.: 0351 260-4747

Laufzeit:

01.07.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:

<https://innovative-produktkreislaeufe.de>

Förderkennzeichen:

033R244

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten (Stand Juni 2022)

Mit Hilfe der im Projekt erstellten Publikation zur Kulturgeschichte des Kühlens kann man entlang eines Zeitstrahls die stetig steigende Komplexität des Produktes „Kühl-/Gefriergerät“ verfolgen. So gab es beispielsweise zunächst keinerlei im Innenraum verbaute, elektronische Bauteile, mittlerweile sind es bis zu sechs Leiterplatten, die das Display oder den Eiscrasher in ihrer Funktion unterstützen. Diese Entwicklung in Kombination mit den kaum lösbaren Verbindungsarten (Kleben statt Stecken) erschwert am Ende der Nutzungsphase zunehmend die Demontage und damit die Rückgewinnung sortenreiner Stoffströme. Um das Produktdesign aktueller und älterer Kühl-/Gefriergeräte hinsichtlich ihrer Reparatur- und Recyclingfreundlichkeit vergleichend beurteilen zu können und daraus Designop-

tionen abzuleiten, benötigt man ein Bewertungsmodell, an dessen Ende u.a. ein Recyclingindex steht. Ein erstes Modell wurde erstellt. Dieses beinhaltet sowohl die physikalische Erstbehandlung für Kühlgeräte (Zerkleinerung und Vorsortierung) als auch die weiteren Aufbereitungsschritte der metallischen Stoffströme (metallurgische Aufbereitung) und kann bei Bedarf eine Prozess-Simulation abbilden. Zur weiteren Qualifizierung des Modells bedarf es der Eingabe detaillierter Produkt- und Materialinformationen, um Aussagen über die Recyclingfähigkeit zu machen und sie durch Indikatoren für Material-Rückgewinnung, Umweltauswirkungen und Ressourcenverbrauch zu quantifizieren. Da solche Daten derzeit nicht verfügbar sind, wurden sowohl einzelne Geräte im Labor händisch demontiert als auch 100 Stück in einem realitätsnahen Großversuch bei STENA aufbereitet. Die Auswertung des Großversuches läuft derzeit. Der zugehörige Bewertungsansatz auf Mikroebene umfasst dabei ein digitales Modell für das Kühlgeräterecycling, das die Recyclingfähigkeit in Form von Material-spezifischen Rückgewinnungsraten abschätzen soll (gemäß DIN EN 45555).

Vorschläge zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

1. Die technischen Komponenten werden in einem Technikteil gebündelt und nicht wie bisher im kompletten Gerät verteilt und eingeschäumt. Durch die kompakte Bauweise kann perspektivisch z.B. das Kühlmittel problemlos

abgesaugt und die Elektronikkomponenten leicht entfernt werden.

2. Die Lebensdauer der Kühl-/Gefrierkombination wird durch einen modularen Aufbau verlängert, da die Reparatur einzelner Teile erleichtert wird. Defekte Teile können einfach ausgetauscht oder per Post zur Reparatur geschickt werden.
3. Wo möglich, wird auf den Einsatz hochlegierter Edelstähle und nichtrecyclingfähiger Kunststoffe verzichtet, werden Steckverbindungen zur leichten Demontage verwendet sowie über produktspezifische Identifikatoren auf einzelnen Bauteilen Informationen und Services schnell abrufbar gestaltet.

Durch die vorgeschlagene modulare, demontagefreundliche und flexibel an die Haushaltgröße angepasste Bauweise trägt das materialeffiziente Designkonzept zur Kreislaufführung der verwendeten Materialien von Konsumgütern erheblich bei. Es wird ein enormes Einsparpotenzial vermutet, das durch eine Reduzierung des Materialeinsatzes, die Substitution nicht nachhaltiger Materialien wie PU-Schaum oder Kühlmittel und die Verbesserung der sortenreinen Rückgewinnung der Materialien erreicht werden kann. Durch die Vermeidung von Downcycling erhöht sich in gleichem Maße die Qualität des Rezyklates und damit die Rezyklateinsatzquote.



Abbildung 31: Vergleich des Anteils elektr(on)ischer Komponenten in Kühl-/Gefriergeräten, Baujahr ca. 2000 (linke Abbildungen), Baujahr 2019 (rechte Abbildungen) (Quelle: Eigene Abbildung HZDR, M. Heibeck, 2021).



Abbildung 32: Kühl-/Gefriergerät mit Technik-Einschub zwischen Kühl- und Gefriereinheit, Modell (Quelle: Eigene Abbildung Wuppertal Institut, C. Tochtrop, C. Richter, 2022)

Potenziale durch Modularität

IKT, Modularität, Smartphones, Nutzendenperspektive, Nutzungsdauerverlängerung

Proske, M. (Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration)

Ausgangs- und Problemlage

Laut Bitkom wurden im Jahr 2021 in Deutschland mehr als 20 Mio. Smartphones verkauft. 60 % der Nutzerinnen und Nutzer haben ihr Gerät innerhalb der letzten zwölf Monate erworben. Die durchschnittliche Nutzungsdauer von Smartphones steigt zwar leicht an, liegt aber immer noch bei nur zweieinhalb bis drei Jahren, wobei technische Defekte nicht die Mehrheit der Ersatzgründe ausmachen. Gleichzeitig ist die Herstellung der Geräte mit einem Treibhausgaspotenzial von 40 - 100 kg CO₂ verbunden und erfordert viele wertvolle, teils kritische Rohstoffe – nur ein Bruchteil davon kann durch Recycling wieder zurückgewonnen werden. Modulare Smartphones haben das Potenzial, sowohl technischen Fortschritt durch Upgrades abzubilden als auch sich wandelnden Konsumbedürfnissen zu entsprechen. Dadurch wird eine längere Nutzungsdauer ermöglicht, wodurch die Zahl der Geräte und ihre Umweltbeeinträchtigung sinkt. Um die positiven Potenziale des modularen Designs zu entfalten und unerwünschte Folgen zu minimieren, entwickelt „MoDeSt“ technische, soziale und wirtschaftliche Voraussetzungen und Lösungen für Modulkonzepte.

Projektziele und Vorgehen

Modulare Smartphones setzen auf der Seite der Nutzerinnen und Nutzer – neben Akzeptanz und Interesse – auch spezifische Nutzungskompetenzen voraus, wie das Wissen zu Reparaturmöglichkeiten und Upgrades. Dadurch werden längere Nutzungszeiten ermöglicht. Um positive Potenziale der Modulbauweise zu heben und negative Effekte wie den Mehrkonsum zu minimieren, wurden im Rahmen des Projekts „MoDeSt“ Lösungsansätze für kreislauffähige und sozialökologisch sinnvolle modulare Technologien entwickelt.

Das innovative Projekt umfasste ein breitgefächertes, transdisziplinäres Konsortium. Die Integration von Forschung und Praxis sowie technische und sozialwissenschaftliche Kompetenzen bildeten die Basis für eine ganzheitliche Bearbeitung der Forschungsaufgabe. Zunächst wurden in der technischen Analyse konventionelle und modulare Smartphones hinsichtlich verschiedener Kreislaufwirtschaftsaspekten untersucht. Im nächsten Schritt wurden Ökobilanzen erstellt, die durch Szenarienbildung unterschiedliche Nutzungs-, Reparatur- und Entsorgungspraktiken abbildeten und diese hinsichtlich Material- und Ressourceneffizienz bewerteten. Bestehende Geschäftsmodelle für modulare Produkte wur-

„MoDeSt“ – Produktzirkularität durch modulares Design – Strategien für langlebige Smartphones

Projektbeteiligte:

Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM); SHIFT GmbH; TU Berlin, Fachgebiet Transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung in der Elektronik; Leuphana Universität Lüneburg, Centre for Sustainability Management; AfB gemeinnützige GmbH; Johannes-Kepler-Universität Linz (JKU), Institute for Integrated Quality Design (assoziiierter Partner)

Koordinator:

Marina Proske
Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration (IZM)
marina.proske@izm.fraunhofer.de
Tel.: 030 46403-688

Laufzeit:

01.07.2019–31.12.2022

Projektwebsite:

www.modest-projekt.de

Förderkennzeichen:

033R231

den analysiert und neue Ansätze entwickelt. Basierend auf diesen gemeinsamen Erkenntnissen wurde der Modularansatz weiterentwickelt und dabei sowohl konkrete technische Überarbeitungen als auch die Entwicklung genereller Ökodesign-Kriterien angestrebt.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Eine Rückschau auf den Smartphone Markt bis zum Jahr 2000 zeigt die enorme Vielfalt an Modellen und Produzierenden am Markt. Der Peak lag dabei 2014 bei 839 neuen Modellen. Trotz dieser Vielzahl an unterschiedlichen Geräten gibt es einen klaren Trend in der technischen Ausstattung. Neben der zunehmend besseren Ausstattung mit (Arbeits-) Speicher, höherer Displayauflösung und Akkukapazität, hat sich der Markt zu deutlich größeren Displays durch besseren Ausnutzungsgrad der Vorderseite (Screen-to-Body-Ratio) als auch durch größere, aber flachere Geräte hin entwickelt. Wechselakkus sind vom Standard zum Nischenprodukt ge-

worden. Smartphones übernehmen zunehmend Funktionen von anderen Objekten (z.B. Wecker, Kamera und Stereoanlage). Sie integrieren somit bereits viele Module, welche aber nicht variiert werden können, es ist eine statische Modularität. Selbst suffiziente Nutzerinnen und Nutzer entdecken immer neue Funktionen, die sie in ihre Alltagspraktiken integrieren. Die Erwartungen an Funktionen und Leistung sind generell hoch. Auch ökologisch orientierte Nutzerinnen und Nutzer ersetzen ihr Gerät, sobald die Leistung nicht mehr als optimal angesehen wird. Eine wertebasierte Kommunikation langlebiger Geräte reicht daher nicht aus. Modulare Produkt-Service-Systeme (PSS) sollten sich auf die Funktionserwartungen und Nutzungsmuster verschiedener Gruppen von Nutzerinnen und Nutzern konzentrieren. Eine Umfrage unter SHIFT-Nutzerinnen und -Nutzern zeigte, dass Menschen mit Interesse an einer nachhaltigen Lebensweise eher Reparaturen nach Anleitung selbst durchführen und somit auch Vorerfahrungen in die Bereitstellung von Dienstleistungen mit einbezogen werden sollten. Unterschiedlichste Arten modularer Smartphones sind denkbar und müssen auf das gewählte Geschäftsmodell und Nutzungsszenario abgestimmt sein. Analog hierzu müssen für PSS passende komplementäre Dienstleistungen (wie z.B. Reparaturdienstleistungen oder Rücknahmesysteme) zur Lebensdauerverlängerung angeboten werden.

Modulare Smartphones werden z.B. häufiger mit Hilfe von Reparaturanleitungen selbst repariert. Modularität bietet für alle Beteiligten in der Wertschöpfungskette zahlreiche Vorteile. Der positive ökologische Effekt ist aber kein Selbstläufer, sondern muss Teil der Strategie werden. Die Politik den Materialverbrauch besteuern, damit in Lieferketten und Wertschöpfungsmodellen die Voraussetzung für eine stärkere Modularisierung der Geräte geschaffen wird. Die Umweltbewertungen zeigen, dass sich Reparaturen, Upgrades und Austausch von Modulen bezahlt machen, wenn sie zu einer längeren Nutzungsdauer führen. Notwendig dafür ist die technische Ermöglichung solcher Austausche, die Bereitstellung von (neuen oder gebrauchten) Ersatzteilen mittels geeigneter Geschäftsmodelle und die Akzeptanz auf Seite der Nutzerinnen und Nutzer.

Die Ergebnisse des Projekts werden genutzt, um die Verbreitung modularer Geräte am Markt zu erhöhen. Sie können Herstellenden von Smartphones als wichtige Entwicklungsindikatoren dienen. Die entwickelten Geschäftsmodelle können von Produzierenden, Vertriebspartnerinnen und -partnern sowie zirkulären Dienstleistenden genutzt werden, um wirtschaftliche Potenziale der Modularisierungsstrategien umzusetzen und Impulse für eine längere Nutzungsdauer zu setzen. Die angewandten Methoden können wichtige Impulse für die Technologie geben und die Entwicklung integrativer kreislaufwirtschaftlicher Strategien befördern. Im Rahmen wissenschaftlicher Publikationen wurden die Ergebnisse für die Weiterentwicklung des Diskurses zum Übergang in eine integrative Kreislaufwirtschaft zur Verfügung gestellt.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Die Hauptumweltaspekte von Smartphones – und generell mobiler Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) – sind mit der Herstellungsphase verbunden. Von der Vielzahl der eingesetzten Rohstoffe können aktuell zwar die größten Massenanteile (Eisen, Kupfer, Aluminium und Edelmetalle) weitgehend zurückgewonnen werden. Für eine Vielzahl von Materialien fehlen aber noch (rentable) Recyclingwege und ein Teil der Rohstoffe geht durch Fehlzuordnungen in der Aufbereitung verloren. Zudem lässt sich der hohe Herstellungsaufwand in der Fertigung der elektronischen Bauteile durch ein Recycling nicht wieder zurückgewinnen. Hier setzt die Nutzungsdauerverlängerung an, so dass weniger Geräte produziert werden müssen. Die Wege hierzu sind vielfältig – bessere Ausnutzbarkeit der technischen Lebensdauer durch wechselbare Akkus und langanhaltenden Softwaresupport, Geschäftsmodelle, welche von Anfang an Reparaturen, Zweit- und Drittnutzungen mitdenken, und aktive Nutzerinnen und Nutzer, die auf ihre Bedürfnisse ausgerichtete Geräte auswählen und möglichst lange nutzen.

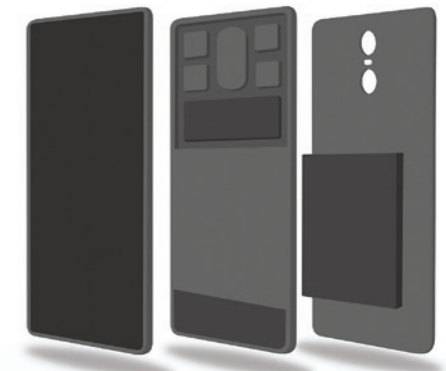


Abbildung 33: Ein Blick in die Zukunft – modulare Smartphones (Quelle: SHIFT)



Abbildung 34: Diskussionen zu modularen Geschäftsmodellen (Quelle: CSM)

Auf dem Weg zur Etablierung von Mehrweg im Onlinehandel

Mehrweg, Onlinehandel, Verpackung, Abfall, E-Commerce, Mehrwegbox, Mehrwegversandtasche

Zimmermann, T. (Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH)

Ausgangs- und Problemlage

Der Onlinehandel in Deutschland und Europa verzeichnet seit Jahren ein kontinuierliches Wachstum. Die Corona-Pandemie hat diese Entwicklung zusätzlich beschleunigt. Die Produkte werden typischerweise in Einweg-Versandverpackungen wie Pappkartons oder Kunststoffbeutel verpackt, die dann nach Erhalt der Ware von den Endverbraucherinnen und -verbrauchern entsorgt werden. Hieraus resultieren ein hoher Ressourcenverbrauch und hohe Abfallmengen; im Jahr 2021 belief sich der Abfall aus Versandverpackungen auf über 1 Mio. Tonnen. Dabei war der Onlinehandel in den vergangenen Jahren durchaus bestrebt, die Verpackungsmengen und den daraus resultierenden Ressourcenverbrauch zu reduzieren. Dies betrifft die Reduzierung der mittleren Verpackungsgewichte durch optimiertes Papier, Pappe, Kartonnage (PPK)-Materialien sowie den zunehmenden Verzicht auf Multimaterialkomposite. Damit sind die spezifischen Optimierungspotenziale auf der Ebene der einzelnen Verpackungen bereits weitgehend ausgeschöpft. Soll der Trend des stetig weiterwachsenden Ressourcenverbrauches in diesem Bereich durchbrochen werden, so bedarf es innovativer Lösungen auf Verpackungssystemebene und Anpassungen der Geschäftsmodelle.

Projektziele und Vorgehen

Das Projekt „praxpack“ zielte darauf ab, einen Beitrag zur Etablierung und Verbreitung von Mehrwegsystemen im Onlinehandel zu leisten, um den verpackungsbedingten Ressourcenverbrauch – und die damit verbundenen Abfallmengen – deutlich zu reduzieren.

Zu diesem Zweck wurden praxisnahe Mehrwegkonzepte entwickelt, erprobt und ökologisch sowie ökonomisch bewertet. Zentrales Element von „praxpack“ war das „Kooperationslabor“, in dem das Projektteam konkrete Lösungselemente zum Aufbau praxisfester und selbsttragender Mehrwegsysteme erarbeitet haben. Basierend auf den gemeinsam von den Partnerinnen und Partnern entwickelten Lösungselementen wurden in konkreten Pilotvorhaben bei den beteiligten Versandhändlern Mehrweg-Systeme erprobt und weiter ausgearbeitet. Nachlaufend wurden die Ergebnisse der Pilottests evaluiert. Parallel dazu wurden verschiedene Ausgestaltungen von Mehrwegsystemen ökologisch und öko-

„Praxpack“ – Nutzerintegrierte Entwicklung und Erprobung von Geschäftsmodellen für praxistaugliche Mehrwegverpackungslösungen im Onlinehandel

Projektbeteiligte:
Ökopol; Tchibo; OTTO; Avocadostore; GVM; Cargoplast; RePack

Koordinator:
Dr. Till Zimmermann
Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH
zimmermann@oekopol.de
Tel.: 040 3910020

Laufzeit:
01.06.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:
www.praxpack.de

Förderkennzeichen:
033R243

nomisch bewertet. In verschiedenen Workshops, an denen neben den Projektpartnerinnen und -partnern zahlreiche weitere Beteiligte aus verschiedenen Stakeholdergruppen teilgenommen haben, wurde zum einen fortlaufend Feedback zu den Arbeitsergebnissen eingeholt, zum anderen wurden die Projektergebnisse so kontinuierlich verbreitet.

Die Aufbereitung und Verbreitung des generierten Wissens im Rahmen von Veranstaltungen sowie durch zahlreiche Publikationen war ein weiterer wichtiger Baustein, um zur Etablierung und Verbreitung von Mehrwegsystemen im Onlinehandel beizutragen. Bislang wurden über 25 Dokumente (Berichte, Artikel, Steckbriefe, Factsheets, ...) über die Projektwebsite verfügbar gemacht. Eine Filterungsmöglichkeit nach Zugehörigkeit zu Akteursgruppen und thematischem Informationsbedarf ermöglicht es, zielgerichtet zu den jeweils relevanten Informationen zu gelangen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Die ökologische Vorteilhaftigkeit von Mehrwegversandverpackungen wurde für verschiedene Fälle, in denen Einwegverpackungen mit Mehrwegverpackungen in Bezug auf die resultierenden CO₂-Emissionen und den Ressourcenverbrauch verglichen wurden, belegt. In der Etablierung von Mehrwegverpackungen im Onlinehandel liegt also ein Potenzial für mehr Ressourceneffizienz und Klimaschutz.

zusätzliche Kosten zu tragen, jedoch meist nicht in dieser Höhe. Die Reduktion der Kosten – beispielsweise durch den Aufbau von offenen Poolssystemen für Mehrwegversandverpackungen – bleibt eine zentrale Herausforderung für die Etablierung von Mehrweg im Onlinehandel.

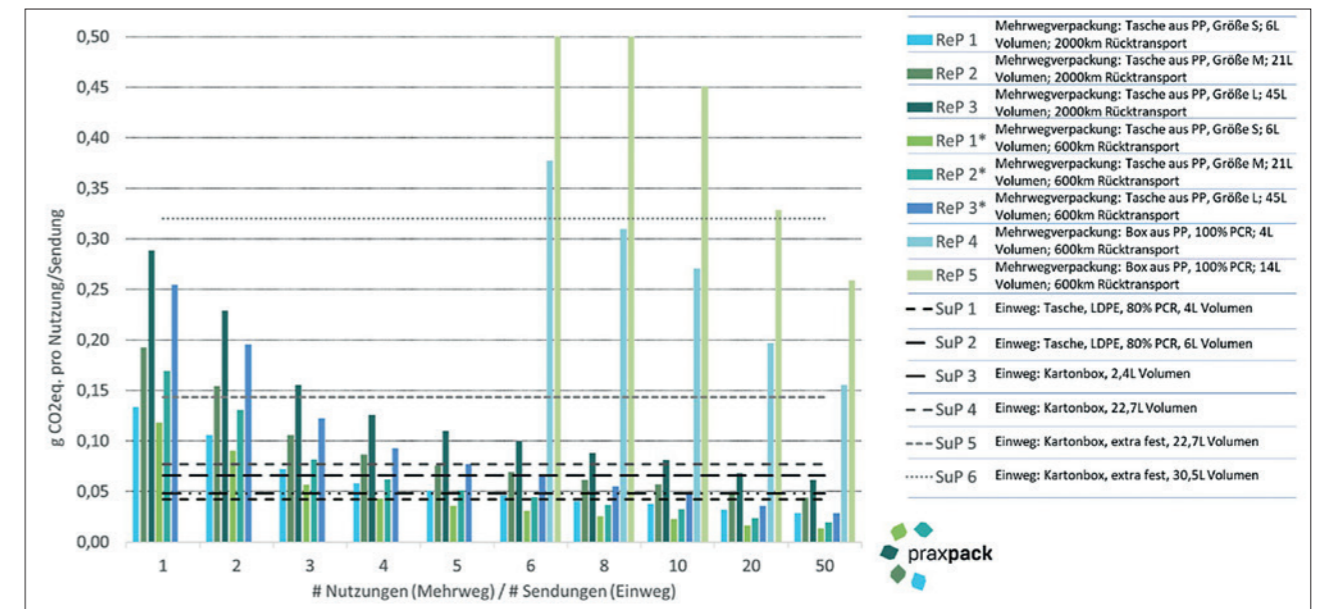


Abbildung 35: Vergleichende Betrachtung von CO₂-Emissionen im Einsatz von Einweg- und Mehrweg-Versandverpackungen (Quelle: „praxpack“/Ökopol)

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Im Rahmen der Auswertung der Pilottests konnten verschiedene Hindernisse bei der Umstellung auf Mehrweg identifiziert und mögliche Lösungswege skizziert werden. Zentral – auch in Bezug auf die Erreichung hoher Umlaufzahlen – ist in jedem Fall die Einbindung der Kundinnen und Kunden. Hierbei gibt es jedoch kein allgemein gültiges Rezept, sondern mögliche geeignete Ansätze variieren. Daneben wurden diverse mögliche Maßnahmen zur Optimierung der Verpackungsgestaltung identifiziert. Als zentrales Hindernis für die breitere Etablierung von Mehrwegversandverpackungen konnte klar der zusätzliche ökonomische Aufwand identifiziert werden, der sich insbesondere aus dem Fehlen einer effizienten und kostengünstigen Rückführungslösung ergibt. In Bezug auf die Kostensituation von Mehrwegversandverpackungen wurden verschiedene Szenarien untersucht. Die Mehrkosten, die pro Sendung derzeit aus dem Einsatz von Mehrwegverpackung gegenüber Einwegverpackungen resultieren, belaufen sich auf 1,50 bis 3 Euro. Zwar zeigen Befragungen von Kundinnen und Kunden eine grundsätzliche Bereitschaft



Abbildung 36: Mehrwegversandtasche: RePack (Quelle: RePack)



Abbildung 37: Mehrwegbox: HeyCircle (Quelle: HeyCircle)



Quelle: vm- Getty Images/iStockphoto

Cluster 3: Remanufacturing

Schielke, C. (DECHEMA e.V.)

Eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft hat u.a. zum Ziel, den Wert bestehender Materialien und Produkte so lange wie möglich zu erhalten und so primäre Ressourcen zu schonen. Dabei stellt die Wiederaufarbeitung (Remanufacturing) einen Ansatz dar, mit deren Hilfe Produkte möglichst lange im Kreislauf gehalten werden können, indem der Eigenwert aller relevanten Materialien und Komponenten wiederhergestellt und somit ein „End-of-Life“ bzw. Abfallstatus vermieden wird. Diese Materialien und Komponenten können anschließend genutzt werden, um neue, gleichwertige oder sogar höherwertige Produkte herzustellen und einen vollständig neuen Nutzungszyklus zu ermöglichen. Derartige Verfahren, bei denen Werte regeneriert werden, sollten weitaus weniger Ressourcen bzw. Energie im Vergleich zur Herstellung eines neuen Produkts verbrauchen. Dadurch ergibt sich eine verbesserte Ökobilanz einschließlich der Vermeidung von Abfällen.

Innerhalb der Fördermaßnahme „ReziProK“ erforschten vier Forschungsteams unter Einbeziehung der ökologischen und ökonomischen Potenziale die Werterhaltung von Bauteilen aus verschiedenen Anwendungsbereichen mittels Remanufacturing. Das Projektteam von „AddRE-Mo“ beschäftigte sich mit Werterhaltungsszenarien für urbane Elektromobilität von Personen und Lasten durch Refabrikation von Elektrofahrradmotoren unter Verwendung additiver Fertigung bspw. zur Herstellung individueller Zahnrad-Geometrien. Im Zentrum des Projektes „ReLIFE“ stand die Lebenszyklusoptimierung vernetzter Investitionsgüter durch eine adaptive Instandhaltungsstrategie, die basierend auf Sensorik-Auswertungen den optimalen Zeitpunkt und Umfang von Instandhaltungsmaßnahmen bestimmt. Im Projekt „EIBA“ wurden die spezifischen Stärken von Menschen und Maschinen kombiniert, um damit die Identifikation und Bewertung von Altteilen zu verbessern. Ziel des Projektes „RePARE“ war die Regeneration von Produkt- und Produktionssystemen mittels additiver Fertigungsverfahren.

Innerhalb der Forschungsprojekte konnte bereits das ökologische Potenzial der (adaptiven) Aufarbeitung aufgezeigt werden. Die Ergebnisse der Ökobilanzierungen zeigten, dass die gewählten Ansätze deutliche Einsparungen von Rohstoffen und Treibhausgasen ermöglichen und somit innovative Lösungen für mehr Nachhaltigkeit sowohl im Anlagenbau als auch in der Elektromobilität darstellen. Der Erfolg der Umsetzung der Forschungsergebnisse in die wirtschaftliche Praxis hängt nun maßgeblich von verschiedenen, z.T. limitierenden Faktoren ab, aber auch vom jeweiligen Geschäfts-

modell, bei dem das innovative Verfahren Kostenvorteile für alle am Prozess Beteiligten generieren muss. Hier wie auch bei anderen Produkten, die unter Nutzung bereits gebrauchter und aufbereiteter Komponenten hergestellt werden, sind Haftungsfragen zu beachten. Bei B2C-Geschäftsmodellen spielt außerdem die Akzeptanz auf der Seiten der Nutzerinnen und Nutzer eine wichtige Rolle, sodass aufgearbeitete und reparierte Produkte als gleichwertig zu neuen Produkten angesehen werden müssen.

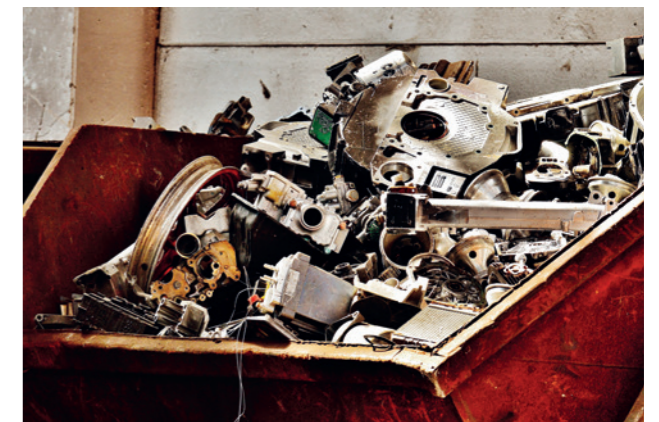


Abbildung 38: Die Wiederaufarbeitung (Remanufacturing) stellt einen Ansatz der Kreislaufwirtschaft dar (Quelle: pixabay).

Ressourceneffiziente Werterhaltungsnetzwerke für die urbane Elektromobilität

Elektromobilität, Remanufacturing, Werterhaltung, Geschäftsmodelle, Additive Fertigung, Machine Learning, Ökobilanzierung

Döpfer, F. (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung)

Ausgangs- und Problemlage

In der Diskussion zur Transformation des Verkehrssystems spielen innovative Mobilitätskonzepte eine wichtige Rolle. Besonders das erhöhte Verkehrsaufkommen beim Personen- und Lastentransport und die begrenzten Verkehrsflächen im urbanen Raum stellen die Kommunen vor neue Herausforderungen. Das einst kritisch betrachtete Elektrofahrzeug hat sich in den letzten Jahren auf dem Fahrradmarkt zunehmend durchgesetzt. Im Jahr 2021 wurden in Deutschland 2 Mio. Elektrofahrzeuge verkauft. Der Anteil der Elektrofahrzeuge am Gesamtumsatz der Fahrradbranche lag damit bei ca. 42 %. Allerdings müssen Elektrofahrzeuge von der Produktion bis zur Entsorgung ganzheitlich betrachtet werden, um herauszufinden, ob sie als umweltfreundliche und ressourceneffiziente Mobilitätsform angesehen werden können.

Projektziele und Vorgehen

Im Projekt „AddRE-Mo“ verfolgte ein Verbund aus Unternehmen und Forschungseinrichtungen das Ziel, ressourceneffiziente Werterhaltungsnetzwerke für die urbane Elektromobilität zu entwickeln. Durch eine bedarfsgerechte Analyse und Entwicklung wurden lokale Werterhaltungsnetzwerke für Komponenten von Mobilitätsträgern (E-Bike, E-Cargo-Bike etc.) unter Einbeziehung der Refabrikation und der additiven Fertigung erprobt. Dadurch wurden Produktkreisläufe für diese Komponenten geschlossen, die Ressourceneffizienz über das gesamte Produktleben erhöht und eine Entkopplung von Ressourcenverbrauch (Rohstoffe, Energie, Arbeitsaufwand, etc.) sowie wachsender Produktnachfrage erzielt.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Umfeldanalyse und Geschäftsmodelle: Im Rahmen einer Umfeldanalyse wurden Anforderungen verschiedener Stakeholder aus dem Bereich der urbanen Elektromobilität erhoben. Dabei wurden Potenziale und Hemmnisse von aktuellen bzw. zukünftigen Beteiligten (Nutzerinnen und Nutzer, Herstellende, Werkstätten, Politik, Vereine und Verbände) ermittelt. Die Ergebnisse aus der Umfeldanalyse wurden für die Entwicklung von insgesamt vier kreislauffähigen Geschäftsmodellen (Verkaufsmodelle und Produkt-Service-Systeme) für die additive Refabrikation von Elektrofahrzeugen genutzt.

„AddRE-Mo“ – Werterhaltungsnetzwerke für urbane Elektromobilität der Personen und Lasten durch Refabrikation und Additive Fertigung

Projektbeteiligte:

Electric-Bike Solutions GmbH; cirp GmbH; Trägerverein Umwelttechnologie-Cluster Bayern e.V.; Wuppertal Institut für Klima; Umwelt; Energie gGmbH; Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Koordinator:

Prof. Dr.-Ing. Frank Döpfer
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)
frank.doepper@ipa.fraunhofer.de
Tel.: 0921 78516 -100

Laufzeit:

01.07.2019 – 30.09.2022

Projektwebsite:

www.addre-mo.de

Förderkennzeichen:

033R234

Konzeptentwicklung und ökologische Bewertung: Die Umsetzung einer additiven Refabrikation wurde für zwei Referenzmotoren, Mittelmotor »Bafang BBS01B« und Nabenmotor »SGI Climber V2«, konzeptionell beschrieben. Neben der Demontage wurden alle weiteren Prozessschritte der Refabrikation (Reinigung, Prüfung, Aufarbeitung und Wiedermontage) betrachtet. Außerdem wurde eine ökologische Bewertung eines konventionell hergestellten und eines aufgearbeiteten Elektrofahrzeugmotors durchgeführt. Bei den untersuchten Motoren bewegt sich das Einsparpotenzial durch die Refabrikation unter den getroffenen Annahmen bezogen auf das Global Warming Potenzial nach der Methode des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) im Bereich von 75 % bis 92 %.

Produktentwicklung für die additive Refabrikation: Das Vorgehen zur additiven Refabrikation wurde exemplarisch an verschiedenen Varianten von Zahnradern und Drehmomentstützen evaluiert. Dazu wurden eine Vielzahl an Bauteile additiv gefertigt und in je einem eigens entwickelten Versuchs-

stand realen Belastungen unterzogen. Bei den getesteten Zahnradvarianten, die mittels dem additiven Fertigungsverfahren „Materialextension“ (MEX) gefertigt wurden, haben insbesondere die Zahnräder aus Polyamid 6 (PA6) die Belastungstests unbeschadet überstanden.

Digitale Technologien: Für die Objektklassifizierung der Referenzmotoren wurde ein bildbasiertes Machine-Learning (ML)-Algorithmus entwickelt. Mit seiner Hilfe war es möglich, auf dem Testdatensatz eine Genauigkeit von 96,8 % nach zehn Epochen zu erzielen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Das Projektteam von „AddRE-Mo“ beschäftigte sich nicht nur mit der Kreislaufführung von Produkten, sondern kombinierte unter Einbeziehung der additiven Fertigung die Verringerung des Ressourceneinsatzes in Produktion und Refabrikation mit einer Steigerung der Ressourceneffizienz. Durch Refabrikation wurde die Ressourcenproduktivität erhöht, da ein weiterer, vollständig neuer Nutzungszyklus der Produkte ermöglicht wurde. Dadurch konnten Wirtschaftswachstum und steigende Nachfrage vom Ressourcenverbrauch in Teilen entkoppelt werden. Die additive Fertigung bietet darüber hinaus das Potenzial, den Ressourcenverbrauch je Produkt im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren zu verringern und somit die Ökobilanz über den Lebenszyklus des Produkts zu verbessern. Gerade bei der Betrachtung von urbaner Elektromobilität stehen Ökologie, Ökonomie und Soziales als Dimensionen der Nachhaltigkeit im Zentrum der Entwicklungen. Durch die gemeinsame Entwicklung innovativer Konzepte für den Personen- und Lastentransport im urbanen Raum stand auch die Akzeptanz dieser Konzepte durch die Nutzerinnen und Nutzer im Zentrum der Forschung. Eine Betrachtung und Bilanzierung wurden durch die Integration entsprechender Verbände im Laufe des Projekts sowie durch die Modellierung des Werterhaltungsnetzwerks und die systemdynamische Simulation erreicht.



Abbildung 39: Inferenz in Demonstrator (Quelle: Fraunhofer IPA)

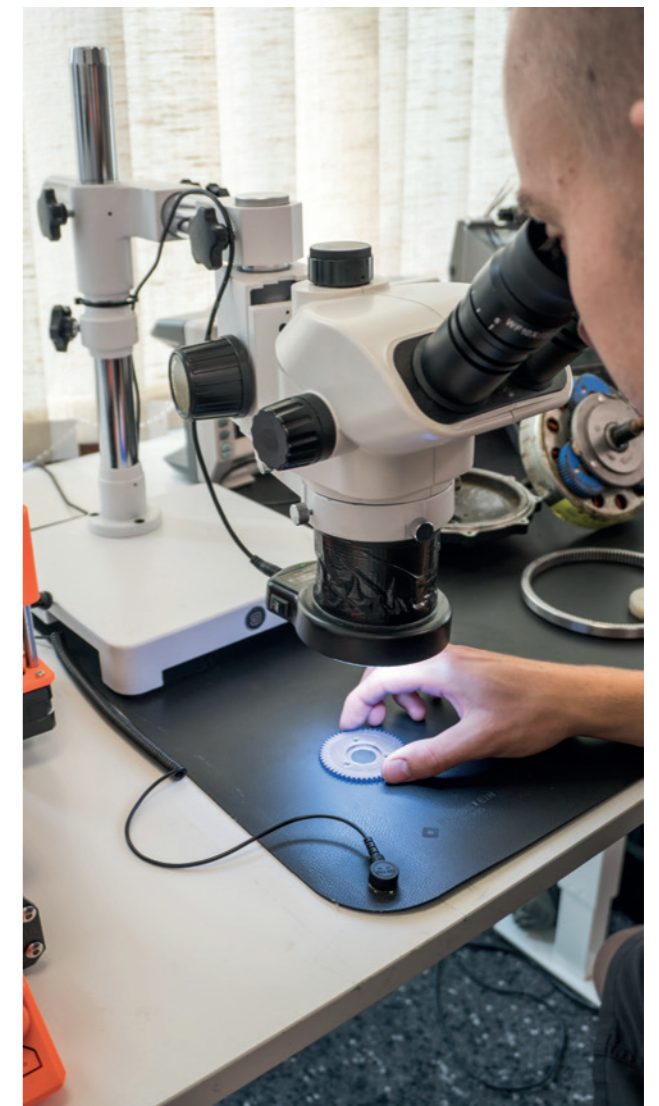


Abbildung 40: Additiv gefertigtes Zahnrad eines Elektrofahrzeugmotors (Quelle: Pi HQ-Kamera, „AddRE-Mo“)

Mensch-Maschine-Interaktion für ein zweites Produktleben

Künstliche Intelligenz, Selbstlernende Technologie, Kreislaufwirtschaft, Automatisierung, Datennutzung, Remanufacturing, Altteil-Sortierung, Mensch-Maschine-Interaktion

Wagner, M. (Circular Economy Solutions GmbH); Schlüter, M. und Briese, C. (Fraunhofer IPK); Schimaneck, R. und Dietrich, F. (IWF TU Berlin)

Ausgangs- und Problemlage

Am Ende einer Nutzungsphase existieren für ein Produkt verschiedene Entsorgungs- oder Aufbereitungsstrategien. Abhängig von Art und Zustand können Produkte beispielsweise dem Recycling oder der Aufbereitung und erneuten Nutzung zugeführt werden. Dafür müssen sie eindeutig identifiziert und bewertet werden. Die Herausforderung dabei ist, dass viele Produktmodelle sich nur geringfügig voneinander unterscheiden und aufgrund von Verschmutzung und Verschleiß schwer zu identifizieren sind. Zusätzlich stehen den Fachleuten für die Identifikation und Bewertung nur wenige Sekunden zur Verfügung. Um sie bei ihrer Arbeit zu unterstützen, sollte ihnen durch die Arbeiten in „EIBA“ eine Maschine zur Seite gestellt werden, welche das Produkt mit beurteilt. Sensorisch erfasste Daten wurden mit Hilfe künstlicher Intelligenz (KI) in Verbindung mit weiteren Informationen ausgewertet und zu einer Entscheidungsempfehlung formuliert. Dank des Vier-Augen-Prinzips von Menschen und Maschine sollten die Fehlerquote bei der Identifikation reduziert und die Menschen entlastet werden.

Projektziele und Vorgehen

Das Ziel des Projektes „EIBA“ war die Entwicklung eines Systems zur Identifikation und Zustandsbewertung von Altteilen. Damit wurde ein wichtiger Beitrag zur Kreislaufschiessung durch digitale Technologien geleistet. Mit dem Einsatz von Methoden der Künstlichen Intelligenz – wie Maschinellem Lernen und Deep Learning – sollten Produkte erkannt und mit weiteren Informationen verglichen werden. Eine kontinuierliche Erweiterung der Daten sollte zudem eine Anpassung an neue Produkte und Anforderungen ermöglichen. Die Innovation des Projekts bestand unter anderem darin, die spezifischen Kompetenzen von Mensch und Maschine sich ergänzend zu verbinden und damit eine höhere Effizienz und Prozesssicherheit zu ermöglichen. Das daraus resultierende System wurde nach Aspekten der Nachhaltigkeit analysiert: Was hat sich für den Menschen geändert? Welche zusätzlichen Umweltbelastungen entstehen durch den Einsatz von Maschinen im Vergleich zu den durch die Effizienzsteigerung gewonnenen Umweltentlastungen?

„EIBA“ – Sensorische Erfassung, automatisierte Identifikation und Bewertung von Altteilen anhand von Produktdaten sowie Informationen über bisherige Lieferungen

Projektbeteiligte:

Circular Economy Solutions GmbH; TU Berlin; Acatech; Fraunhofer IPK

Koordinator:

Markus Wagner
Circular Economy Solutions GmbH
markus.wagner@c-eco.com
Tel.: 0162 4305042

Laufzeit:

01.09.2019 – 31.05.2023

Projektwebsite:

www.linkedin.com/company/eibaprojekt

Förderkennzeichen:

033R226

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Ein Schwerpunkt im Projekt war die digitale Bildauswertung durch künstliche Intelligenz. In einem Proof-of-concept unter Laborbedingungen wurden basierend auf Bilddaten von circa 1400 unterschiedlichen Altteilen bei Leistungstests über 98 % der Altteile eindeutig richtig identifiziert. Anschließend wurden an einem Standort der Circular Economy Solutions GmbH alle Arbeitsplätze mit Tiefenkameras und Waagen ausgerüstet und die Identifikationssoftware an die digitalen Sensoren angebunden. Im operativen Prozess wurde so fortlaufend die Verfügbarkeit von Daten wie Bildern, Tiefenbildern und Gewichtsdaten vergrößert, anhand derer neuronale Netze auf die Erkennung von Fahrzeugaltteilen trainiert werden. Es wurden bereits 3500 unterschiedliche Automobil-Altteile mit 21 000 Datensätzen (124 000 Bilder) im Projekt digitalisiert und es werden täglich mehr, was es ermöglicht, durch neue und umfangreichere Trainingsdaten die Bild-KI immer besser an die realen Begebenheiten anzupassen.



Abbildung 41: Mensch und KI ergänzen sich
(Quelle: C-ECO/Bosch)

Neben der Bild-Erkennung wurden statistische Auswertemethoden und maschinelle Lernmodelle implementiert und getestet, die aus den historischen Lieferdaten, den Messungen der Waage und der Sendungsinformation Identifikationsvorschläge generieren. In Leistungstests konnten die statistischen Modelle 66 % der Altteile aus 213 879 realen Verlesungen eindeutig richtig identifizieren (inkl. zuvor ungesehener Altteilklassen). Leistungstests verschiedener maschineller Lernmodelle auf Basis der Liefer- und Geschäftsdaten zeigten eindeutig richtig Identifikationen bei 60 bis 70 % der realen Verlesungen (inkl. zuvor ungesehener Altteilklassen). Eine weitere Herausforderung lag bei der Mensch-KI-Interaktion in der effizienten Integration der Sensorik in den Arbeitsprozess. Hierzu wurde der aktuelle Prozess untersucht und ein Konzept für dessen Umgestaltung sowie für die Präsentation der KI-Ergebnisse in der Mensch-Maschine-Schnittstelle erarbeitet. Diese Konzepte wurden in klickbaren digitalen Demonstratoren umgesetzt und für die Integration in den realen Betrieb in Standorten der Circular Economy Solutions GmbH vorbereitet. Die Ergebnisse der Sensordateninterpretation, der statistischen Methoden so-

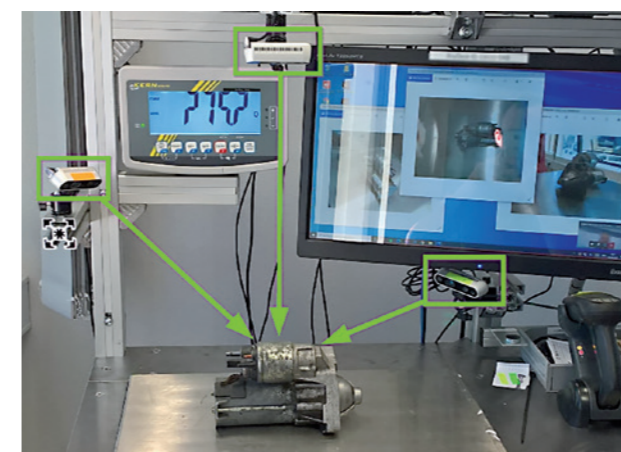


Abbildung 42: Kamera und Waage ergänzen den Arbeitsplatz
(Quelle: C-ECO)

wie der Eingaben des Werkers werden fusioniert, um deren spezifische Kompetenzen zur Erkennung der Altteile optimal zu kombinieren.

Um den Anforderungskatalog für die Entwicklung eines KI-Systems zu validieren und zu erweitern, wurden Interviews mit Expertinnen und Experten aus verschiedenen Branchen und Bereichen der Rückwärtslogistik durchgeführt. Ein zentrales Ergebnis aus diesen Interviews war unter anderem die Anforderung an eine KI-Anwendung, Altteile auch bei starker Verschmutzung erkennen zu können. Die Interviews dienten auch dazu, die Potenziale der automatisierten und standardisierten Identifikation und Bewertung von Altteilen zu ermitteln. Potenzial sahen die Interviewten unter anderem in der Möglichkeit, dass ein KI-System Daten für „business rules“ in Entscheidungsmatrizen definieren könnte.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Auf Basis der verbesserten Erkennungsraten wurden am Beispiel-Produkt Starter die potenziellen Auswirkungen auf CO₂-Emissionen der Sortierung berechnet. Hierfür wurden die zusätzlichen Emissionen aufgrund des KI-Einsatzes und der notwendigen Hardware den Einsparungen durch zusätzliche Teile, die dem Remanufacturing zugeführt werden, gegenübergestellt. Hierbei zeigte sich, dass die Einsparungen deutlich höher sind als die zusätzlichen Emissionen. Für die Produktgruppe Starter waren bereits nach 15 Teilen bzw. weniger als einem Tag Sortierung die potenziellen Einsparungen höher als der zusätzliche Energieaufwand. So beträgt allein das jährliche Einsparpotenzial bei Startermotoren durch den Einsatz der KI bei der Circular Economy Solutions GmbH 27,5 Tonnen CO₂-Äquivalente.

Adaptives Remanufacturing zur Lebenszyklusoptimierung vernetzter Investitionsgüter

Adaptives Remanufacturing, Ressourceneffizienz, Lebenszyklusverlängerung, Instandhaltungsstrategie

Dackweiler, J. (Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen)

Ausgangs- und Problemlage

Steigende Nachfrage und wenig nachhaltige Ressourcenverbräuche der wachsenden Weltbevölkerung führen zu einer Ressourcenknappheit. Dieser Herausforderung lässt sich durch die Entkopplung von Wirtschaftswachstum und Ressourcenverbrauch begegnen. Die Schließung von Produktkreisläufen durch die Transformation von einer linearen Wirtschaft zu einer Kreislaufwirtschaft ist hierzu ein wichtiger Lösungsschritt. Remanufacturing als eine Kernidee der Kreislaufwirtschaft erhöht die Ressourceneffizienz von Produkten durch die Lebenszyklusverlängerung. Besonders in Industrieländern bietet die Anwendung von Instandhaltungs- und Remanufacturing-Maßnahmen bei Investitionsgütern ein großes Potenzial zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Im Rahmen des Forschungsprojekts „ReLIFE“ wurde das Konzept des Adaptiven Remanufacturing (AdR) entwickelt, um die identifizierte Lücke für intelligente Remanufacturing-Strategien mit einem Schwerpunkt auf Investitionsgütern zu schließen.

Projektziele und Vorgehen

AdR beschreibt eine proaktive und intelligente Instandhaltungsstrategie mit dem Ziel, eine vereinbarte Mindestleistung von Investitionsgütern über einen verlängerten Zeitraum sicherzustellen. Wesentlicher Bestandteil des AdR ist ein Entscheidungsmodell, welches Anwenderinnen und Anwender bei der Entscheidung über den optimalen Zeitpunkt und Um-

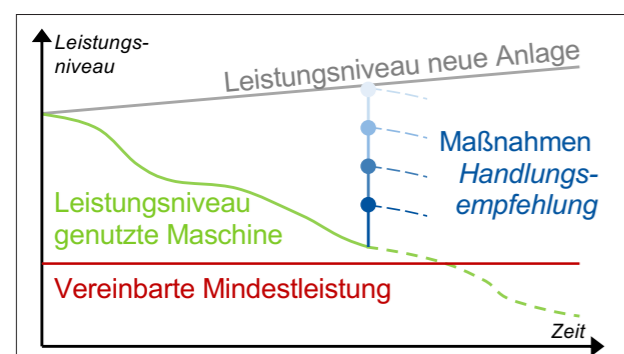


Abbildung 43: Zielbild des Adaptiven Remanufacturings (Quelle: „ReLIFE“)

„ReLIFE“ – Adaptives Remanufacturing zur Lebenszyklusoptimierung vernetzter Investitionsgüter

Projektbeteiligte:
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL); Lehrstuhl für International Production Engineering and Management (IPEM) der Universität Siegen; Achenbach Buschhütten GmbH & Co.KG

Koordinator:
Jonas Dackweiler
Werkzeugmaschinenlabor der RWTH Aachen (WZL), Cluster Produktionstechnik
J.Dackweiler@wzl.rwth-aachen.de
Tel.: 0151-43170588

Laufzeit:
01.07.2019–30.06.2022

Projektwebsite:
www.relife.wzl.rwth-aachen.de

Förderkennzeichen:
033R238

fang der Instandhaltungs- und Remanufacturing-Maßnahmen unterstützt. Das Modell entscheidet über die Priorisierung und zeitliche Abstimmung der verschiedenen möglichen Maßnahmen anhand ökonomischer, ökologischer und technischer Aspekte. Hierzu werden basierend auf dem Prinzip des Condition Monitoring über Echtzeit-Sensordaten Verschleißzustände des Investitionsguts erfasst, analysiert und im Entscheidungsmodell mit weiteren Informationen zu einer Handlungsempfehlung verarbeitet. Die rechtzeitige Ankündigung anstehender Maßnahmen stellt den Erhalt der vereinbarten Mindestleistung sicher und ermöglicht die langfristige und produktive Nutzung des Investitionsguts unter Reduktion bzw. Vermeidung ungeplanter Ausfallzeiten.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Als wesentliches Projektergebnis wurde das Entscheidungsmodell konzeptioniert, ausgearbeitet und anwendungsfreundlich innerhalb einer browserbasierten Software-Applikation implementiert. Im Projektverlauf wurde ein Investitionsgut als Demonstratoranlage mit ausgewählter Sensorik ausgestattet und zu Validierungszwecken an die entwickelte Software-Applikation angebunden. Hierzu wurden Richtlinien für das Produktdesign von Investitionsgütern mit integrierten, digitalen Sensortechnologien entwickelt. Im Kern funktioniert die Software-Applikation mit Eingangsinformationen bestehend aus den Sensordaten, einem Katalog an Instandhaltungs- und Remanufacturing-Maßnahmen sowie den Produktstruktur- und Komponentenangaben. Die Vielzahl an Sensordaten unterschiedlichster Messgrößen erlaubt Aussagen über den historischen und aktuellen Zustand des Investitionsguts. Erweitert um Prognosealgorithmen ermöglichen die Daten die Vorhersage kritischer Zustände überwachter Komponenten. Erreichen Sensorwerte vordefinierte Warngrenzen, werden diejenigen Menschen, die die Applikation nutzen via Benachrichtigungszentrale informiert und eine Handlungsempfehlung inklusive Vorschlägen sowie dem zugehörigen Umsetzungszeitpunkt generiert. Die Maßnahmenvorschläge umfassen die Auswahl technisch geeigneter Maßnahmen aus einem erarbeiteten Katalog von über 500 Einzelmaßnahmen.

Mittels der Entscheidungsmodelllogik werden technisch geeignete Maßnahmen mit ihren ökologischen, ökonomischen und technischen Kennwerten priorisiert dargestellt. Hierdurch wird den Anwenderinnen und Anwendern eine Auswahl von unternehmensspezifisch bestgeeigneten und präferierten Maßnahmen ermöglicht. Zu Validierungszwecken wurden je kritischer Komponente der Demonstratoranlage spezifische Maßnahmen ausgewählt und die Kennwerte zu ökologischen und ökonomischen Implementierungsaufwänden der Maßnahmen sowie dem technischen Wirknutzen ermittelt. In Interviews gaben die Betreibenden des Demonstrators positives Feedback in Bezug auf die Funktionsumfänge sowie die Nutzungs- und Bedienfreundlichkeit der Software-Applikation. Neben der Sicherstellung des Mindestleistungsniveaus bestehen zusätzliche Potenziale in der Entlastung von Ressourcen zur Anlagenüberwachung sowie der Reduzierung von Ersatzteillagerkapazitäten. Die Anlagenherstellenden können mit dem Angebot der Software-Applikation an Betreiberinnen und Betreiber bzw. Besitzerinnen und Besitzern der Investitionsgüter neue Geschäftsmodelle erschließen. Aus diesem Grund wurden mögliche Geschäftsmodelle innerhalb des Projekts entwickelt und bezüglich ökonomischer sowie ökologischer Effektivität validiert.

Die Umsetzung des im Projekt entwickelten Gestaltungsrahmens resultierte in mehreren Produkt Service System (PSS)-orientierten Geschäftsmodell-Blaupausen. Diese untergliedern sich nach der typischen PSS-Charakteristik in pro-

duktorientierte, nutzungsorientierte und ergebnisorientierte Modelle. Die Unterschiede zwischen den Modellen liegen v.a. in der Eigentums- und Verantwortungsstruktur für das Investitionsgut sowie der Wertschöpfungsarchitektur. Dabei wird ein Bereich vom klassischen Anlagen-Verkauf bis hin zur Bereitstellung einer bestimmten Leistung bei aufsteigendem Servicegrad abgedeckt. Besonders bei den nutzungsorientierten sowie ergebnisorientierten Modellen überlagert jedoch das finanzielle Risiko durch langfristig ausgelegte Zahlungen, weshalb der Fokus auf das eher klassische, produktorientierte Modell gelegt wurde. Die ökonomischen Validierungen zeigen, dass die Software-Applikation als Zusatzprodukt zum physischen Investitionsgut besonders bei einer Skalierung mit direkter Einbindung einer Mehrzahl an ähnlichen Investitionsgütern Erfolg verspricht. Mit den erzielten Projektergebnissen besteht zukünftig die Möglichkeit, tiefergehende Grundlagenforschung im Bereich des Adaptiven Remanufacturings sicherzustellen und die Methodik weiterzuentwickeln. Die breite Anwendbarkeit der Methodik trägt beispielsweise zur umfassenden Markterschließung bei Anwendung der Methodik auf andere Produkte, Branchen und Industrien bei. Durch die erhöhte Ressourceneffizienz wird wiederum nachhaltig die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen sichergestellt.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Beim Adaptiven Remanufacturing werden durch Komponentenrückführung in den Wirtschaftskreislauf sowie der Lebenszyklusverlängerung von Investitionsgütern und deren Einzelkomponenten Beiträge zur Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit erzielt. Exemplarische Instandhaltungs- und Remanufacturing-Maßnahmen umfassen hierbei das Spektrum der einfachen Komponentenreinigung bis hin zum vollständigen Komponentenaustausch mit Wiederaufbereitung und funktioneller, leistungssteigernder Ergänzung. Die Ergebnisse der durchgeführten Ökobilanzierung wiesen nach, dass sich in Abhängigkeit der Remanufacturing-Quote der Komponenten eine deutliche Reduzierung der Emissionen (ermittelt in CO₂-Äquivalenten) durch Anwendung des AdR-Ansatzes ergibt.

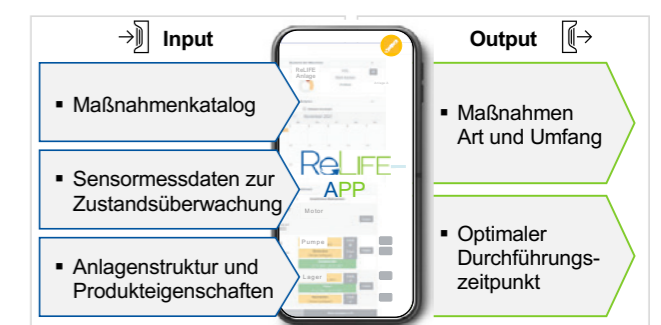


Abbildung 44: Ein- und Ausgangsinformationen der „ReLIFE“-App (Quelle: „ReLIFE“)

Additive Repair & Refurbishment metallischer Bauteile

Additive Fertigung, Reparatur, Remanufacturing, selektives Laserstrahlschmelzen, Aftermarket

Brinker, J. und Thomas, O. (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH)

Ausgangs- und Problemlage

Ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen können im Maschinen- und Anlagenbau mit hohen Folgekosten einhergehen. Deshalb werden verschiedene Lösungsstrategien exploriert, um die Verfügbarkeit von Maschinen und Anlagen zu erhöhen und den Zeitaufwand für Instandsetzungsmaßnahmen zu verringern.

Besonders die kurzfristige Bereitstellung von Ersatzteilen ist eine Herausforderung. Entsprechende Bevorratung ist kostenintensiv, und es bleibt die Frage nach geeigneten Lagerstandorten und Lieferwegen vom Lager zum Einsatzort. Dies gilt besonders für Bauteile, die bspw. nur selten benötigt werden und damit eine hohe Kapitalbindung verursachen. Eine Aufarbeitung erfolgt bisher nur bei hochpreisigen und in der Regel nicht-metallischen Komponenten. Der Einsatz additiver Fertigungsverfahren ermöglicht die Instandsetzung beschädigter, metallischer Bauteile mit einer hohen Prozesssicherheit und Reproduzierbarkeit und bietet zusätzlich das Potenzial zur Verbesserung des Bauteils im Überarbeitungsprozess. Perspektivisch lassen sich ausgewählte Bauteile kundenschaftsnah wiederaufbereiten und upgraden, was sowohl aus wirtschaftlicher als auch ökologischer Perspektive Mehrwerte gegenüber klassischen Neuteilen bietet. In vielen Unternehmen fehlt jedoch das notwendige Know-How, geeignete Bauteile zu identifizieren, Prozessketten zu entwickeln und diese zu operationalisieren.

Projektziele und Vorgehen

Das Forschungsteam im Projekt „RePARE“ beschäftigte sich mit dem Einsatz additiver Reparaturverfahren für metallische Bauteile. Auf ingenieurwissenschaftlicher Seite standen die technische Machbarkeit sowie die Definition und Erprobung von Prozessketten im Vordergrund. Auf betriebswirtschaftlicher Seite wurden die Einbettung von Reparaturprozessketten in bestehende After-Sales-Strukturen sowie ökonomische und ökologische Auswirkungen der Reparaturstrategie untersucht. Hierzu wurden im Projektverlauf zunächst bestehende Anwendungsfälle sowie additive Fertigungsverfahren in einer Fallbasis zusammengetragen und Merkmale für geeignete Bauteile identifiziert. Anhand von Demonstrator-Bauteilen wurden Prozessketten entwickelt, Reparaturen durchgeführt und im Anschluss mit Hilfe von

„RePARE“ – Regeneration von Produkt- und Produktionssystemen durch Additive Repair und Refurbishment

Projektbeteiligte:

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH; Leibniz Universität Hannover; Institut für Produktentwicklung und Gerätebau; DMG MORI Spare Parts GmbH; Windmüller & Hölscher KG

Koordinator:

Prof. Dr. Oliver Thomas
Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
oliver.thomas@dfki.de
Tel.: 0541 969-4810

Laufzeit:

01.07.2019 – 31.10.2022

Förderkennzeichen:

033R299

Prüfstandsversuchen evaluiert. Die dabei erhobenen Daten bildeten die Grundlage für eine Prozesskostenanalyse sowie die Ökobilanzierung. Parallel dazu wurde ein Servicekatalog entwickelt, der die notwendigen Begleitaktivitäten sowie bestehende Serviceangebote wie bspw. den Einbau-/Ausbau des Bauteils und die Fehleranalyse strukturiert erfasste, um Abhängigkeiten sowie Informationsbedarfe abzuleiten.

Um die Anwendung von Additive Repair und Refurbishment auch in der Breite zu ermöglichen, wurden im Projektverlauf Werkzeuge entwickelt, die das benötigte Expertenwissen abbilden und eine Automatisierung des Prozesses erleichtern. Durch den Einsatz von Methoden aus dem Bereich der Künstlichen Intelligenz ließen sich besonders datengetriebene Prozessabschnitte wie die Analyse von Fehlerzuständen oder die Verarbeitung von Bauteilscans vereinfachen. Dabei stand im Vordergrund, den größtmöglichen Teil der Aktivitäten zu Kundinnen und Kunden verlagern zu können, um eine Reparatur vor Ort – ohne Anreise ausgebildeter Technikerinnen und Techniker sowie Versand von Ersatzteilen – durchzuführen, sodass ökologische Einsparpotenziale realisiert werden können.

Forschungsergebnisse und Transfurmöglichkeiten

Mit der Reparatur der Demonstrator-Bauteile konnte im Projekt erfolgreich gezeigt werden, dass eine additive Reparatur auch abseits hochpreisiger Investitionsgüter möglich ist. Dabei wurde ein methodisches Vorgehen zum Aufbau der Prozesskette sowohl für Additive Repair als auch für Additive Refurbishment, also das Upgrade eines Bauteils auf einen neueren Stand der Technik oder geänderte Anforderungen, entwickelt. Die Entscheidung für oder gegen die Reparatur eines beschädigten Bauteils im Einzelfall hängt sowohl von technischen als auch wirtschaftlichen Kriterien ab. Mit Hilfe eines Assistenzsystem-Prototypen konnte regelbasiert auf Basis von Bauteilmerkmalen eine geeignete Prozesskette identifiziert werden, sodass Unternehmen die Einsatzmöglichkeiten für diese Einzelfälle selbstständig evaluieren können. Mit ein Prozesskostenrechner, ein Schnittebenen-

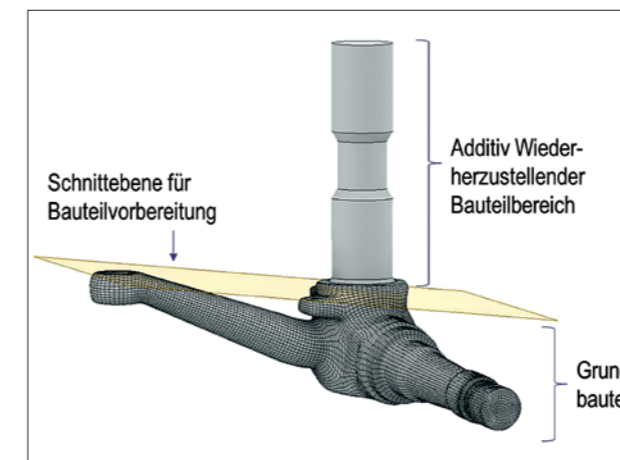


Abbildung 45: Datenvorbereitung für Additive Repair mittels selektivem Laserstrahlschmelzen am Demonstrator-Bauteil Achsschenkel (Quelle: IPeG, Leibniz Universität Hannover)

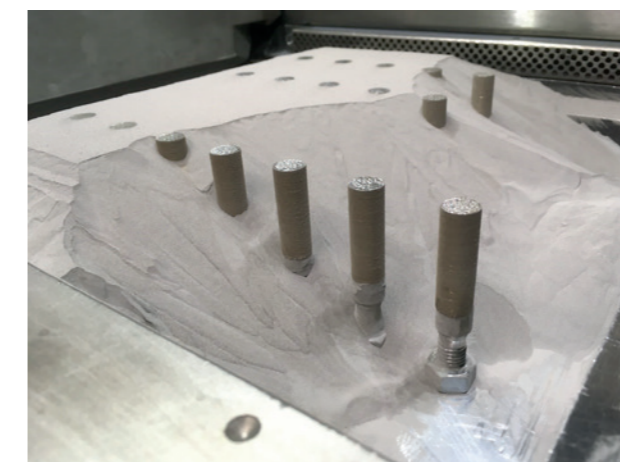


Abbildung 46: Fertigung von Zug-Probekörpern zur Beurteilung der mechanischen Eigenschaften von additiv reparierten Bauteilen (Quelle: IPeG, Leibniz Universität Hannover)

Generator zur Erleichterung der Bauteilvorbereitung sowie ein Optimierungsmodell für die Planung von Ersatzteil- und Reparaturstandorten wurden weitere Werkzeuge entwickelt, die auch die operative Umsetzung erleichtern. Im Rahmen eines Life Cycle Assessments wurde ein Tool entwickelt, um Sachbilanzdaten des Reparaturprozesses prozessschritt-spezifisch zu erfassen und in Form einer Wirkungsabschätzung ganzheitlich zu verrechnen. Die resultierende generalisierte „cradle-to-gate“-Prozesskette ermöglicht eine Demonstrator-übergreifende Analyse reparierbarer Bauteile mittels des LPBF-Verfahrens, d.h. des Pulverbettbasiertes Laserstrahlschmelzens (Laser Powder Bed Fusion, LPBF).

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Im Projekt konnte gezeigt werden, dass additive Reparaturverfahren eine ressourceneffiziente Alternative zur Neuteilbereitstellung sein können. Mit der Vision einer Reparatur bei den Kundinnen und Kunden lässt sich – neben den bereits etablierten Remote-Services – auch der Versand von Bauteilen digitalisieren. Weiterhin konnten neue Erkenntnisse zur kreislauffähigen Gestaltung von Produkten gewonnen werden, durch welche der Einsatz von Reparaturverfahren erleichtert wird. Zwar ist die Komplexität von Additive Repair & Refurbishment bisher noch eine Herausforderung für den breiten Einsatz, doch die entwickelten Werkzeuge zeigen, wie Fachwissen digital abgebildet und eine Prozessautomatisierung vollzogen werden kann. Obgleich Nachhaltigkeit bisher eine untergeordnete Rolle im Maschinen- und Anlagenbau spielt, konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von Additive Repair auch ökonomische Vorteile mit sich bringen kann. Damit kann es eine nachhaltige Alternative zu klassischen Ersatzteilstrategien sein.



Quelle: Framestock - stock.adobe.com

Cluster 4: Kreislauffähige Elektrofahrzeuge

Vietor, T. (TU Braunschweig)

Das Wachstum von Weltbevölkerung und Wohlstand beansprucht natürliche Ressourcen. OECD und Weltressourcenrat prognostizieren, dass sich bis 2050 der globale Ressourcenverbrauch mehr als verdoppeln wird, wenn sich der derzeitige Trend weiter fortsetzt. Ein großer Teil des weltweiten Ressourcenverbrauchs entfällt auf den Personen- und Güterverkehr. Die wachsende Weltbevölkerung und der Online-Handel führen weltweit zu einem kontinuierlichen Anstieg des Verkehrsaufkommens für Individualmobilität und Warendisposition. Aufgrund dieser Entwicklungen steigt trotz Wirkungssteigerungen von Verbrennungskraftmaschinen der Ressourcenaufwand für Mobilität erheblich. Ressourceneffizienz wird damit zu einem Hauptziel der Entwicklung zukünftiger Mobilitätskonzepte. Dies setzt voraus, dass neben geringen Umweltwirkungen während des Betriebs auch für die Herstellung von Fahrzeugen möglichst wenige Ressourcen aufgewendet werden und einmal eingesetzte Ressourcen bspw. für einzelne Komponenten effizient (weiter-)genutzt und recycelt werden können. Neue Fahrzeugkonzepte, eine längere Lebensdauer von PKWs durch die Entwicklung besonders langlebiger Module, neue, vorteilhafte Geschäftsmodelle, Rekonfiguration, Refurbishing oder Remanufacturing – es gibt vielfältige Lösungsansätze, die Kreislauffähigkeit und Nachhaltigkeit von Elektrofahrzeugen unterstützen. Es bestehen jedoch auch Herausforderungen. Eine der größten Herausforderungen liegt in der Akzeptanz. Denn ohne Akzeptanz von Seiten der Herstellenden, der Sharing-Anbietenden oder der Endnutzerinnen und -nutzer kann keiner der Lösungsansätze effektiv umgesetzt werden. Daher ist es naheliegend, dass im Rahmen der „ReziProK-Projekte“ zu kreislauffähigen Elektrofahrzeugen auch verstärkt die Akzeptanzforschung mit einbezogen wurde.



Abbildung 47: Elektromobilität bildet eine wichtige Säule der Kreislaufwirtschaft (Quelle: pixabay).

Modulare und kreislauffähige E-Fahrzeugplattform

Kreislaufwirtschaft, Elektromobilität, Faserverbund, Fahrzeugplattform, CFK, Wiederverwendung, Kreislauffähige Elektrofahrzeuge

Caba, S. (EDAG Engineering GmbH)

Ausgangs- und Problemlage

Der Automobilbau ist entlang der internationalen Wertschöpfungskette energie- und ressourcenintensiv. Eine längere Lebensdauer von Fahrzeugen bietet daher große ökologische und volkswirtschaftliche Vorteile. Der kreislaufgerechte Open-Source-Baukasten für elektrisch angetriebene Pool-Fahrzeuge des Projekts „KOSEL“ trägt durch Remanufacturing und Wiederverwendung deutlich zur Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft bei.

PKW werden im Schnitt schon nach unter 15 Einsatzjahren exportiert oder verschrottet. Automobilkundinnen und -kunden könnten mit einer Verdoppelung der Laufleistung die Emissionen der Fahrzeugproduktion und auch den Abbau von Rohstoffen signifikant reduzieren. Daher sollte in „KOSEL“ durch den Einsatz von korrosions- und ermüdungsarmen Werkstoffen wie etwa Faser-Kunststoff-Verbunden die Entwicklung von besonders langlebigen Modulen erfolgen. Vor diesem Hintergrund ergaben sich anspruchsvolle technische, wirtschaftliche und ökologische Projektziele.

Projektziele und Vorgehen

Das Hauptziel des „KOSEL“-Projekts war die Entwicklung einer Fahrzeugplattform, die die Wiederverwendung langlebiger Komponenten ermöglicht. Hierzu wurden feste Schnittstellen definiert, an denen Bauteile nicht nur zum Zwecke der Reparatur, sondern auch zur Änderung des Anwendungsfalls des Fahrzeugs möglichst einfach ausgetauscht werden können (vgl. Abbildung 48). Die angestrebte Gesamtlebensdauer der Plattform beträgt 30 Jahre. Für Einzelkomponenten wurden spezifische Betrachtungen für die zu erwartende Lebensdauer vorgenommen. Ziel war es, besonders die großen, teuren Komponenten möglichst lange im Betrieb zu halten. Verschleißteile wie Gummilager im Fahrwerk werden nach Erreichen der Lebensdauer getauscht und dem Recycling zugeführt. Im technischen Bereich wurde eine modular aufgebaute, kreislauffähige E-Fahrzeugplattform für Einsatzzeiten von bis zu 30 Jahren bei Laufleistungen von bis zu einer Million Kilometern konstruiert und prototypisch umgesetzt. Im wirtschaftlichen Bereich erfolgte die Identifikation von vorteilhaften Geschäftsmodellen für den Fuhrparkbetrieb mit neuartigen Fahrzeugen aus kreislauffähigen Modulen und dem Nachweis von Kosteneinsparpotenzialen gegenüber klassi-

„KOSEL“ – Kreislaufgerechter Open-Source-Baukasten für elektrisch angetriebene Poolfahrzeuge

Projektbeteiligte:

Fraunhofer IWU; INVENT GmbH; BSMRG GmbH; Röchling Engineering Plastics SE & Co. KG; TU Dresden – Betriebliche Umweltökonomie; Hochschule Emden/Leer

Koordinator:

Stefan Caba
EDAG Engineering GmbH
stefan.caba@edag.com
Tel.: 0661 600073735

Laufzeit:

01.07.2019 – 30.09.2022

Projektwebsite:

<https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/KOSEL.html>

Förderkennzeichen:

033R242

schen Modellen. Im ökologischen Bereich sollte der Nachweis der signifikanten Ressourceneinsparung durch das Remanufacturing sowie die Wiederverwendung von komplexen Fahrzeugmodulen nachgewiesen werden.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Bei den Arbeiten am Baukasten wurde besonderes Augenmerk auf die langlebigen Strukturen und die Open-Source-Schnittstellen gelegt. Hierbei kamen neuartige, am Fraunhofer IWU entwickelte Faserverbund-Crashabsorber zum Einsatz, die bei geringem Gewicht viel kinetische Energie aufnehmen können. Diese sowie der strukturbestimmende Schweller werden im kostengünstigen Pultrusionsverfahren hergestellt. Im Bereich Fahrwerk und Antrieb wurden unterschiedliche Ansätze verfolgt. An der Vorderachse wurde ein zentraler E-Motor verwendet, der die an einer Blattfeder gelagerten Räder antreibt. An der Hinterachse kam eine kürzlich zum Patent angemeldete Pendellenkerachse mit verstellbarer Blattfeder zum Einsatz. Die Betrachtung von Geschäftsmodellen zeigte, dass aufgrund der Langlebigkeit

die Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Aus ökologischer Sicht wird der Ressourcenverbrauch gesenkt. Die Betriebliche Umweltökonomie der Technischen Universität Dresden erarbeitete eine Methode zur ökologisch-ökonomischen Optimierung unter Anwendung der Ökobilanzierung für das neue Fahrzeug- und Mobilitätskonzept. Die Projektergebnisse, u. a. die Crash-Schutz-Struktur in Form eines Schwellers, waren für das Fraunhofer IWU ein wichtiger Zwischenschritt auf dem Weg von grundlagenorientierten Arbeiten zur konkreten Umsetzung in die Praxis.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Kohlenstoffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) weisen mehrere Vorteile auf, die sie ideal für die Wiederverwendung von Bauteilen machen. Neben der Korrosionsbeständigkeit ist

eine besonders hohe mechanische Schwingfestigkeit gegeben. So können Lasten über längere Lebenszyklen ertragen werden, als das mit metallischen Werkstoffen möglich ist. Darüber hinaus wird aufgrund der geringen Masse Antriebsenergie eingespart. Wie die gesamte Fahrzeugplattform ist auch der seitliche Crash-Schutz, hier in Form einer Schwellerstruktur, modular aufgebaut und bietet die Möglichkeit, beschädigte Komponenten zu ersetzen oder intakte Komponenten wiederzuverwenden. Hierzu ist lediglich die Schwellerabdeckung zu entfernen und eine Schraubverbindung zu lösen. Nach der Demontage erfolgt eine Prüfung und gegebenenfalls eine Aufbereitung, bevor die Wiederverwendung erfolgen kann. Sollten irreparable Beschädigungen festgestellt werden, erfolgt ein sortenreines Recycling.



Abbildung 48: Designvariante eines Carsharing-Fahrzeugs basierend auf der KOSEL-Plattform (oben); Konzept der Fahrzeugplattform mit definierten Schnittstellen (links); Crashabsorber aus pultrudierten CFK-Profilen (rechts). (Quelle: EDAG)

Leicht und lange Lebensdauer – Light Electric Vehicle für zukunftstaugliche Mobilität

Light Electric Vehicle, Neue Formen der Mobilität, Emissionsreduzierte letzte Meile, Kreislauffähige Elektrofahrzeuge

Wüstenhagen, S. (Fraunhofer IMWS)

Ausgangs- und Problemlage

Strukturleichtbau in der Mobilität stellt eine signifikante Steigerung der Energieeffizienz, und die Reduktion von Umweltemissionen in der Nutzungsphase von Fahrzeugen in Aussicht. Etablierte Fahrzeugklassen für landgestützten Verkehr, aber auch Nutzungsgewohnheiten schränken das Potenzial drastischer Gewichtsreduktion bisher jedoch ein. „Light Electric Vehicle (LEV)“ Konzepte können sich radikal von etablierten Fahrzeugkonzepten unterscheiden, nicht nur im Bedarf an Betriebsenergie- und Betriebsmittelverbrauch, sondern auch in Produktion, Nutzung und Kreislauffähigkeit.

Der Wandel zur Elektromobilität bedeutet für die deutsche Automobilindustrie Veränderungen, da die Zulieferindustrie sich z.T. umstrukturieren muss, eröffnet aber weitere Zugänge in eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft durch „Neue Mobilität“. Hierzu wurden in Vorlaufprojekten am Fraunhofer IMWS in Zusammenarbeit mit mittelständischen Unternehmen neue Materialien, Konstruktionsweisen und auch Peripheriesysteme für LEV entwickelt („Cargo Cruiser II“ als ein zum Verkehr zugelassener Prototyp in der Fahrzeugklasse EU L7e). Auf dieser technologisch-materialwissenschaftlichen Basis sollten in Kombination mit Ansätzen zur Kreislaufwirtschaft neue Marktsegmente für Unternehmen der Autozulieferindustrie erschlossen werden. Dabei wurden neben einer langen Nutzungsdauer der Fahrzeugsysteme (Reparaturfähigkeit) hohe Wiederverwertungsraten technischer Bauteile (z.B. Einsatz generalüberholter Elektromotoren) angestrebt.

Projektziele und Vorgehen

Ziel des Projektes war die Untersuchung der Kreislauffähigkeit von Leichtfahrzeugen, welche durch die Zulieferindustrie der Mobilitätsbranche industriell gefertigt werden können. Dabei waren zwei Konstruktionsweisen aufzubereiten, welche zum einen die Ableitung aller relevanten Fahrzeugvarianten zulassen und zum anderen die vergleichende Untersuchung der Umweltwirkung und Kreislauffähigkeit von Leichtfahrzeugen gegenüber konventionellen Fahrzeugbauweisen gestatten.

„LEVmodular“ – Light Electric Vehicle modular – mit neuer Mobilität zur Ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft

Projektbeteiligte:
FVK GmbH; Olaf Lange & Co GbR

Koordinator:
Sven Wüstenhagen
Fraunhofer IMWS
sven.wuestenhagen@imws.fraunhofer.de
Tel.: 0345 5589-228

Laufzeit:
01.07.2019 – 31.12.2022

Projektwebsite:
<https://innovative-produktkreislaeufe.de/Projekte/LEVmodular.html>

Förderkennzeichen:
033R245

Basierend auf einem bestehenden Prototyp in Mischbauweise wurden Konstruktionsmodelle mittels Finite-Elemente-Methode erweitert, um die mechanische Bauteilauslegung für eine Faserverbundbauweise zu entwickeln. Gleichzeitig wurden Innovationsmethoden eingesetzt, um eine neuartige Lösung zur Ableitung von Fahrzeugvarianten für diverse Einsatzzwecke zu entwickeln. Die Bedingungen der Fahrzeugklasse EU L7e wurden als gesetzlich abgesicherter Rahmen für die Fahrzeugkonstruktion und Bauteilauslegung gewählt, da Fahrzeugabmessungen, Zuladung und Antriebsleistung eine Lösung in Aussicht stellen, die nicht auf den Verkehrsraum Fahrradweg angewiesen ist und mögliche Akzeptanzprobleme minimiert. Die identifizierten Konstruktionsweisen wurden mit Hilfe des Life Cycle Assessment vergleichend bewertet, um ganzheitlich die Umwelteinflüsse in allen Produktlebensphasen in die Bewertung einzubeziehen und eine wissenschaftliche fundierte Untersuchung der Umweltwirkung von LEV gegenüber konventionellen Fahrzeugtypen zu ermöglichen. Für die Untersuchung der Kreislauffähigkeit von Leichtfahrzeugen wurde der französische Reparaturindex orientierend angewendet. Um die Betriebssicherheit von Faserverbundbauteilen während der Nutzungsphase zu über-

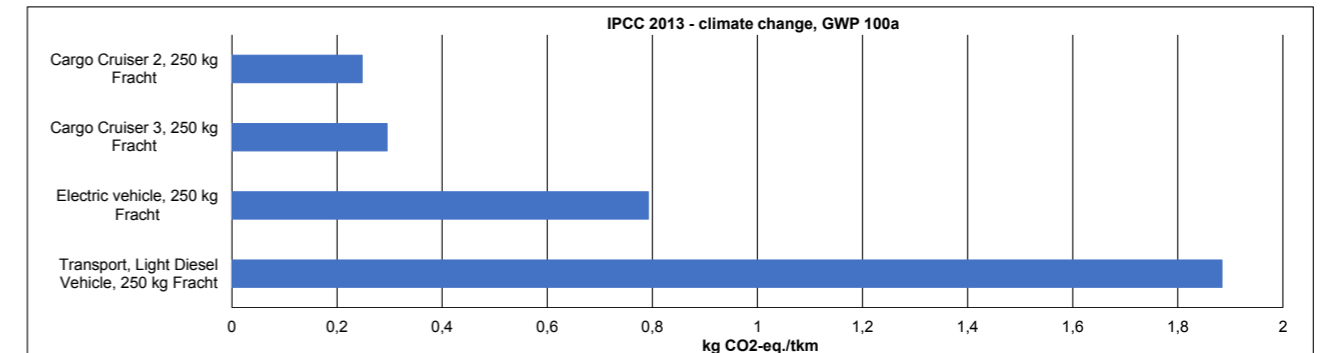


Abbildung 49: Exemplarischer Vergleich des Global Warming Potenzial [kg CO₂-eq nach IPCC 2013, 100 a] von Light Electric Vehicle („Cargo Cruiser“) gegenüber konventionellen Fahrzeugen, für die Bezugsgröße 1 tkm, im Bilanzrahmen „cradle to grave“. (Quelle: Fraunhofer IMWS)

prüfen, wurde das Einsatzverhalten der Faserverbunde mit einem neuartigen Sensorsystem kontrolliert. Ergonomische Studien wurden anhand praktischer Fahrtests evaluiert.

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Basierend auf realen, im Testbetrieb ermittelten Verbrauchsdaten des prototypischen Fahrzeugs und Primärdaten aus der Faserverbundfertigung konnte erfolgreich ein Life Cycle Assessment im Bilanzierungsrahmen „cradle to grave“ erstellt werden. Die Auswahl einer geeigneten funktionalen Einheit ermöglichte die vergleichende Untersuchung gegenüber konventionellen Fahrzeugsystemen. Für den Transport von Paketen auf der letzten Meile wurde hierbei eine signifikante Reduzierung der Umweltwirkungen durch LEV gegenüber konventionellen Fahrzeugtypen festgestellt (Abbildung 49). Das neuartige Sensorsystem für das Structural Health Monitoring von Faserverbundbauteilen gibt nahezu in Echtzeit Aufschluss zu Überlastungen im Betrieb und bietet wichtige Optionen für Geschäftsmodelle zum Betrieb von Light Electric Vehicles sowie Ansätze für die weitere Gewichtsoptimierung von Leichtfahrzeugen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Mit dem Beleg der signifikant reduzierten Umweltbelastung durch LEV ist der Lösungsraum für Fahrzeuge bzw. „Neue Mobilität“ erweitert. Basierend auf den Forschungsergebnissen kann die Zulieferindustrie Leichtfahrzeuge für Nischenanwendungen im Bereich „Letzte Meile“ im industriellen Rahmen produzieren. Das Projektkonsortium plant in einem Folgeprojekt die direkte Übertragung in die industrielle Praxis, gekoppelt an die Weiterentwicklung bereits identifizierter Geschäftsmodelle.



Abbildung 50: Praktische Evaluierung der Ergonomie, Leichtfahrzeug Cargo Cruiser 2 (Quelle: Olaf Lange Dreiradbau, Berlin)

Rekonfigurierbare Designkonzepte und Services für die ressourceneffiziente (Weiter-)Nutzung von E-Cargobikes

Akzeptanzforschung, App, Batterie, E-Cargobikes, Nachhaltige Geschäftsmodelle, Produktdesign, Recycling, Kreislauffähige Elektrofahrzeuge

Vietor, T. (TU Braunschweig)

Ausgangs- und Problemlage

Weltweit steigt das Verkehrsaufkommen für Individualmobilität und Warendisposition. E-Bikes und E-Cargobikes eignen sich, um insbesondere innerstädtische Mobilität emissionsärmer zu gestalten. Dem geringeren Ressourceneinsatz während der Nutzungsphase von Pedelecs und E-Cargobikes stehen derzeit jedoch fehlende Lösungsansätze für die Weiternutzung ressourcenintensiver Komponenten wie beispielsweise Akkus und der Verwertung des gesamten Fahrrades gegenüber. Da E-Bikes und E-Cargobikes zukünftig als Elektroschrott gelten, müssen Konzepte für das gezielte Recycling oder die Zweitnutzung einzelner Komponenten entwickelt werden. Um die Ressourceneffizienz von E-Cargobikes über die Erstnutzung hinaus zu steigern, erforschten und erprobten die Partnerinnen und Partner im Projekt „LifeCycling2“ Lösungen für die gezielte Weiternutzung und Aufwertung von Produkten und Komponenten sowie für das Materialrecycling. Wirksamkeit und Innovationen sollten sich aus der interdisziplinären Zusammenarbeit und der starken Verknüpfung von Services und Produkten ergeben.

Projektziele und Vorgehen

Das Projekt „LifeCycling2“ zielte vor dem Hintergrund der zunehmenden Verbreitung von E-Cargobikes auf die Verbesserung der lebenszyklusübergreifenden Ressourceneffizienz ab. Dazu wurden technische Konzepte zur Verlängerung der Nutzungsdauer durch Produkt-Updates und Upgrades sowie zur Optimierung der Nutzungsintensität durch Sharing-Lösungen erarbeitet. Ergänzend wurden Maßnahmen zur lebenszyklusorientierten Gestaltung von E-Cargobikes und Methoden für die Festlegung von Lebenszyklusstrategien entwickelt sowie organisatorische Maßnahmen für die gezielte Kreislaufführung von Elektronik-Komponenten untersucht. Die Designkonzepte für Hard- und Softwaresysteme wurden in Form von Demonstratoren für Pilotprojekte realisiert und praktisch erprobt. Darüber hinaus wurden technische Lösungen und Dienstleistungen als softwarebasierte Services entwickelt und erprobt. Ziele waren die Verbesserung des Nutzungsverhaltens sowie der Ressourceneffizienz während der Erstnutzung durch Upgrades und die Ermöglichung einer ressourceneffizienten Weiternutzung des ge-

„LifeCycling2“ – Rekonfigurierbare Designkonzepte und Services für die ressourceneffiziente (Weiter-)Nutzung von E-Cargobikes

Projektbeteiligte:

TU Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik, Institut für Soziologie; TU Clausthal, Institut für Software Systems Engineering; baron mobility service GmbH, Stöbich technology GmbH, ELECTROCYCLING GmbH, Sense4Future GmbH

Koordinator:

Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor
TU Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik
ik-lifecycling2@tu-braunschweig.de
Tel.: 0531 391-66670

Laufzeit:

01.08.2019 – 31.01.2023

Projektwebsite:

<https://lifecycling2.de>

Förderkennzeichen:

033R232

samen Bikes oder einzelner Komponenten. Betrachtet wurden hierbei die vier Handlungsfelder:

- **Produkt:** Aufwertung, Restwertbeurteilung und Zweitnutzung von E-Cargobikes
- **Komponenten:** Rückführung und Umnutzung von Akkumulatoren sowie Antriebskomponenten
- **Material:** Separation und Verwertung von Materialien
- **Information und Steuerung:** Erfassung und Bereitstellung von Informationen zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Forschungsergebnisse und Transfermöglichkeiten

Durch Design Thinking Workshops konnten verschiedene Use Cases und entsprechende Personas für den Einsatz von E-Cargobikes kreiert werden. Die Use Cases sind das zentrale Element in der Entwicklung der Systeme E-Cargo, Batterie, Geschäftsmodell, Informationsdienste und Recyclingprozesse. Mithilfe strukturierter Einflussumfelder und der Ableitung, Gewichtung und detaillierten Beschreibung von Einflussfaktoren konnten bereits initiale Anforderungen gesammelt und so die Grundlage für die Entwicklung von Designkonzepten gelegt werden. In einem weiteren inhaltlichen Strang wurde eine Analyse kommerzieller Batteriesysteme und Zellen für E-Bike-Antriebe durchgeführt. Das Recyclingunternehmen stellt Alt-Batterien bzw. Batteriesysteme verschiedener Fabrikate bereit. Deren Analyse zeigte, dass keine einheitlichen Standards hinsichtlich der eingesetzten Zellbauformen (zylindrische Zellen, prismatische Zellen, Pouchzellen) als auch des mechanischen und elektrischen Systemaufbaus (u.a. Gehäuse, Sensorik) vorliegen. Anschließend wurde die Entwicklung einer App vorangetrieben, die den Nutzerinnen und Nutzern die Möglichkeit gibt, E-Cargobikes umgebungsnah auszuleihen und selbst zu verleihen. Mit der App sollte ein verbessertes und verteiltes Nutzungs- und Verschleißprofil des E-Cargobikes gefördert werden. Neben der App wurde ein E-Cargobike mit verschiedenen Sensoren ausgestattet, um Rückschlüsse auf die Nutzung zu ziehen.

Beitrag zu Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit

Die in den verschiedenen Pilotprojekten gesammelten Daten aus der Sensorik am E-Cargobike und aus der App wurden aufbereitet und für verschiedene Zwecke weiterverarbeitet. Zum einen sollten sie den Projektbeteiligten zur Erhebung von Anforderungen und der Bewertung zukünftiger Einsatzszenarien für E-Cargobikes dienen. Zum anderen werden sie zu einem späteren Zeitpunkt Herstellenden zur Verfügung gestellt, um diese bei der Erzeugung von verbesserten, ressourceneffizienten und zukunftsrobusten Produktarchitekturen unterstützen. Es wurden Rekonfigurations- und Aufwertungsstrategien von Produkten während der Nutzungsphase sowie im Übergang zwischen Erst- und Zweitnutzung am Beispiel von E-Cargobikes erarbeitet und bewertet. Darüber hinaus wurden initiale Ansätze hinsichtlich des gewerblichen Sharings, der Rekonfiguration und des Refurbishing von E-Cargobikes durch die Pilotprojekte validiert. Die App wird über die Projektlaufzeit hinweg als begleitender Service betrieben, um die Nutzungsintensität bspw. durch Sharing von E-Cargobikes zu steigern.

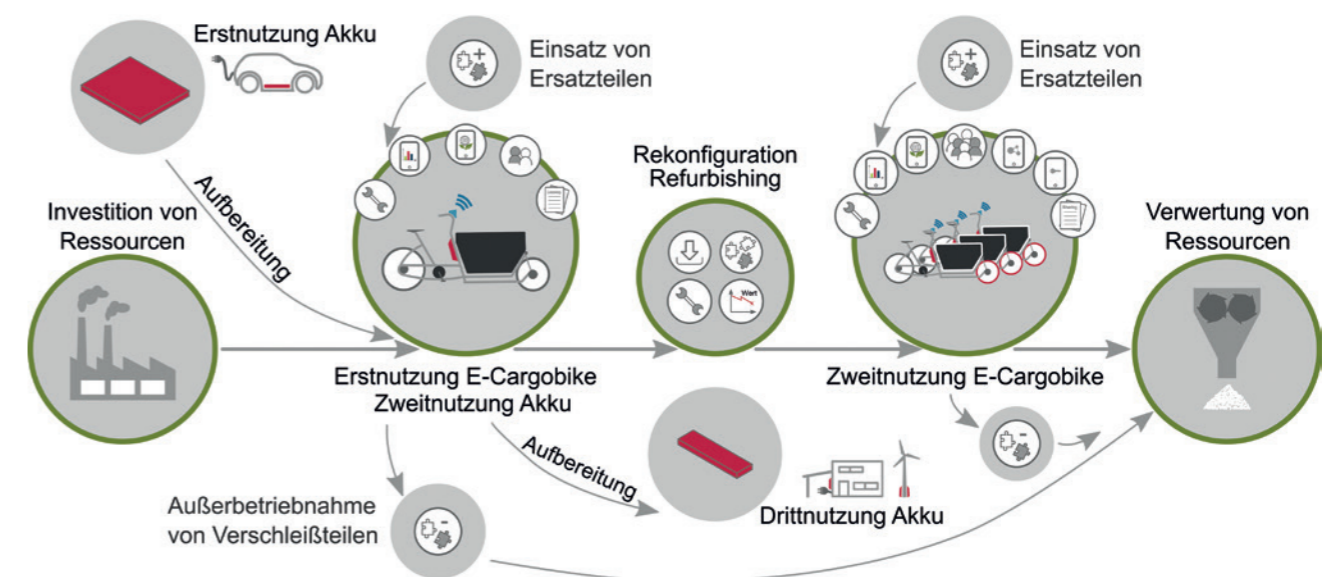


Abbildung 51: Vision im Projekt „Lifecycling2“ (Quelle: „LifeCycling2“)



Quelle: Studio Romantic - stock.adobe.com

Projektübergreifende Fragestellungen der Fördermaßnahme

Im Rahmen der Fördermaßnahme „ReziProK“ erfolgte ein projektübergreifender Austausch zu den Querschnittsfragen „Akzeptanzforschung“, „Bewertungswerkzeuge/LCA“, „Geschäftsmodelle“ und „Rechtliche Rahmenbedingungen“.

Akzeptanzforschung

Die Bedeutung von Akzeptanz im Kontext zirkulärer Wertschöpfung

Kreft, O. (Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH)

Was bedeutet „Akzeptanz“ im Kontext innovativer Produktkreisläufe? Und wie wird das Thema „Akzeptanz“ in den Projekten aufgegriffen?

Akzeptanz ist eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg von Geschäftsmodellen in der Circular Economy. Um das Akzeptanzphänomen im Kontext der Circular Economy besser verstehen zu können, wurde das Spannungsfeld von Akzeptanzsubjekt, -objekt und den dahinterstehenden Bewertungsprozessen genauer beleuchtet. Mittels eines Fragenkatalogs wurden innerhalb der „ReziProK“-Projektteams Zielgruppen und Akteurinnen und Akteure der Wertschöpfungsketten identifiziert sowie Einflussfaktoren auf Akzeptanz und deren Lenkungsansätze im Projektkontext ermittelt. Vorhandene Erfahrungen wurden ebenso untersucht wie die Frage, was der Begriff „Akzeptanz“ im jeweiligen Projektkontext bedeutet.

Im Zentrum der „ReziProK“-Verbundprojekte stand die aktive Akzeptanz, das heißt die Integration verschiedener Zielgruppen in die zirkuläre Wertschöpfung.

Durch die Vielzahl der thematischen, sektoralen und materiellen Schwerpunkte der „ReziProK“-Projekte konnten wichtige Facetten der Circular Economy beleuchtet werden. Die meisten Projektteams fokussierten auf mehrere Wertschöpfungsstufen, unterschiedliche Zielgruppen sowie Akteurinnen und Akteure. Circular Economy wird somit nicht selektiv und monolithisch gedacht, sondern vernetzt. Akzeptanz wird generell als positive Wahrnehmung gesehen, die teilweise noch erzeugt werden muss und Grundbedingung für eine erfolgreiche zirkuläre Wertschöpfung ist.

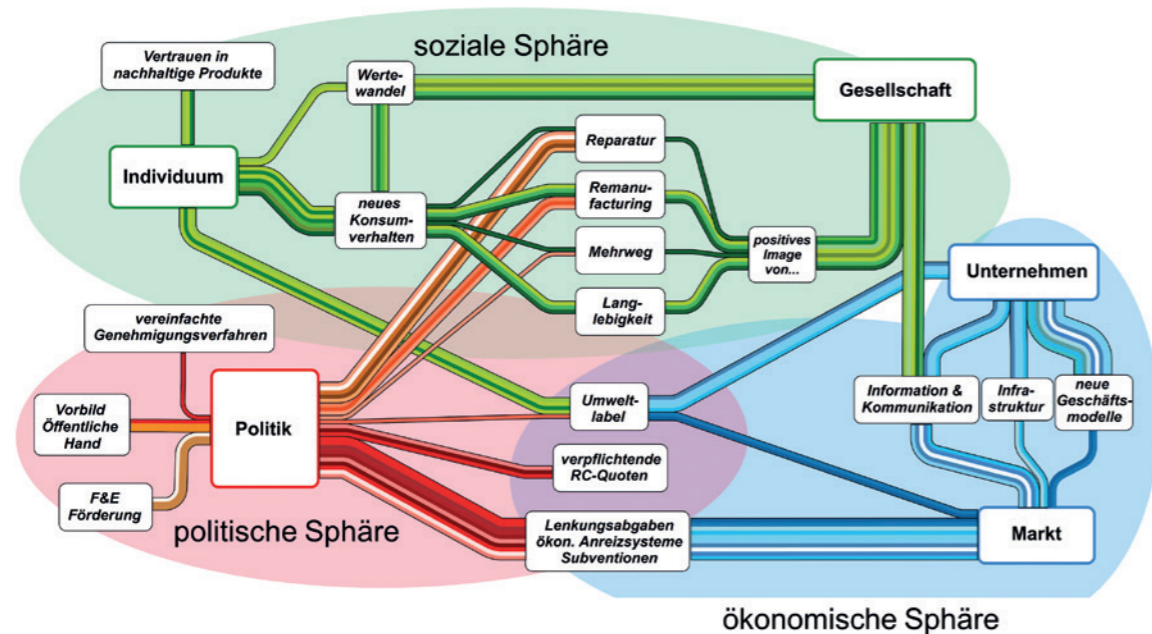


Abbildung 52: Maßnahmen zur Akzeptanzförderung, hier am Beispiel der Antworten auf die Frage: „Welche Voraussetzungen und Rahmenbedingungen wären erforderlich, damit die ideale Integration der Projektziele in den Anwendungsbereich ermöglicht wird?“ (Mehrebenenperspektive, die Pfeilstärke entspricht der Gewichtung der Nennungen).

(Quelle: Kreft, O., Xella Technologie- und Forschungsgesellschaft mbH, 2022)

Fazit

Die Analyse zeigte, dass die Transformation in eine nachhaltige Gesellschaft konkurrenzfähige – oder besser – dem linearen Wirtschaften überlegene Geschäftsmodelle erfordert. Dafür werden ökonomische und rechtliche Lenkungsinstrumente benötigt, wie etwa verbindliche Substitutionsquoten, die Einführung und konsequente Umsetzung von „circular public procurement“ zur Bindung der Vergabe öffentlicher Aufträge an den Einsatz von Recycling- bzw. Sekundärrohstoffen sowie Rechtssicherheit hinsichtlich Produkthaftung und abfallrechtlicher Fragestellungen. Erst dies ermöglicht Planungssicherheit bei Aufbereitern und Downstream-Nutzerinnen und -Nutzern für Investitionen in Anlagen und Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft. Eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg zirkulärer Wertschöpfung ist eine marktrelevante Nachfrage. Vorbehalte und Unsicherheiten der Zielgruppen bei Auswahl und Ein-

satz von Recyclingprodukten müssen ausgeräumt werden. Damit wird ein grundlegender Wertewandel hin zu einem neuen Konsumverhalten unterstützt, das durch den Wunsch nach langlebigen, reparaturfreundlichen und (wieder-)verwertbaren Produkten geprägt ist. Elementares Instrument zur Stärkung von Vertrauen, Akzeptanz und Sensibilisierung gegenüber dem zirkulären Produkt ist eine aktive und transparente Kommunikation entlang der gesamten Wertschöpfungskette: Gezielte Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit mit Aufklärung über Ressourcenverschwendung und bewussten Konsum sowie verlässliche Umweltkennzeichen bieten Orientierung beim Produktvergleich. Die zielgerichtete Förderung von Forschung und Entwicklung kann hier Unterstützung leisten. Abbildung 52 zeigt die Verteilung und Gewichtung des ermittelten Maßnahmenkatalogs zur Akzeptanzförderung anhand eines Beispiels aus der Auswertung der Umfrage unter den „ReziProK“-Projekten.

Akzeptanzforschung – Case-Study „UPZENT“

Ziel des Forschungsprojektes „UPZENT“ ist die Etablierung eines partizipativen Geschäftsmodells zur Sensibilisierung verschiedener Zielgruppen und Implementierung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft, welche bundesweit soziale Werkstätten einbindet. Es vereint Kreislaufwirtschaft und soziales Engagement über professionelle Produktentwicklung und zielt auf den Aufbau eines geschlossenen Stoffkreislaufs durch eine kaskadische Nutzung gewerblicher Reststoffe. Die Kombination aus hochwertigem Design und der Nutzung regional verfügbarer Reststoffe lässt etwas Neues entstehen: sozialintegrative und ressourcenschonende Designprodukte.

zu Neuprodukten anerkennen. Dabei muss Upcycling von seinem reinen Bastelcharakter befreit werden, was u. a. durch hochwertiges Produktdesign erreicht werden soll. Die vergleichsweise hohen Preise sind bedingt durch eine regionale und betreute Fertigung in sozialen Werkstätten; sie müssen von den Konsumierenden verstanden und als normal empfunden werden. »

„UPZENT“ hat in seinem Projektumfeld diverse Zielgruppen identifiziert, die spezifisch angesprochen werden. Zu den Zielgruppen zählen bspw. kooperierende Unternehmen, von denen das Projekt Rohstoffe (bzw. Reststoffe) bezieht. Oft werden diese Unternehmen auch zu Kundinnen und Kunden im Rahmen des „Upcycling-Service“ (eine Dienstleistung, welche auf die Entwicklung von Produkten aus unternehmenseigenen Reststoffen abzielt). Ferner stehen Endkonsumierende im Fokus, welche sowohl über den Webshop, die sozialen Medien als auch den Einzelhandel (bspw. Unverpacktläden) mit „UPZENT“ in Kontakt kommen. Über Hochschul-Workshops werden außerdem Studierende im Produktdesign angesprochen.

Um dieses Akzeptanz-Level innerhalb der definierten Zielgruppen zu erreichen, hat „UPZENT“ Maßnahmen entwickelt. Ein Beispiel: Damit ressourcenschonendes Produktdesign als Standard akzeptiert wird, wurden Workshops mit Hochschulen durchgeführt, um angehende Produktdesignende in Sachen Kreislaufwirtschaft sowie Recyclingfähigkeit von Materialien auszubilden. Es werden bestehende Ineffizienzen aufgezeigt, sodass am eigentlichen Kernproblem – dem künftigen Produktdesign im Sinne einer Kreislaufwirtschaft – gearbeitet werden kann. Produktentwickelnde müssen sich mit dem Thema „Produktverantwortung“ auseinandersetzen, denn dort fängt Kreislaufwirtschaft an. Eine kaskadische Nutzung unserer Ressourcen darf künftig kein Zufall bleiben, sondern muss planvoll gestaltet erfolgen.

Innerhalb dieses Rahmens gilt es, den derzeitigen Stand der Akzeptanz für Recycling und rezyklierte Produkte zu eruieren und ggf. Strategien zu entwickeln, diese bei den unterschiedlichen Zielgruppen zu steigern. Die Zusammenarbeit innerhalb der Querschnittsfrage „Akzeptanzforschung“, die darin integrierten Diskussionen und der Fragebogen trieben den Prozess maßgebend voran. So hat „UPZENT“ die spezifische Bedeutung von Akzeptanz für sich wie folgt definiert:

Auch wenn das Bewusstsein der Konsumierenden steigt – Nachhaltigkeit allein ist für die Kaufentscheidung kein ausschlaggebender Faktor. Im Fokus stehen nach wie vor Produktnutzen, Preis-Leistungs-Verhältnis und Ästhetik. Diese grundlegenden Kriterien müssen erfüllt sein, damit ein Kauf in Erwägung gezogen wird. Ist dies gegeben, werden höhere Marktpreise akzeptiert, da durch den ökologischen und sozialen Zusatznutzen das Verhältnis zum Preis angemessen bleibt. So ist für eine Akzeptanzsteigerung bei Konsumierenden eine Kombination aus informativer Kommunikation, sympathischem Storytelling sowie transparenten Strukturen der Schlüssel zum Erfolg.

« Akzeptanz bedeutet, dass die Endkonsumierenden rezyclerte/upgecycelte Produkte als vollwertige Alternative

Bewertungswerkzeuge/LCA

Ökobilanzen im Kontext der Circular Economy

Proske, M. (Fraunhofer-Institut für Zuverlässigkeit und Mikrointegration) und Friege, H. (N³ Nachhaltigkeitsberatung Dr. Friege & Partner)

Ausgangslage/Hintergrund

Die Querschnittsgruppe Bewertungswerkzeuge/LCA diente dem fachlichen Austausch rund um das Thema der Umweltbewertungen in den einzelnen „ReziProK“-Projekten. Die Vielfalt der Projekte zeigte sich nicht nur in den betrachteten Produkten, sondern auch in den unterschiedlichen Strategien im Rahmen der Circular Economy. Diese sog. „R“-Strategien sind in Abbildung 53 graphisch dargestellt. In Tabelle 2 sind die jeweils von den „ReziProK“ Projektteams genutzten „R“-Strategien aufgeführt.

Für die Ökobilanz ergeben sich daraus komplexe Fragestellungen, die über die reine Produktbewertung hinausgehen, z.B.: Braucht es eigene Zirkularitäts-Kennzahlen? Wie wird eine Vielzahl von teils unterschiedlichen Nutzungszyklen abgebildet? Wie fließen Qualitätsaspekte des Produktes in die Bewertung ein, und wie lassen sich veränderte Geschäftsmodelle in einer Ökobilanz abbilden? Wie bewertet man technische Potenziale, wenn die Akzeptanz auf Seiten der Konsumentinnen und Konsumenten noch unklar ist? All dies birgt neue Herausforderungen in der Definition von Systemgrenzen, funktionaler Einheiten und Szenarien. Das Vorgehen in der Bewertung ist dabei so individuell wie die durch die Projektteams gefundenen Lösungen und muss stets auf die konkrete Zielstellung angepasst werden. Die Querschnittsgruppe wurde daher nicht zur Festlegung eines einheitlichen Vorgehens genutzt, sondern zur Diskussion und zum fachlichen Austausch zwischen den Projektteams.

Ergebnisse/Hemmnisse

Die Nachhaltigkeitsbewertungen der Projekte reichten von vereinfachten Umweltbewertungen auf Basis einzelner Kennzahlen über vollständige Ökobilanzen bis hin zur Einbeziehung sozialer Aspekte in die Ökobilanz. Die in den „ReziProK“-Projektteams entwickelten Lösungen konnten damit im Kontext der Circular Economy bewertet und eingeordnet werden. So zeigten die Ergebnisse überwiegend, dass die erarbeiteten Lösungen großes Nachhaltigkeits-Potenzial haben. Es kommt aber stets auf die konkrete Umsetzung an, ob diese Potenziale tatsächlich zum Tragen kommen. So lassen sich die Erkenntnisse gruppiert nach den einzelnen Clustern teilweise zusammenfassen:

Cluster 1: Förderung des Einsatzes von Rezyklaten

Aktuell fehlt es an kreislauffähigen Produktdesigns und Infrastrukturen. Basierend auf Daten wurden die aktuellen Rezyklate analysiert und verbesserte Rezepturen für z.B. Kleiderfasern („DiTex“) und Schmelzbetriebe („OptiRoDig“) in Hinblick auf verschiedene Aspekte (Energie, Qualität, ...) entwickelt. Durch die beabsichtigten Verlängerung der Lebensdauer bis hin zur Schließung von Produkt- und Materialkreisläufen lassen sich relevante Mengen CO₂ einsparen. Dies gilt z.B. für die bisher deponierten Porenbeton-Abfälle („REPOST“), für die Recyclingverfahren entwickelt wurden. Allerdings gibt es in vielen Fällen noch keinen ausreichenden Markt für die Produkte aus Sekundärwerkstoffen. Schwierigkeiten hierbei sind unter anderem höhere anfallende Kosten für Sortierung (z.B. von legierten Schrotten), fehlende Mengen an Rezyklat und rechtliche Unsicherheiten. Zusätzlich zum positiven Aspekt der Ressourcenreduktion müssen Produkte aus Sekundärwerkstoffen auch in anderen Aspekten mit konventionellen Produkten mithalten können (z.B. Tragekomfort, Preis und Langlebigkeit bei Textilien, Qualität und Kosten bei Legierungen).

Cluster 2: Verlängerung der Produktnutzung und Nutzungsintensivierung

Viele Produkte/Bauteile werden aktuell nicht bis zu ihrem technischen Lebensende genutzt. Gleichzeitig ist der Ressourcenaufwand in der Produktion hoch. Eine Nutzungsverlängerung kann daher zu einer deutlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen und anderer Ressourcen führen, oftmals schon nach kurzer Mehrnutzung (z.B. „MoDeSt“). Teilweise sind hierfür jedoch hohe Umlaufzahlen notwendig (z.B. „praxPack“). Um eine Verlängerung der Nutzungsdauer und somit eine Ressourcenreduktion zu erzielen, müssen die passenden Rahmenbedingungen geschaffen werden, durch welche die Produkte und Ansätze für Kundinnen und Kunden attraktiv sind (z.B.: Preis-Leistungs-Verhältnis bei „Wear2Share“, genug Flexibilität bei „RessProKA“, zusätzliche Funktionen bei „MoDeSt“). Transporte oder ähnliche zusätzliche Aufwände können zu einer Überkompensation von Treibhausgas-Einsparungen und/oder zu höheren Kosten führen (z.B. „Wear2Share“ und „CoT“). Zusatzkosten wie z.B. für das Abholen von Mehrweg-Verpackungen („praxPack“) können sich ebenfalls negativ auf die Akzeptanz der Kundinnen und Kunden sowie die Durchsetzung am Markt auswirken.

Cluster 3: Remanufacturing

Remanufacturing, d.h. die Aufarbeitung gebrauchter Produkte, kann schon bei einer Anwendung in geringem Umfang zu Ressourceneinsparungen führen. Prozesse zur Identifizierung von Altteilen und Verfahren, durch welche mehr Produkte und Teile der Wiedernutzung in neuen Produkten zugeführt werden, sind daher vorteilhaft und sollten Teil des Geschäftsmodells von Unternehmen werden. Dies zeigt etwa der Einsatz künstlicher Intelligenz bei der Identifizierung und Zustandsbewertung von gebrauchten Fahrzeugteilen („EIBA“), bei dem der Energieaufwand für die Datenerhebung und Speicherung durch Materialeinsparungen innerhalb kürzester Zeit kompensiert wird. Mangelnde Akzeptanz der Nutzerinnen und Nutzer und hohe Innovationsgeschwindigkeit der aufbereiteten oder nachgerüsteten Produkte wirken sich allerdings limitierend aus. Für industriell genutzte Investitionsgüter (z.B. Abluftreinigungsanlage, „reLIFE“) gelten je nach Land oft unterschiedliche gesetzliche Vorgaben, die die Umsetzung eines globalen Ansatzes für die Wiederaufarbeitung („Remanufacturing“) erschweren.

Fazit & Ausblick

Die von der Querschnittsgruppe Bewertungswerkzeuge/LCA erzielten Ergebnisse zeigten zwei Aspekte auf unterschiedlichen Ebenen: Die Umweltbewertung muss die spezifischen

Gegebenheiten der zirkulären Lösungen abbilden können, was sowohl ein tiefergehendes Methodenverständnis als auch eine gute Kenntnis des zu analysierenden Produkt-Service-Systems erfordert. Akzeptanz auf dem Markt und rechtliche Rahmenbedingungen sind kritische Faktoren, damit Potenziale zum Tragen kommen können. Der regulatorische Rahmen sollte konkret ressourceneffiziente Lösungen unterstützen.

Bewertungswerkzeuge/LCA – Case-Study „Wear2Share“

Wie gut eine Lösung abschneidet, hängt stets von den konkreten Rahmenbedingungen ab

„Das Einsparpotenzial für den modellierten Fall der Damenoberbekleidung (ein Baumwoll-T-Shirt) mit Nutzungsdaten aus der Praxis liegt bei ca. 30 % für Treibhausgasemissionen und bei fast 40 % für den Wasserverbrauch. Einsparungen sind dabei schon ab dem zweiten Mietzyklus möglich. Die Sensitivitätsanalysen zeigen aber auch, dass Einsparungen durch nachteiliges Verhalten verloren gehen können, wie z. B. lange PKW-Strecken beim Versenden, viele Wäschen und Nutzung von Trocknern.“ („Wear2Share“)

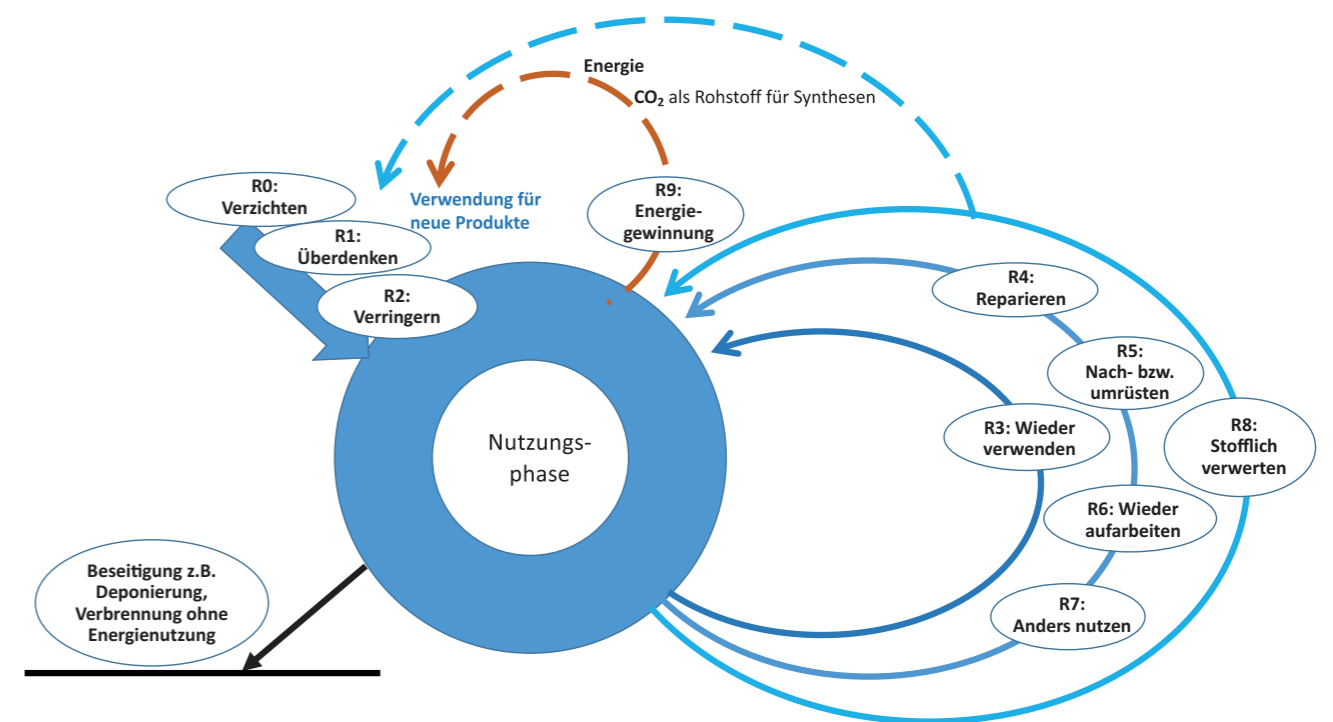


Abbildung 53: Nach einer Graphik aus „Circular economy: What we want to know and can measure“ (Eds.: José Potting, Aldert Hanemaaijer, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Den Haag 2018); modifiziert von Henning Friege und Katja Wendler

Tabelle 2: Sortierung der Projektthemen nach grundlegenden Strategien der Zirkularität (Strategien Ro bis R9, siehe Abbildung 53)

	Verlängerung der Nutzungsdauer	Wiederverwendung von Produkten/ Modulen	Verwertung von Produkten nach Gebrauch	Verwendung von Sekundärmaterialien	Sonstiges
AddRE-Mo R1,R2,R3,R5	Refabrikation von Motoren v. Elektro-fahrrädern	Wiederverwendung von Elektrofahrrad-Komponenten			Geschäftsmodell für optimale Nutzung; additive Fertigung von Ersatzteilen für d. Refabrikation
All-Polymer R2,R8			Hochwertige Verwertung nach Nutzung angestrebt	Produkte aus Sek.-Rohstoffen mit Zusatz von Fasern	
Circular by Design Ro,R2,R8			Ermittlung v. Verwertungs-potenzialen		Design-Optimierung für längere Lebensdauer u. stoffliche Verwertung
Circle of Tools (CoT) R2,R7,R8			Produktion v. Werkzeugen aus nicht mehr brauchbaren Werkzeugen		Organisation der Rückholung von Werkzeugen
ConCirMy „Enabler“					Produkt-Konfigurator f. Reifen (u.a. Erhöhung d. Rezyklat-Anteils, längere Lebenszeit)
DIBICHAIN „Enabler“					Digitale Abbildung komplexer Produktkreisläufe mit Blockchain
Di-Link R2,R8				Erhöhung d. Rezyklats in hochwertigen Kunststoff-Produkten	Sensoren zur Messung. Qualität von Rezyklaten u. dig. Informations-Transfer in der Kette
DiTex R1,R2,R3,R4,R8	Häufigere Nutzung v. gewerblich eingesetzten Textilien, incl. Reparatur-Dienstleistung		Nutzung gebrauchter Textilfasern (Faser-zu-Faser-Recycling)	Einsatz von Rezyklat zur Herstellung d. Textilien	Prüfung v. B2B-Geschäftsmodellen, Einsatz von Tracking-ID zur Erfassung der Nutzungszyklen
EIBA R3,R6		Remanufacturing von Autoalteilen			Remanufacturing mithilfe von KI-unterstützter Identifikation und Bewertung von gebrauchten Teilen
EffizientNutzen R4	Längere Nutzungsdauer v. Elektrogeräten durch Reparatur				Test eines Geschäftsmodells f. herstellenden-unabhängige Reparaturen
KOSEL R1,R4	Verlängerung d. Nutzungsdauer v. Kfz. durch hochwertige Werkstoffe	„open source“-Baukasten für E-Fahrzeug-Module	(vereinfachte Nutzung von Ersatzteilen wg. Modularität)		Sensorbasierte Zustands-Erfassung von Kfz.-Bauteilen im Betrieb
LEVmodular R1,R4	Verlängerung d. Nutzungsdauer von leichten elektr. Transport-Fahrzeugen	Verbesserung d. Reparaturfähigkeit (z.B. Niederspannung in Akku und Motor)	Offene Schnittstellen an Akku/Motor für Umnutzung		Neue Geschäftsmodelle f. Kfz.-Zulieferindustrie; sensorbasierte Zustandserfassung Faserverbundbauteile
LifeCycling² R1,R3,R4,R8	Höhere Nutzungsdauer u. -intensität von elektr. Lastenrädern	Organisator. Maßnahmen f. gezielte Kreislaufführung von Elektronik-Komponenten	Verwertung gebrauchter Module bzw. Materialien		Designkonzepte für Hard- und Software; Vergleich von Geschäftsmodellen
LongLife R1,R4	Verlängerung der Nutzung techn. Komponenten aus Industriebauten				Sensorgestützte Erfassung d. Zustands v. Komponenten; KI zur Ermittlung d. Restnutzungsdauer; Entwicklung Geschäftsmodell

	Verlängerung der Nutzungsdauer	Wiederverwendung von Produkten/ Modulen	Verwertung von Produkten nach Gebrauch	Verwendung von Sekundärmaterialien	Sonstiges
MoDesT R1,R4,R5	Verlängerung der Lebensdauer von Smartphones bzw. iPads durch austauschbare Module („upgrade“)				Verbesserung d. Ökodesigns und Optimierung von Geschäftsmodellen für modulare Smartphones
OptiRoDig R2,R8				Erhöhung d. Schrottteils in der Gießerei- und Stahlindustrie	KI-unterstützte Charakterisierung und Auswahl der Schrotte
PERMA R1,R3,R7	Längere Nutzung v. Möbeln und Büro-Objektbauten	Neue (geringwertigere) Nutzungen nach Gebrauch			Offene Plattform für Nutzerinnen und Nutzer. Test von Geschäftsmodellen
praxPACK R1,R3,R8	Ersatz von EW- durch MW-Verpackungen im online-Handel			Prüfung der Einsatzmöglichkeiten für Verpackungen mit hohem Rezyklatanteil u. Bewertung der ökologischen Effekte	Prüfung der Akzeptanz bei Kundinnen und Kunden; Pilotierung bei online-Händlern zur Prüfung der ökonom. Tragfähigkeit
ReLIFE R4,R6	Lebenszyklusverlängerung von Investitionsgütern durch gezielte Anwendung von „Adaptivem Remanufacturing“- und Instandhaltungs-Maßnahmen	Rückführung von wiederaufbereiteten Komponenten eines Investitionsgutes			Produktorientiertes Geschäftsmodell (Investitionsgut und zugehörige Applikation); applikationsgestützte Handlungsempfehlung auf Basis von Sensordaten und Entscheidungs-Logiken
RePare R1,R4,R5	Laufzeit-Verlängerung von Maschinen/Fahrzeugen durch additive Reparatur einzelner Teile				Dynamische Konfiguration von Wertschöpfungsnetzwerken; Automatisierung von Bauteilvorbereitung u. Materialauftrag
RePOST R8			Aussortierung von Porenbeton-Abfällen...	... und Aufbereitung zur Produktion neuer Porenbeton-Steine	Bestehendes Geschäftsmodell; Akzeptanzförderung im Markt für hohe Sekundärmaterial-Gehalte
ResmaP R1,R4,R5,R6	Lebensdauer-Verlängerung durch Ferndiagnose und Reparatur		Verbesserung der Verwertbarkeit von Pumpenteilen		Erweiterung eines bestehenden Geschäftsmodells
RessProKa R1,R3,R6		Wiederverwendung von Bauteilen in Bürogebäuden (Umbauten)	Rückführung u. wo möglich Refabrikation von Bauteilen		Herstellende bleiben Eigentümer der Bauteile; Geschäftsmodell wurde in Planspiel getestet.
UpZent R2,R8				Nutzung von Gewerbeabfällen zur Produktion einfacher Konsumgüter	Vernetzung analog arbeitender Sozialbetriebe
Wear2Share R1	Längere Nutzung durch höhere Nutzungsintensität (Vermietung)	Wiederverwendung v. Textilien durch Mietkleidung			Ökonomische und ökologische Optimierung von Geschäftsmodellen

Ausgewählte Publikationen aus der Querschnittsfrage

- Müller R et al. (2021): *Zirkuläre Bettwäsche und Berufskleidung – Anforderungen und Nachhaltigkeitseffekte, Integrativer Forschungsbericht 2021* <https://www.ditex-kreislaufwirtschaft.de/publikationen/>, aufgesucht am 15.9.2022
- Zimmermann T (2022): *Herausforderungen und Potenziale beim Einsatz von Mehrwegverpackungen im Onlinehandel*. Müll und Abfall 54 (7), 358-364.
- Caspers J, Lickert H, Briese C, Schlüter M (2021): *KI für effizientere Kreislaufführung*, Industrial Production 2/2021, 46-48.

Geschäftsmodelle

Chancen und Herausforderungen kreislauffähiger Geschäftsmodelle

Brinker, J. (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH)

Ausgangslage/Hintergrund

Die Knappheit von Ressourcen, die damit verbundenen Preisanstiege sowie neue Vorgaben zur Einhaltung von Nachhaltigkeitszielen erfordern einen Wandel von linearen Wertschöpfungsstrukturen zu geschlossenen Wirtschaftskreisläufen. Für Unternehmen ergibt sich dadurch einerseits die Notwendigkeit sich mit neuen Geschäftsmodellen zu beschäftigen, andererseits aber auch das Potenzial, sich langfristig am Markt differenzieren zu können. In der Praxis ist die Konzeption und Umsetzung kreislauffähiger Geschäftsmodelle mit Herausforderungen verbunden: Durch gänzlich neue oder zusätzliche Aktivitäten steigt die Komplexität innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke an. Diese können oftmals nicht wirtschaftlich durch einzelne Unternehmen abgedeckt werden. Sofern zusätzliches Know-How erforderlich wird, muss dieses zunächst aufgebaut oder neue Akteurinnen und Akteure müssen in den Geschäftsmodellen berücksichtigt werden, was die Umsetzung vor allem bei divergierenden Interessen erschwert. Auch die Verbrauchenden, die je nach Branche mehr oder weniger nachhaltig oder preisbewusst agieren, sind zu berücksichtigen, indem für sie entsprechende Mehrwerte geschaffen werden. Bisher bestehen nur wenige allgemeingültige Standards und Frameworks, die diese Herausforderungen adressieren und Unternehmen bei der Realisierung kreislauffähiger Geschäftsmodelle unterstützen. Im Rahmen der Querschnittsfrage wurde das Thema kreislauffähige und ressourceneffiziente Geschäftsmodelle projektübergreifend begleitet und diskutiert, um interdisziplinäre Lösungen zu identifizieren und voranzutreiben.

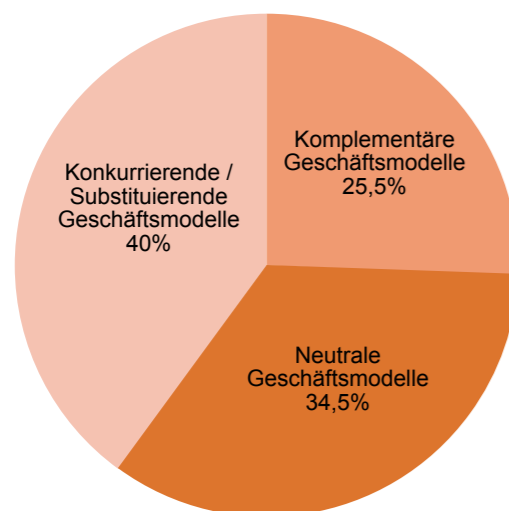


Abbildung 54: Einordnung der Projekte nach Geissdoerfer et al. (2018)

Ergebnisse/Hemmnisse

Neben regelmäßigen Präsentationen und Diskussionen relevanter Fragestellungen wurden im Zuge der Querschnittsfrage strukturiert Anwendungsfälle sowie Herausforderungen und Erkenntnisse aus der Geschäftsmodellentwicklung in den Projekten erfasst.

Der überwiegende Teil der Projektteams beschäftigte sich mit der längeren Nutzung von Produkten (vgl. Abb. 54), bspw. durch die Überwachung des Produktzustandes, der Modularisierung oder des Remanufacturings von Bauteilen und Produkten. Sowohl aus Sicht der Ressourceneffizienz als auch vor dem Hintergrund der Geschäftsmodelle ist dieser Fokus nachvollziehbar, da der Restwert eines Produktes stets höher ist als der von einzelnen Komponenten oder recycelten Wertstoffen und dabei auf bestehende Geschäftsmodellstrukturen aufgesetzt werden kann. Betrachtet man die Beziehung der Geschäftsmodelle zu bestehenden, sind vor allem komplementäre sowie konkurrierende Angebote interessant: Komplementäre Angebote erweitern das Wertangebot eines Unternehmens, bspw. in Form von Rücknahme-Vereinbarungen für Rohstoffrückgewinnung, und machen somit das bestehende Angebot attraktiver. Demgegenüber bilden konkurrierende Angebote eine Alternative für Kundinnen und Kunden, bspw. wenn ein wiederaufbereitetes Bauteil statt eines Neuteils verkauft wird. Während damit einerseits durch die bestehende Lösung ein geringeres Wertschöpfungspotenzial einhergeht, sind diese Geschäftsmodelle auch von geringerem Risiko geprägt und können sich in Abhängigkeit von Akzeptanz und

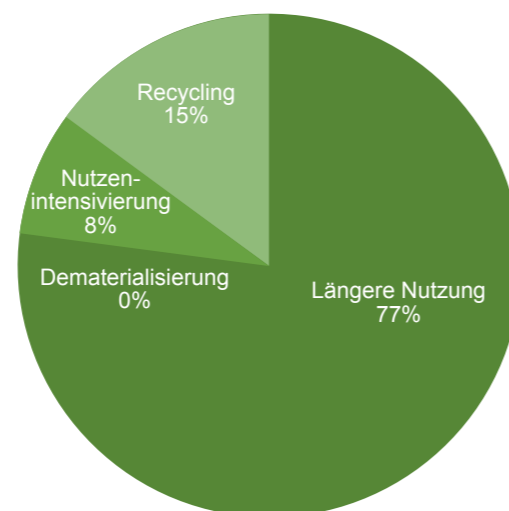


Abbildung 55: Beziehung zu bestehenden Geschäftsmodellen

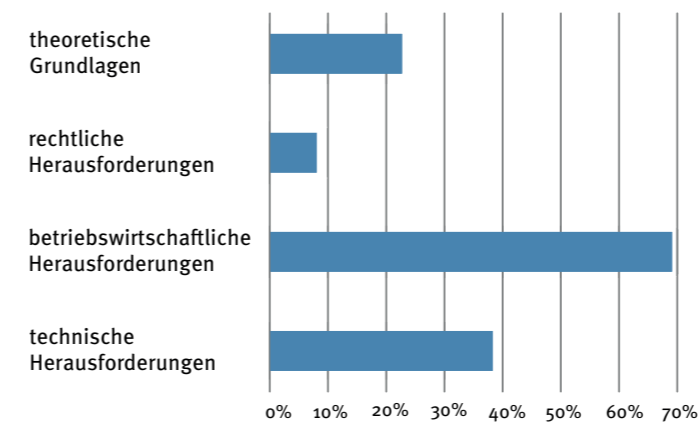


Abbildung 56: Herausforderungen bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen

Realisierbarkeit langfristig als nachhaltige Alternative etablieren.

Die von den Projektteams identifizierten Herausforderungen liegen vor allem in betriebswirtschaftlichen und technischen Bereichen. Besonders die wirtschaftliche Tragfähigkeit ist durch den erhöhten Aufwand und die Abhängigkeit von Mitwirkenden im Wertschöpfungsnetzwerk eine Herausforderung. Technische Aspekte stellen besonders durch die Veränderung von Prozess- und Fertigungsabläufen, beim Einsatz von neuen Lösungen aber auch aufgrund des notwendigen Know-Hows, eine Herausforderung dar. Die Implikationen dieser Aspekte konnten während der Projektlaufzeiten identifiziert und mittels generalisierbarer Lösungen adressiert werden. Dies zeigt sich auch in den eingesetzten IT-Werkzeuge zur Realisierung der Geschäftsmodelle. Besonders die neuen Partnerstrukturen und die damit verbundene Koordination wurde in der Förderlinie durch den Einsatz von (digitalen) Plattformen berücksichtigt. Sensorik und KI-Verfahren werden analog zum Ziel einer längeren Produktnutzung eingesetzt, indem bspw. ein engeres Monitoring der Produkte über den Lebenszyklus sowie die Vorhersage von Zustandsveränderungen ermöglicht werden.

Ausgewählte Publikationen aus der Querschnittsfrage

- Brinker, J., Gembarski, P.C., Hagen, S., Thomas, O. (2020). *Anwendungspotenziale von Additive Repair und Refurbishment für Service-orientierte Geschäftsmodelle*. In: Lachmayer, R., Rettschlag, K., Kaieler, S. (eds) *Konstruktion für die Additive Fertigung 2019*. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61149-4_4
- Niemeyer, Jan Felix; Rudolf, Sina; Kvaratskhelia, Lika; Mennenga, Mark; Herrmann, Christoph (2022): *A creativity-driven Case-Based Reasoning Approach for the systematic Engineering of Sustainable Business Models*. In: *Procedia CIRP* 105, S. 470–475. DOI: 10.1016/j.procir.2022.02.078.
- Rudolf, Sina; Blömeke, Steffen; Niemeyer, Jan Felix; Lawrenz, Sebastian; Sharma, Priyanka; Hemminghaus, Sven et al. (2022): *Extending the Life Cycle of EEE—Findings from a Repair Study in Germany: Repair Challenges and Recommendations for Action*. In: *Sustainability* 14 (5), S. 2993. DOI: 10.3390/su14052993.
- Koop C, Grosse Erdmann J, Koller J and Döpfer F (2021) *Circular Business Models for Remanufacturing in the Electric Bicycle Industry*. *Front. Sustain.* 2:785036. doi: 10.3389/frsus.2021.785036
- M. Bodenheimer, J. Schuler, T. Wilkening (2022): *Drivers and barriers to fashion rental for everyday garments: an empirical analysis of a former fashion-rental company*, *Sustainability Science Practice and Policy* 18 (1), 344-356.
- Rudolf S, Blömeke, S, Niemeyer J F, Lawrenz S, Sharma P, Hemminghaus S, Mennenga M, Schmidt K, Rausch A, Spengler T S et al. (2022): *Extending the Life Cycle of EEE—Findings from a Repair Study in Germany: Repair Challenges and Recommendations for Action*. *Sustainability* 2022, 14, 2993.

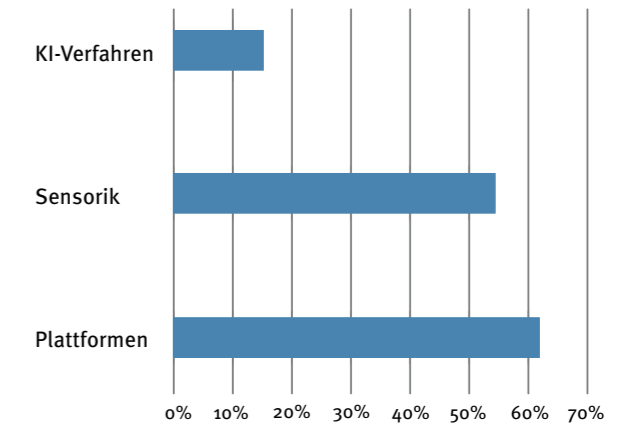


Abbildung 57: Einsatz von IT-Werkzeugen

Fazit & Ausblick

Die beteiligten Projektteams decken ein breites Spektrum an Branchen ab und variieren in den fokussierten Phasen der Geschäftsmodellentwicklung. Während des interdisziplinären Austausches in der Querschnittsfrage hatte sich gezeigt, dass trotz theoretischer Vorarbeiten in der Literatur und erster Umsetzungen in der Praxis die Realisierung einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft von individuellen Fragestellungen und Herausforderungen wie bspw. der Akzeptanz der Konsumierenden oder der wirtschaftlichen Tragfähigkeit alternativer Geschäftsmodelle begleitet wird. Gleichzeitig wurden im Rahmen der Projekte neben individuellen Lösungsstrategien auch neue Werkzeuge konzipiert und erprobt (vgl. nachfolgende Publikationen). Erfolgreiche Umsetzungen wie bspw. in den Projekten „DiTex“, „Effizient-Nutzen“, „UPZENT“ oder „LongLife“ zeigten auf, wie solche kreislauffähigen Geschäftsmodelle in ganz unterschiedlichen Branchen gestaltet sein können und wie ökonomische und ökologische Potenziale nutzenstiftend gehoben werden können. Die Erkenntnisse aus diesen Projekten gilt es im engen Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis weiter zu generalisieren und in geeignete Werkzeuge zu überführen.

Rechtliche Rahmenbedingungen

Rechtliche Hindernisse für eine ressourcenschonende Wirtschaft

Friege, H. (N³ Nachhaltigkeitsberatung Dr. Friege & Partner)

Im Rahmen der Querschnittsfrage „Rechtliche Rahmenbedingungen“ erfolgte ein Austausch zu verschiedenen rechtlichen Fragestellungen rund um die Umsetzung einer „Circular Economy (CE)“ auch unter Einbindung externer Fachleute. Folgende Herausforderungen für die Gestaltung des Rechtsrahmens wurden identifiziert:

Kein einheitliches Verständnis der „Circular Economy“: Weder im europäischen noch deutschen Abfallrecht ist der Begriff bisher eingeführt. „Circular Economy“ umfasst mehr als Kreislaufwirtschaft im Sinne des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG). Obwohl die EU bereits seit vielen Jahren den Begriff „Circular Economy“ verwendet, findet sich erst seit 2020 eine Legaldefinition, und zwar in der Taxonomie-Verordnung (EU) 2020/852 (Art. 2 Nr. 9). Diese bezieht sich auch auf das Abfallrecht: „Ein Wirtschaftssystem, bei dem der Wert von Produkten, Materialien und anderen Ressourcen in der Wirtschaft so lange wie möglich erhalten bleibt und ihre effiziente Nutzung in Produktion und Verbrauch verbessert wird, wodurch die Auswirkungen ihrer Nutzung auf die Umwelt reduziert und das Abfallaufkommen sowie die Freisetzung gefährlicher Stoffe in allen Phasen ihres Lebenszyklus minimiert werden, auch durch Anwendung der Abfallhierarchie“. Diese Definition zielt auf eine effizientere und sparsame Bewirtschaftung von Ressourcen. Da es keinen allgemeinen Rechtsbereich „Ressourcenschutz“ gibt, sollten entsprechende Angleichungen im europäischen und nationalen Umwelt- und Produktrecht erfolgen.

Schwierigkeiten mit der Anerkennung des Abfallendes (Ende der Abfalleigenschaft) bzw. End-of-Waste (EoW)-Status: Allgemeine Voraussetzungen für das Abfallende sind in der Abfallrahmenrichtlinie (WFD, Art. 6) und im KrWG (§ 5) festgelegt. Diese Kriterien umfassen die Nutzbarkeit, die Vermarktbarkeit, die Erfüllung technischer Standards und die Umweltverträglichkeit des Materials oder Produkts. Außerdem muss der Abfall zunächst einen Trenn- bzw. Aufbereitungsprozess o.ä. durchlaufen haben. Der rechtliche Weg vom Abfall zurück zum Produkt ist kompliziert. Eine vereinfachte Behandlung der EoW-Frage ist nur für drei Abfälle möglich, nämlich Stahlschrotte, Kupferschrotte und Altglas, für die materialspezifische Verordnungen auf EU-Ebene existieren.

Folgende konkrete Probleme werden gesehen:

- Ein Austausch von Produktionsabfällen (z.B. Kunststoff – siehe „DiLink“) zwischen verschiedenen Herstellenden zum Zweck der stofflichen Verwertung ist derzeit nicht möglich, weil zunächst eine Behandlung durch einen Dritten (Recyclinganlage) nötig ist (§ 3 in Verbindung mit § 5 KrWG).

- Rezyklate erfüllen nicht unbedingt „alle technischen Anforderungen [...] und anwendbaren Normen“ auf der Produktseite an die Qualität (§ 5 Abs. 1 Nr. 3 KrWG), können aber etwa für einfache Produkte eingesetzt werden, wie beim Projekt „UPZENT“.

Re-Import defekter Geräte zwecks Reparatur: Ein grenzüberschreitender Handel mit defekten elektrisch betriebenen Geräten stößt auf Grund der Basel Convention in Verbindung mit der Abfall-Definition (Entledigungswille des Besitzenden) auf Schwierigkeiten. Im konkreten Fall schickt der Nutzende aus dem außereuropäischen Ausland eine defekte Pumpe nach Deutschland, wo sie repariert und für einen erneuten Verkauf überholt wird (siehe Projekt „ResmaP“). Wenn die Pumpe im grenzüberschreitenden Verkehr als Abfall mit entsprechenden Transportrestriktionen, Kennzeichnungspflichten usw. angesehen wird, ist das Geschäftsmodell gefährdet.

Schnittstelle Chemikalien- und Abfallrecht: Die EU-Kommission hat erkannt, dass eine stärkere stoffliche Verwertung wie auch die Wiederverwendung nach Reparatur gute Kenntnisse der Zusammensetzung von Alt-Produkten voraussetzen. Auf Basis von Art. 9 Abs. 1 Buchst. i Abfallrahmenrichtlinie (WFD) wurde daher eine Datenbank – SCIP (Substances of concern in articles as such or in complex objects (products) – geschaffen, in die Herstellende in ihren Produkten verwendete Substances of Very High Concern (SVHC) über 0,1 % eintragen. Allerdings werden Altprodukte in Abfällen häufig nicht identifiziert, da dazu die Fachkenntnisse sowie die dafür benötigte Ausstattung vor Ort fehlen. Neben gefährlichen Stoffen gibt es auch zahlreiche Stoffkombinationen (z.B. Verbundwerkstoffe) bzw. Verbindungsarten (z.B. Klebe- statt Steckverbindungen), die Recycling-Prozesse behindern. Das erhebliche Informationsdefizit bei den Recyclinganlagen wird also durch SCIP kaum verringert. Ein weiteres Problem an dieser Schnittstelle ist der Ausschluss von Rezyklaten vom Einsatz in einem neuen Produkt (z.B. Kunststoffe im Innenraum von Kühl-/Gefriergeräten, siehe Projekt „CbD“) auf Grund des eventuellen Vorhandenseins von Schadstoffen (§ 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG); hierzu zählen

- Persistente organische Schadstoffe (POPs – Persistent Organic Pollutants) in bestimmten Konzentrationen (EU POP Verordnung)
- Besonders besorgniserregende Stoffe (Substances of Very High Concern, SVHC) in Konzentrationen über 0,1 %.
- Flammenhemmer in Kunststoffen (diverse bromierte Aromaten)

Dies führt zur Beseitigung oder zur energetischen Verwertung großer Mengen an z.Zt. im Gebrauch befindlichen Materialien, bei denen diese Stoffe nicht abgetrennt werden können. Damit werden sie dem beabsichtigten Kreislauf der Ressourcen entzogen. Mit der in der Chemicals Strategy für Sustainability angekündigten kontinuierlichen Verschärfung von REACH steigt die Zahl der SVHC und damit auch die Mengen entsprechender Materialien. An der Schnittstelle von Abfall- und Chemikalienrecht sollten daher für derartige Materialien Anwendungsfälle definiert werden, bei denen eine Freisetzung der enthaltenen Schadstoffe während des Gebrauchs vermieden wird.

Probleme des Datenaustauschs: Eine entscheidende Voraussetzung für den Erfolg von Geschäftsmodellen entlang des Produktlebenswegs ist der Datenaustausch zwischen Produzierenden, Kundinnen und Kunden sowie der Abfallwirtschaft in beide Richtungen und unter Einbeziehung von Beteiligten, die Reparatur, Geräteaufarbeitung, Wiederverwendung etc. organisieren. Dabei gibt es häufig unterschiedliche Interessen im Hinblick auf

- Datenschutz (von persönlichen Daten)
- Schutz geistigen Eigentums (z.B. CAD-Plan für 3D-Ersatzteile – IP-Schutz)
- Weiternutzung von Künstliche Intelligenz (KI)-Daten (z.B. darf eine mit den Daten eines Unternehmens „vortrainierte“ KI für Anwendungen in einer anderen Firma eingesetzt werden?)

Hier vermischen sich rechtliche Grenzen und Probleme des Managements entlang des Produktlebenswegs. Das Thema Datensicherheit im Sinne von „Cyber Security“ nimmt mit der Größe des Wertschöpfungsnetzes im Sinne einer Circular Economy an Bedeutung zu. Hier sind definitorische und rechtliche Klärungen notwendig.

Qualitätssicherung: Alle Geschäftsmodelle zwischen R3 („Re-Use“) und R7 („Re-Purpose“ -siehe Abb. 53) müssen sich intensiv mit Fragen der Qualitätssicherung befassen. Hierzu gehören die Haftung bei Verwendung von gebrauchten Produkten, Regresssicherheit bei Nutzung von künstlicher Intelligenz usw.. Es werden Protokolle bzw. Normen für die Herstellung von Sekundärrohstoffen und weitergehende Aktivitäten in der Circular Economy benötigt. In diesem Sinne arbeiten DIN, DKE und VDI zusammen mit Expertinnen und Experten an einer „Normungsroadmap Circular Economy, um Normungsbedarf in diesem Bereich zu identifizieren.

Als Konsequenz aus den bei „ReziProK“ festgestellten Herausforderungen sind folgende **Ergänzungen bzw. Änderungen des Rechtsrahmens** erforderlich, um Geschäftsmodellen für eine ressourcenschonende Wirtschaft und Gesellschaft bessere Chancen zu geben:

- Die Pflicht zur Kennzeichnung der in Produkten enthaltenen Materialien (wie Legierungsarten), z.B. bei Bauwerken ein digitaler Zwilling als Gebäudepass, bei Elektro- bzw. Elektronik- sowie Kunststoffprodukten und Textilien Angaben über einen stabilen QR-Code, Fluoreszenz-Indikatoren oder RFID (radio-frequency identification)
- Ausweitung der Vorgaben der Ökodesign-Richtlinie auf weitere Produkte mit Vorgaben für Reparierbarkeit und Vorhaltung von Ersatzteilen
- Prüfung ökonomischer Anreiz-Systeme zur Rückgabe von gebrauchten Gegenständen
- Eine automatisierte Erfassung und Bewertung kritischer Bauteilzustände, die Aufschluss zu R4 („Repair“) oder unkritischem Weiterbetrieb von z.B. sicherheitsrelevanten Leichtbauteilen auch nach Fehlnutzung/Überlastungen gibt.
- Um dem fehlgeleiteten Anreiz zum Erwerb günstiger Primär-Materialien (bspw. Kunststoff) entgegenzuwirken, sollten Sekundär-Materialien im Vergleich finanziell attraktiver gemacht werden. Hierbei könnte man bspw. Sekundär-Materialien niedriger/nicht besteuern oder auf Primär-Materialien eine zusätzliche Umlage erheben.

Ausblick und Handlungsempfehlungen

Ausblick: Umsetzungshemmnisse und Handlungsempfehlungen

Schielke, C.; Wendler, K. (DECHEMA e.V.); Wolfmeyer, P. und Frieger, H. (N3 Nachhaltigkeitsberatung Dr. Frieger & Partner)

Die in der dieser Veröffentlichung dargestellten Ergebnisse der 25 Forschungsprojekte zeigen vielversprechende und innovative Ansätze auf, wie die Transformation der bisher überwiegend linearen Wirtschaft in eine ressourceneffiziente, kreislauforientierte Wirtschaft gelingen und somit der Verbrauch wertvoller Rohstoffe und Produkte, wie Kunststoffe, Metalle, Textilien oder Baustoffe, reduziert werden kann. Der nächste Schritt besteht nun darin, diese Forschungsergebnisse möglichst rasch in die wirtschaftliche Praxis umzusetzen und den Umbau zu einer ressourceneffizienteren Kreislaufwirtschaft in Deutschland zu stärken. Dem stehen jedoch sowohl rechtliche als auch wirtschaftliche und technische Umsetzungshemmnisse entgegen, sodass Handlungsempfehlungen an die Politik zusammengetragen wurden. Diese sind im Folgenden aufgelistet und wesentlich für die politisch geforderten Weichenstellung hin zu einer kreislauforientierten Wirtschaft.

Rechtliche Hemmnisse und Handlungsempfehlungen

Fehlende Definitionen und Konkretisierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrWG)

Eine ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft bedarf einer klaren Zieldefinition und eines rechtlichen Rahmens. Bisher existiert zu der Begrifflichkeit einer Circular Economy nur eine europäische Legaldefinition (in der Taxonomie-Verordnung), jedoch keine im deutschen Recht. Dies führt zu Unsicherheiten, was Circular Economy überhaupt ist und was sie bezweckt. Die teils sehr breite Verwendung des Begriffs erleichtert das „Greenwashing“ durch Anbietende. Daher wird

- eine verbindliche Definition der Circular Economy gefordert, welche auch im deutschen Recht einzuführen und einheitlich zu nutzen ist.

Ein rechtliches Hemmnis stellen die hohen Hürden für das Ende der Abfalleigenschaft dar, weswegen ein direkter Austausch von Produktionsabfällen zwischen verschiedenen Herstellenden zum Zweck der stofflichen Verwertung derzeit nicht möglich ist. Auch die Gefahr, dass der Status des Nebenprodukts aberkannt und der Stoffstrom als „Abfall“ eingestuft wird, wurde als Umsetzungshemmnis genannt. Daher wird empfohlen:

- § 3 KrWG dahingehend zu verändern, dass es potenziellen Abfallverwertenden trotz der Einordnung eines Materials als Abfall leichter möglich ist, dieses Material ohne eine zwingend vorgeschaltete Behandlung durch einen

Dritten (Recyclinganlage) weiternutzen zu können und es in einen neuen Produkt-Lebenszyklus einzubringen.

- § 4 Abs. 1 Nr. 2 genauer zu definieren und insoweit abzuändern, dass Abfallverwerter nicht durch bspw. eine besondere Reinigung eines Materials zur Weiterverwendung Gefahr laufen, den Status des Nebenprodukts aberkannt zu bekommen.

Weiterhin ist die niederwertige Verwendung von Rezyklaten erschwert, da Rezyklate nicht unbedingt alle Normen erfüllen, aber für einfache Produkte eingesetzt werden können.

- § 5 Abs. 1 Nr. 3 KrWG: Forderung nach Erfüllung „aller technischer Anforderungen und anwendbaren Normen“ für Produkte aus Abfällen. Hier sollten – selbstverständlich koordiniert mit dem EU-Rahmen – Ausnahmen für die rückholbare und umweltunschädliche Nutzung kontaminierter Rezyklate geregelt werden.

Hoher CO₂-Fußabdruck durch mangelhaftes Design bezüglich Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit, stofflicher Verwertbarkeit und unzureichender Nutzung erneuerbarer Energien

Produkte und deren Komponenten sind oftmals so gefertigt, dass die stoffliche Verwertung schwierig ist, und es keine Ansatzpunkte zur Wiederaufbereitung oder Wiederverwendung gibt. So ist eine Wiederaufbereitung aufgrund der Konstruktionsweise oft umweltbelastender oder teurer als die Neufertigung, da die ursprünglichen Eigenschaften nur mit unverhältnismäßig hohen Aufwänden wieder erreicht werden. Wiederaufbereitung, Reparatur und stoffliche Verwertung sind aber Voraussetzung für die Einsparung von stofflichen und energetischen Ressourcen. Hilfreich wären rechtliche Rahmenbedingungen,

- die in die „klassische“ Produktentwicklung integriert werden und Anreize für ein Design für Recyclingfähigkeit, Reparierbarkeit, Wiederverwendbarkeit geben.
- die die Umstellung auf erneuerbare Energien bei energieintensiven Fertigungsverfahren fördern, was zu einem drastischen Rückgang der CO₂-Emissionen beitragen würde.

Mangelnde Datenlage

Eine Kennzeichnungspflicht der wesentlichen Inhaltsstoffe von Produkten existiert außerhalb von Spezialgesetzen nur für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC). Beim Re-

cycling oder ggf. auch nur der Reparatur werden diese Angaben jedoch zur Zusammensetzung bzw. Zerlegbarkeit (keine Volldeklaration) dringend benötigt. Die Zunahme von SVHC steigt zudem stetig, bei gleichzeitigem Verbot der Verwendung von Rezyklaten, die Schadstoffe gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 4 KrWG enthalten. Das führt zu einer ständigen Verschärfung des Chemikalienrechts (REACH) und einer zunehmenden Menge an Abfällen, welche nur energetisch verwertet werden können.

Dies oben genannten Punkte führen zu folgenden Handlungsempfehlungen:

- Einführung eines digitalen Zwilling als Gebäudepass und bei Kunststoffprodukten und Textilien eine verbindliche Angabe der Inhaltsstoffe bspw. über einen stabilen QR-Code, Fluoreszenz-Indikatoren oder RFID (*radio-frequency identification*).

Weiterhin liegen gravierende Mängel bzgl. des Datenaustauschs zwischen Herstellenden, Nutzerinnen und Nutzern sowie der Abfallwirtschaft vor. Diese fehlende Datenverfügbarkeit liegt u.a. in den unterschiedlichen Interessen der Beteiligten einer Wertschöpfungskette (Schutz von persönlichen Daten) und den Schutz geistigen Eigentums (z.B. CAD-Plan für 3D-Ersatzteile – IP-Schutz) oder auch dem mangelnden Vertrauen in die Datensicherheit begründet. Diese Hemmnisse bedingen jedoch Herausforderungen für alle Geschäftsmodelle der CE, da der kooperative Datenaustausch entlang des Produktlebenswegs zwischen Produzierenden, Kundinnen und Kunden sowie der Abfallwirtschaft in beide Richtungen und unter Einbeziehung von Beteiligten, die Reparatur, Geräteaufarbeitung, Wiederverwendung etc. organisieren, erforderlich ist.

Empfohlen wird somit

- einen Anreiz zur Datenbereitstellung zu schaffen, damit die Datengrundlage und die Informationsflüsse zwischen den einzelnen Beteiligten der Wertschöpfungskette verbessert und auch die Datenformate, in welchen die Daten erhoben werden, vereinheitlicht werden, um zu einem funktionalen Netzwerk der Wertschöpfung und -erhaltung und somit zu einer verbesserten Energie- und Primärrohstoffverbrauch beizutragen.

Technische Hemmnisse und Handlungsempfehlungen

Darüber hinaus sollten zur Erhöhung der Vergleichbarkeit und Transparenz von Ergebnissen

- eine Vereinheitlichung methodischer Ansätze für Umweltbewertungen eingeführt werden, welche über die Vorgaben aus einschlägigen Normen hinaus Leitplanken für die Umweltbewertung vorgeben.

Beispiel:

- Im Bereich der Kunststoffrezyklate wäre z.B. eine garantierte Mindestqualität (nach standardisierten Messbedingungen durch Normierung seitens der Verbände) hilfreich.

Komplexität der Digitalisierung bestehender Anlagen und Prozesse

Lieferantinnen und Lieferanten verfügen teilweise nicht über technisches Knowhow, um Informationen digital zu bündeln und mit Externen zu teilen. Dies führt dazu, dass der Anwendung notwendige Informationen zur Berechnung verschiedener Optimierungsmethoden fehlen. Demnach wird empfohlen:

- die IT-technische Unterstützung zu fördern
- die Umsetzung des Digitalen Produktpasses sicherzustellen, dass möglichst alle Beteiligten über die Möglichkeit verfügen, an diesem zu partizipieren. Die notwendigen digitalen Voraussetzungen sind zu schaffen.

Soziale und ökonomische Hemmnisse und Handlungsempfehlungen

Sensibilisierung

Die Nutzung von bereits einmal genutzten oder aus Rezyklaten hergestellten Produkten hängt unabdingbar von der Akzeptanz im Markt ab. Verbraucherinnen und Verbraucher haben oft Vorbehalte gegenüber gebrauchten und wiederaufbereiteten Produkten. Das fehlende Vertrauen gegenüber zirkulären Produkten liegt u.a. in einer intransparenten Kommunikation bzw. der fehlenden öffentlichen Sensibilisierung der Verbrauchenden begründet und führt bei vielen Produktgruppen (z.B. Textilien, Baumaterialien) zu einer geringen Nachfrage. Dies beeinträchtigt die Wettbewerbsfähigkeit dieser Produkte. Daher sollten

- die Verbrauchenden durch Infokampagnen, Öffentlichkeits- und Bildungsarbeit sensibilisiert werden, sodass Recycling bzw. der Einsatz von Rezyklaten, Upcycling oder Remanufacturing als gleichwertig anerkannt und so zirkuläre Produkte favorisiert produziert und konsumiert werden.

Forschungs- und Innovationsförderung

Neben der fehlenden Akzeptanz bildet die fehlende Weiterförderung von Forschungsprojekten ein zusätzliches Hemmnis zur Umsetzung der erzielten Ergebnisse, denn nach Ende der Förderphase existieren keine geeigneten Fördermöglichkeiten, um die Ergebnisse weiterzuentwickeln oder den Technologiereifegrad zu erhöhen, um damit eine Übertragung in die Praxis zu gewährleisten.

- Um dem entgegenzuwirken, wäre die Bereitstellung finanzieller Unterstützung zur Steigerung der Akzeptanz für rezyklierte Produkte bzw. nachhaltige Geschäftsmodelle sinnvoll.

- Auch die Finanzierung von Kommunikationsmaßnahmen zur Sensibilisierung der Bürgerschaft und der Wirtschaft und die Schaffung einer „Bühne“ zur Sichtbarmachung erfolgreicher Forschungsprojekte, um vielversprechende Projektergebnisse in den Markt zu bringen, wäre wünschenswert.
- Bei der öffentlichen Beschaffung wäre eine Pilot-Ausschreibung (Pilotprojekt) bzw. eine langfristige Förderung von Geschäftsmodellen, die eine positive Wirkung auf Nachhaltigkeit und Gesellschaft haben, zu fördern, um das Thema nachhaltige Produkte zu unterstützen.

Die Ergebnisse aus „ReziProK“ zeigen, dass zirkulär ausgerichtete Verfahren, Produkte und Geschäftsmodelle erhebliche Vorteile im Sinne nachhaltigen Wirtschaftens haben. Teilweise stoßen diese innovativen Ansätze aber an Grenzen, bei deren Überwindung vor allem Bundesregierung und Bundestag sowie die Wirtschaftsverbände gefordert sind.

Stichwortregister

Stichwortregister	
2nd use	32
Abfall	46
Adaptives Remanufacturing	54
Additive Fertigung	50, 56
Aftermarket	56
Akzeptanzforschung	64
Altteil-Sortierung	52
App	64
Automatisierung	52
Batterie	64
Bauteillebensdauer	38
Berufsbekleidung	12
Bettwäsche	12
Blockchain	18
CFK	60
CO ₂ -arme Zemente	22
CO ₂ -Aufwand	32
collaborative fashion consumption	34
Datennutzung	52
Digitalisierung	10, 14, 40
E-Cargobikes	64
E-Commerce	46
Eingesetzte Rohstoffmenge	32
Elektromobilität	50, 60
Elektronikprodukte	36
Emissionsreduzierte letzte Meile	62
Energie- und Ressourceneffizienz	42
Energieverbrauch	14
Fahrzeugplattform	60
Faserverbund	60
Faserverstärkte Kunststoffe	20
fashion rental	34
Geschäftsmodelle	10, 12, 20, 30, 32, 34, 36, 50, 64, 66, 72
Heizungspumpen	40
IKT	44
Innenausbau	32
Instandhaltungsstrategie	54
Kaskadennutzung	36
Kaskadennutzung von Reststoffen	24
Kleidung und Textilien	34

Stichwortregister	
Klimaneutralität	20
Klimaschutz	40
Konfigurator	16
Kreislauffähige Elektrofahrzeuge	59, 60, 62, 64
Kreislaufführung	40
Kreislaufmanagement	22
Kreislaufwirtschaft	5, 16, 18, 20, 24, 30, 34, 36, 52, 60
Künstliche Intelligenz	52
Kunststoff	10
Kunststofffasern	20
Kunststoffverarbeitung	20
LCA	18, 22, 68
Lebenszyklusverlängerung	54
Lieferkette	18
Light Electric Vehicle	62
Lineare Optimierung (Simplex)	14
Machine Learning	50
Maschinelles Lernen	14
Maschinenelemente	38
Mehrweg	46
Mehrwegbox	46
Mehrwegversandtasche	46
Mensch-Maschine-Interaktion	52
Messtechnik	10
Mieten statt besitzen	34
Möbel	30
Modularität	44
Nachhaltige Geschäftsmodelle	20, 36, 64
Nachhaltigkeit	18
Neue Formen der Mobilität	62
Nutzungsdauerverlängerung	44
Nutzungsverlängerung	36
Ökobilanzierung	16, 50
Onlinehandel	46
Planspiel	32
Plattform	30
Porenbeton	22
Predictive Maintenance	38
Produktdesign	42, 64
Produktentwicklung	24

Stichwortregister

Stichwortregister		Stichwortregister	
Produktkreislauf	32	Selbstlernende Technologie	52
Produktpass	10	selektives Laserstrahlschmelzen	56
Produkt-Service-Systeme	30, 34	Smartphones	44
Recycling	10, 12, 20, 22, 64	soziale Inklusion	24
Recyclingfähigkeit	42	Stahl	28
Reifen	16	sustainable fashion	34
Remanufacturing	28, 49, 50, 52, 54, 56	Technische Gebäudeausstattung	40
Remote-Prozesse	40	Textilrecycling	12
Reparatur	36, 56	Textilservice	12
Reparaturfreundlichkeit	42	Transparenz auf Anfrage	18
Repurposing	28	Upcycling	24
Ressourceneffizienz	24, 38, 40, 42, 54	Vernetzung	14
Ressourcenschonung	12	Verpackung	46
Restnutzungsdauerprognose	38	WEEE	42
Rezyklate	10	Werterhaltung	50
Rezyklateinsatzquote	42	Wiedervermarktung	36
Rohstoffsubstitution	22	Wiederverwendung	40, 60
Rückführung	32	zirkuläres Design	24
Schneidwaren	28	Zustandsdiagnose	38
Sekundärrohstoffe	14		

Weiterführende Links

„ReziProK“ Webseite: <https://innovative-produktkreislaeufe.de>

Publikationen aus den „ReziProK“ Projekten: <https://innovative-produktkreislaeufe.de/Publikationen.html>

