

OPENing Re-Use: Ergebnisreflexion

Die Projektergebnisse von OPENing Re-Use wurden in mehreren Reflexionsschleifen gemeinsam mit den Projektpartnern, externen Stakeholdern (wie Wissenschaftler:innen oder Mitarbeitenden anderer re-use-bezogenen Projekte) sowie dem Advisory Board/Stakeholder Panel kritisch hinterfragt, validiert und auf Übertragbarkeit geprüft. Ziel dieser Reflexion war es, die Generalisierbarkeit der Erkenntnisse zu maximieren, die Verwertungsmöglichkeiten zu konkretisieren und den Projekt-Impact über die unmittelbar bearbeiteten Bereiche hinaus zu erhöhen.

Allgemeine Reflexion des OPENing Re-Use-Frameworks

Ein Schwerpunkt wurde dabei auf das OPENing Re-Use Framework inkl. Prozessanalysen und wissenschaftliche Studien zur Disposition im Re-Use-Bereich gelegt. Die kritische Betrachtung dieser Ergebnisse erlaubt einen verbesserten Transfer von theoretischen Erkenntnissen für Praxis, Forschung und Politik.

- Der bewusste Fokus auf IT-Hardware und Weißware adressiert zwei besonders umweltschädigende und voluminöse Produktbereiche, die zugleich hohe Re-Use-Potenziale aufweisen. Die Produktauswahl ist im Verhältnis zum Gesamtmarkt eng, was die Tiefe der Erkenntnisse erhöhte, aber Grenzen der Generalisierbarkeit in Bezug auf das Gesamtprojekt setzt. Dass sich insbesondere im Bereich Weißware auch Konzerne für die Ergebnisse interessierten, unterstreicht allerdings die Relevanz und Anschlussfähigkeit der Erkenntnisse. Darüber hinaus wurden die durchgeführten Studien so angelegt, dass diese möglichst allgemeine und generalisierbare Resultate liefern, die auch für andere Produktkategorien herangezogen werden (siehe *Reflexion der wissenschaftlichen Studien*).
- Die detaillierten und frei verfügbaren Prozessanalysen zeigen wiederkehrende Gemeinsamkeiten, aber auch komplementäre Prozessschritte – ein „One-size-fits-all“-Prozess existiert selbst in den verwandten Produktbereichen von Elektro- und Elektronikprodukten nicht. Stattdessen lassen sich typische Bausteine der Re-Use-Wertschöpfung (wie etwa Akquisition, Qualitätsfeststellung/-bewertung, Disposition, Re-Use-Prozesse) identifizieren und kontextbezogen wie ein Puzzle zusammensetzen. Dieser modulare Ansatz wurde methodisch mit aktueller Forschungsliteratur gespiegelt und bildet die Grundlage des im Rahmen von OPENing Re-Use erstellten Re-Use-Simulationsframeworks.
- In Bezug auf Wissenstransfer und Kommunikation bewährte sich das Zusammenführen von Erfahrungen und Erkenntnissen in kurzen, zielgruppenorientierten Formaten (z. B. kompakte Leitfäden, Checklisten, Visualisierungen) als wirksame Disseminationsstrategie. Das erleichtert den Wissenstransfer von der Forschung in die betriebliche Praxis und erhöht die Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Umsetzung.

Reflexion der wissenschaftlichen Studien

Rinder, S. R., Lechner, G., Reimann, M., & Kraßnig, V. (2026). *(Re) Use it or not: Operational disposition decisions depending on product and organization type. Resources, Conservation and Recycling*, 224, 108541.

- Beitrag: Als zentrales Ergebnis wurde mit Interviews und einer Umfrage ein Bewertungsschema für operative Dispositionsentscheidungen im Re-Use-Bereich erzielt, das auf 14 Dispositionsfaktoren basiert und auf verschiedensten Produkttypen basiert. Diese Faktoren schaffen eine gemeinsame Sprache für For-Profit- und Non-Profit-Organisationen und ermöglichen eine Orientierung, welche Aspekte einen Einfluss auf die Re-Use-Dispositionsentscheidung haben (sollten). Das Sample ist für den deutschsprachigen Raum aussagekräftig.
- Limitationen: Eine uneingeschränkte, allgemeine Generalisierbarkeit ist nicht gesichert. Gründe sind die Auslassung einzelner Produktkategorien, eine noch zu geringe Repräsentanz großer Konzerne und der regionale Fokus. Diese Grenzen wurden transparent dargestellt und bilden Ansatzpunkte für Folgearbeiten.

Rinder, S. R., Lechner, G., & Reimann, M. (2026). *Improving repair operations with remote diagnosis: A case-based simulation for white goods*. Accepted for publication in: *Flexible Services and Manufacturing Journal*.

- Beitrag: Die detaillierte Betrachtung der Abläufe in einem konkreten Reparaturbetrieb vertiefte das Verständnis der Prozesslogik und identifizierte Kostentreiber (z. B. Ersatzteile, Fehleridentifikation, Reparaturbedarf). Die Studie zeigt Potenziale und Grenzen der Wirtschaftlichkeit im Reparatur-/Re-Use-Bereich auf und liefert belastbare Hypothesen für Verbesserungsmaßnahmen.
- Limitation: Es ist keine direkte Verallgemeinerung möglich, da sich die Ergebnisse auf ein einzelnes Unternehmen beziehen. Daher sind die Erkenntnisse als „Tiefenbohrung“ zu lesen, die in weiteren Kontexten validiert werden sollten.

Lechner, G., Haas, A., Rinder, S. R., & Steiner, E. (2025). *Towards a generic simulation toolkit for reuse operations*. *Procedia CIRP*, 134, 627-632.

- Beitrag: Das Framework ermöglicht eine weitgehende Verallgemeinerung typischer Re-Use-Abläufe entlang der Re-Use-Wertschöpfungskette von Akquisition von Gebrauchsgütern über deren Qualitätsbewertung bis hin zur Disposition und Re-Use-Umsetzung. Die Bausteinlogik erlaubt organisations- und produktspezifische Anpassungen.
- Limitation: Das Modell ist kein „fertiges“ Universalmodell – eine belastbare Simulation erfordert stets eine organisationsspezifische Parametrisierung (z. B. Prozessvarianten, Produktmix, Mitarbeitendenkompetenzen).

Lechner, G., Quariguasi Frota Neto, J., & Steiner, E. (2025). *Decision-Making in Circular Supply Chains for Returned Used Products: A Synergy of Reinforcement Learning and Discrete Event Simulation*. Submitted to *Annals of Operations Research* (Status: Major Revision).

- Beitrag: Ein neuartiger Ansatz zur simulationsbasierten Optimierung von Re-Use-Entscheidungen der zeigt, wie die daten- und regelsensitive Disposition künftig durch KI unterstützt werden kann.
- Entwicklungsstand: Methodisch vielversprechend, befindet sich das Modell derzeit noch auf abstrakter Ebene. Daher ist ein direkter Einsatz in Organisationen kurzfristig nicht vorgesehen, mittel- bis langfristig jedoch realistisch.

Reflexion der Validierung, Generalisierbarkeit und Erweiterung des Anwendungsbereichs

Im Rahmen der kritischen Reflexion mit externen Stakeholdern wurden die Projektinhalte und insbesondere das OPENing Re-Use-Framework in verschiedenen Dialogformaten gezielt auf mögliche blinde Flecken geprüft. Die Rückmeldungen bestätigten eine hohe inhaltliche Anschlussfähigkeit und Praxistauglichkeit. Zugleich wurden klare Anforderungen sichtbar, die außerhalb des unmittelbaren Projektkerns liegen und als vorgelagerte Systembedingungen zu adressieren sind. Besonders hervorgehoben wurde dabei die grundlegende Frage, wie Produkte überhaupt in den Re-Use-Kreislauf zurückgeführt werden können.

Der dabei bewusst zugelassene Dissens erwies sich als wertvolle Erkenntnisquelle. Die Spannweite der Rückmeldungen bzgl. Re-Use reichte von „technisch möglich, wirtschaftlich derzeit schwierig“ bis hin zu „Neuproduktion ist günstiger“. Gerade diese Divergenz half, ökonomische Annahmen zu schärfen, die Bedeutung der Prozesseffizienz im operativen Re-Use herauszuarbeiten und zentrale regulatorische Hebel zu identifizieren – etwa verlässliche Ersatzteilverfügbarkeit und faire Preisgestaltung, Standardisierung relevanter Komponenten sowie gesicherter Informationszugang für Reparatur und Refurbishment.

Gleichzeitig bestätigten die Diskussionen die prinzipielle potenzielle Ausweitung des Projektansatzes. Der modulare Bausteinansatz und die 14 Dispositionsfaktoren erwiesen sich als übertragbar, sofern produktspezifische Ergänzungen (z. B. Besonderheiten einzelner Gerätekategorien) und organisationsspezifische Parametrisierungen (z. B. Prozessvarianten, Kompetenzen, Datenlage) vorgenommen werden. Diese Übertragbarkeit gilt sowohl innerhalb der fokussierten Segmente IT und Weißware als auch für andere Produktgruppen (etwa Möbel, Bücher, Textilien) mit vergleichbarer Prozesslogik und Dispositionsproblemen.

Reflexion der Erkenntnisse aus Dissemination und Stakeholder-Dialog – Konsequenzen für Verwertung und Impact

Die Disseminationsaktivitäten und Stakeholder-Dialoge haben zentrale Einsichten für die weitere Verwertung und den Impact von OPENing Re-Use geliefert. In Teilen der Industrie ist der Begriff „Re-Use“ noch nicht etabliert; auch das Verständnis der vielfältigen Optionen entlang des 10R-Frameworks für Re-Use ist unterschiedlich ausgeprägt. Daraus leitet sich ein klarer Bedarf nach Verständlichkeit, Schulungsangeboten und standardisierten Bewertungsrastern ab. Während die technische Machbarkeit von Re-Use häufig bestätigt wurde, liegen die eigentlichen Hürden in Effizienz, Prozesssicherheit sowie in der Verfügbarkeit und Preisgestaltung von Ersatzteilen. Diese ökonomischen Herausforderungen, die sich in mangelnder Profitabilität niederschlagen, sind der Hauptgrund dafür, dass Re-Use in der Industrie (noch) nicht etabliert ist. Genau an diesen Punkten setzen die im Projekt entwickelten Bausteine an: strukturierte Prozessanalyse, konsistente Datenerfassung, Vorschläge für relevante Indikatoren (KPIs) und simulationsgestützte Entscheidungsunterstützung. Die damit verbundene zielgerichtete Vorbereitung für Re-Use unterstützt die (kosten)effektivere Beseitigung von immer wiederkehrenden Problemen und Mängeln bei Gebrauchsgüterprodukten. Das große Praxisinteresse – sichtbar von Konferenzen über Kreislaufwirtschaftstage bis hin zum Abschlussevent – unterstreicht die Relevanz und das Transferpotenzial der Ergebnisse.

Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich konkrete Konsequenzen für verschiedene Zielgruppen. Betriebe können das OPENing Re-Use-Framework zur schnellen Prozessaufnahme nutzen, die 14 Dispositionsfaktoren für eine objektivierte Bewertung einsetzen und mit einem vorgefertigten KPI-Set sowie strukturierter Datenerfassung arbeiten. Verbesserungsmaßnahmen und Entscheidungsregeln lassen sich mittels Simulation validieren und priorisieren. Hersteller und Produktdesign-Teams sind gefordert, re-use-relevante Anforderungen bereits im Pflichtenheft zu verankern: Zerlegbarkeit, Modularität, Standardisierung und gesicherter Informationszugang bilden die Basis; ergänzend sind Dokumentation und Ersatzteilzugänge als Enabler wirtschaftlicher Re-Use-Prozesse bereitzustellen. Politik und Verbände können den Rahmen für Skalierung setzen, indem sie identifizierte Systembarrieren adressieren: verlässliche Ersatzteilverfügbarkeit und faire Preise, Standardisierung zentraler Komponenten und Schnittstellen, Informationsrechte für Reparatur/Refurbishment sowie eine funktionierende Rückführlogistik. Für die Forschung schließlich bieten sich verschiedene Forschungspotenziale an: die Ausweitung der Dispositionsstudie auf zusätzliche Produktkategorien und internationale Kontexte, Praxispiloten zur Replikation der Ergebnisse aus den wissenschaftlichen Beiträgen sowie die konsequente Weiterentwicklung der Kopplung aus Reinforcement Learning und Simulation in Richtung anwendungsreifer Prototypen.

Reflexion der Methodik, Praktikabilität und Bewertung des Lösungsansatzes sowie seiner Übertragbarkeit

Das aus dem Projektaufbau abgeleitete 3-Phasen-Modell bietet einen klaren, praxisnahen Pfad von Prozessanalyse über den Aufbau von Re-Use-Pilotumgebungen und Datenerhebungssystemen bis zu konkreten Re-Use-Dispositionierungsplanungswerkzeugen und ermöglicht eine schrittweise Einführung von Re-Use ohne starke Eingriffe in den laufenden Betrieb. Die diskrete, ereignisorientierte Simulation erweist sich als zentrales Werkzeug zur Abbildung der im Re-Use typischen Unsicherheiten in Bezug auf Gebrauchsgüterprodukte (Menge, Qualität, Timing) und unterstützt systemweite Verbesserungen, wo statische Optimierung oft nur Teillösungen liefert. Die 4-stufige Evaluierungsmethodik ist praktikabel und minimiert Interferenzen mit dem Tagesgeschäft; sie

unterstützt die kontinuierliche Verbesserung der Dispositionswerkzeuge und klärt Zielgrößen, Datengrundlagen und Validierungsschritte.

Die Bausteine – 3-Phasen-Modell, 4-Stufen-Evaluierung und diskreter ereignisorientierter Simulation – sind methodisch flexibel und grundsätzlich auf andere Produkttypen und industrielle Kontexte übertragbar. Unterschiede in der Produktkomplexität verändern zwar die Ausformung der notwendigen Modelle, nicht jedoch die generelle Anwendbarkeit. Für die operative Umsetzung ist jedoch stets eine organisationsspezifische Adaption nötig, da Prozesse, Kompetenzen und Datenlagen variieren. Die im Projekt gebündelten Erfahrungen und Vorlagen verkürzen diesen Anpassungsaufwand deutlich. Die Nachfrage in Disseminationsformaten und bei der finalen Ergebnispräsentation am 25.11.2025 bestätigt Relevanz und Umsetzungsreife. Gleichzeitig ist das Hauptresultat – der evaluierte prototypische Ansatz für Re-Use-Dispositionplanung – praktikabel, anschlussfähig und skalierbar. Die mitgedachte Komplexität des Re-Use-Bereichs macht Entscheidungen quantifizierbar und ermöglicht eine Einführung des Werkzeugs mit geringem Eingriff in das Tagesgeschäft – eine erfolgsversprechende Basis für die Ausweitung auf weitere Produktkategorien und industrielle Kontexte.

Reflexion bzgl. des Zusammenhangs zwischen Produktdesignprinzipien und messbarem Re-Use-Erfolg

Ein weiterer zentraler Aspekt der Reflexion betraf die Frage, wie die im Projekt abgeleiteten Designanforderungen praktisch in Produkte und betriebliche Entscheidungen übersetzt werden – mit messbaren Effekten auf Effizienz, Qualität und Wirtschaftlichkeit von Re-Use. Dabei verdichteten sich drei Kernaussagen:

1. Wenige Designhebel bestimmen Re-Use Fähigkeit und Prozesskosten
 - a. Standardisierung und Verfügbarkeit: Etablierte Standards bei Anschlüssen, Formaten und Verschleißteilen erhöhen Kompatibilität und Teilezugang, senken Lagerbestände und beschleunigen Reparaturen. Wo Standards fehlen oder häufig wechseln, entstehen unnötige Variantenvielfalt, teure bzw. schwer erhältliche Ersatzteile und erhöhte Komplexität in der Aufbereitung.
 - b. Zerstörungsfreie Zerlegbarkeit: Mechanische Verbindungen (z. B. Schrauben) und Wartungszugänge reduzieren Öffnungszeit und Fehlerrisiko erheblich. Klebungen, Verschweißungen, Einbahn Steckmechanismen oder versteckte Befestigungen verhindern häufig Reparaturen oder machen sie unwirtschaftlich – insbesondere bei kleinteiliger Elektronik.
 - c. Modularität: Austauschbare Kernkomponenten (etwa Akkus, Speicher, Grafikeinheiten, Pumpen/Motoren, Baugruppen in Haushaltsgeräten) vermeiden Totalschäden und eröffnen Upgrade- und Reparaturpfade. Fest verlötete oder verklebte Komponenten führen zu mehr Ausfällen und/oder treiben Kosten.
2. Von Prinzipien zu Kennzahlen – messbare Auswirkungen auf das Re-Use-Geschäft
 - a. Prozess- und Kostenwirkung: Standardisierung reduziert Teilemix und Diagnoseaufwände; gute Zerlegbarkeit senkt Öffnungs- und Tauschzeiten und verringert Ausschuss; Modularität vermeidet Komplettaustausch. Komponentendesign (in Bezug auf Thermik, Dimensionierung, Servicezugänge) beeinflusst Lebensdauer und Re-Use Wahrscheinlichkeit direkt. Diese Hebel wirken auf zentrale KPIs wie Durchlaufzeit, Re-Use-Erfolgsquote, Teilekosten, Ausschuss und Deckungsbeitrag.
 - b. Information und Transparenz: Zugängliche Reparatur- und Schaltpläne sowie präzise Teileinformationen verringern Fehlkäufe, verkürzen Prozesse und erhöhen die Erfolgsquote. Verbraucherinformationen zu Leistung/Einsatzgebieten und energieintensivem Softwareverhalten verlängern Nutzungsphasen und reduzieren die Anzahl vorzeitiger Gerätewechsel.
 - c. System- und Regelungsrahmen: Einheitliche Branchenstandards zeigen, dass regulatorische Maßnahmen unmittelbare Effizienz- und Re-Use-Gewinne ermöglichen. Vorgaben zu

Ersatzteilverfügbarkeit und fairer Preisgestaltung, zu Zerlegbarkeit und zu digitaler Lebensdauer (Updates, offene Firmware) sind plausibel und wirkungsvoll. Adapterlösungen können als Brückentechnologien Ressourcen sparen, wenn vollständige Standardisierung noch fehlt.

3. Erweiterbarkeit und Leitfaden – priorisieren, professionalisieren, skalieren
 - a. Leitfaden und Checkliste: Die im Projekt abgeleiteten Entscheidungsaspekte strukturieren die Bewertung entlang Standardisierung/Verfügbarkeit, Modularität, zerstörungsfreier Zerlegbarkeit, Komponentendesign (inkl. Thermik/Justierbarkeit), Information & Dokumentation, Suffizienz sowie Material /Ressourceneffizienz. Sie bieten konkrete Do's/Don'ts und Transferhinweise in weitere Produktgruppen.
 - b. Priorisierung: Maßnahmen mit hohem Nutzen zu Aufwand Verhältnis sollten kurzfristig umgesetzt werden – etwa Schrauben statt Kleber, Wartungsklappen, standardisierte Anschlüsse/Peripherie, gesicherte und faire Ersatzteilverfügbarkeit sowie öffentlich verfügbare Reparatur /Schaltpläne und Teileinformationen. Strukturelle Hebel wie modulare Baugruppen und digitale Langlebigkeit benötigen Hersteller Roadmaps, bieten aber sehr hohe Potenziale für Kosten, Qualität und Bestand.
 - c. Operative Verankerung: Re-Use Organisationen sollten die Wirkung von Designmerkmalen systematisch messen, KPIs monitoren und Simulations-/Szenarioanalysen nutzen, um Redesign Optionen und Beschaffungsstrategien datenbasiert zu bewerten. Mindestsamples von ausreichender Größe sichern robuste Aussagen.