

Aufgabenstellung: Circular Economy

Teil 1: Analyse und Bewertung der Kreislauffähigkeit hinsichtlich Verwendbar- und Verwertbarkeit sowie mögliche lebensdauererweiternde Maßnahmen für ein Referenzprodukt¹

Teil 1.1: Erstellen sie eine *Komponenten- und Materialienliste* und bestimmen sie *Gewichtsanteile der Materialien* eines Referenzproduktes.

Während der Demontage ihres Referenzproduktes ist eine Liste der Hauptkomponenten (Funktionsträger, wie Motor, Heizplatte, Gehäuse, etc.), der Teile und Materialien zu erstellen. Begleitend sind CRM² sowie wertvolle Materialien zu identifizieren. Die Liste der Hauptkomponenten ist in eine (Demontage-)Struktur zu bringen.

Teil 1.2: Untersuchung der *Wiederverwendbarkeit* von Komponenten und Modulen sowie Identifikation der *Potentiale zur Instandhaltung, Reparatur des Upcycling* etc. (gemäß DIN EN 45554)³

- Erstellen Sie eine vorrangige Teilleiste jeweils für **Reparatur**, für die **Wiederverwendung** und bzgl. **Upgrade**.

Für die vorrangigen Teilleisten sind Daten und weitere Informationen notwendig, um eine Priorisierung durchzuführen. Unterstützend können sein: Reparaturanweisungen, Informationen aus Reparaturzentren, Demontageanleitungen etc., Informationen zum Upgrade-Potenzial bestimmter Bauteile, Verfügbarkeit von Ersatzteilen.

- Führen Sie eine Bewertung durch, indem Sie die Demontage und den Support bewerten.

Qualitative Beschreibung der Wiederverwendungspotentiale, der Möglichkeiten zur Reparatur und zum Upgrading des Beispielproduktes sowie die Darstellung der Ergebnisse über eine berechnete Punktebewertung gemäß den Kriterien und Formeln aus DIN EN 45554.

Teil 1.3: Anwendung von Bewertungsmethoden, um die *Recyclingfähigkeit/Verwertbarkeit* der Materialien zu beurteilen (gemäß DIN EN 45555)⁴

Berechnung eines Gesamt-Recyclingfähigkeits-/Verwertbarkeitsfaktors nach der vereinfachten Methode gemäß DIN EN 45554. Diskutieren Sie die Recyclingfähigkeit und Verwertung nach Kriterien aus der Norm, wie das Vorkommen von kritischen Materialien, der Möglichkeit der Identifikation und das Muss an selektiver Behandlung, etc.

Teil 1.4: Berechnung der Wirtschaftlichkeit nach VDI 2243 für Komponenten und Materialien.

Berechnung der **Komponenten- und Materialkreislauffähigkeit** von vorrangigen Teilen und rezyklierbaren Materialien.

¹ Leitfaden siehe Hilfestellung und Checkliste

² CRM = Critical Raw Material

³ Leitfaden siehe Hilfestellung und Checkliste

⁴ Leitfaden siehe Hilfestellung und Checkliste

Teil 2: Entwicklung eines CE-Konzepts für das Referenzprodukt

Teil 2.1: Festlegung der Konstruktionsmerkmale des Produkts im Hinblick auf Wiederverwertung und -verwendung anhand einer Checkliste⁵

Beschreibung der Konstruktionsmerkmale des Produktes. Dazu gehören typische Konstruktionsmerkmale eines Produkts, die sich auf die Recyclingfähigkeit-/Verwertbarkeit des Produkts auswirken. Dies kann in Form einer Checkliste erfolgen.

Teil 2.2: Konzeptionelle Darstellung der Stellhebel zur Verbesserung der CE des Referenzproduktes

Entwicklung von Konzepten zur Verlängerung des Lebenszyklus des Referenzproduktes oder eines weiteren Nutzungsszenarios im zweiten Lebenszyklus. Die Ergebnisse sowie deren Wirksamkeit sind zu beschreiben und gegeneinander abzuwägen. Ziel ist es die Kreislauffähigkeit des Produkts zu erhöhen und dies durch eine Entwurfsskizze / Konzeptdarstellung zu erklären.

Teil 2.3: Evaluation und Reflexion des Konzepts

Evaluierung der Verbesserungen durch z.B. einer Neuberechnung des Gesamt-Recyclingfähigkeits-/Verwertbarkeitsrate oder/und Bewertung der Reparaturfähigkeit und Reflexion der Ergebnisse.

⁵ Leitfaden siehe Hilfestellung und Checkliste

Hilfestellung

Auf Basis einer **Komponenten- und Materialienliste** sowie der **Gewichtsanteile der Materialien** eines Altproduktes können sowohl Wiederverwertung als auch Wiederverwendung quantitativ als auch qualitativ abgeschätzt werden.

Fragen zur Bewertung der **Reparatur**, der **Wiederverwendung** und bzgl. **Upgrade** (DIN EN 45554), um **vorrangige Teilleisten zu erstellen**:

Reparatur:

- Welche Teile fallen überdurchschnittlich häufig aus (Ausfallwahrscheinlichkeit*)?
- Zu welchen unbeabsichtigten Ausfällen könnte es kommen?
- Welche Ausfälle durch normalen Verschleiß sind zu erwarten?

Wiederverwendung:

- Für welche Teile/Module gibt es eine hohe Nachfrage?
- Welche Teile/Module haben eine längere Nutzungsdauer als das Gesamtprodukt?
- Welche Teile/Module enthalten wertvolle Materialien?
- Welche Teile/Module stören eine Wiederverwendung?

Upgrade:

- Welche Teile sind für ein Upgrade prädestiniert? Welche Produkte werden häufig upgedegrad?
- Wie einfach ist ein Upgrade zu realisieren?

Bewertung der drei Kategorien über

- die Demontage der beschädigten Teile: Wie viele Demontageschritte sind notwendig? Welche Verbindungselemente müssen gelöst werden? Welche Werkzeuge werden gebraucht? In welcher Arbeitsumgebung kann eine Reparatur stattfinden? Können Laien reparieren oder sind Experten notwendig? etc.
- die Informationslage der Teile (Support): Diagnose-Support und -Schnittstellen, Verfügbarkeit von Ersatzteilen, Arten und Verfügbarkeit von Informationen und Rückgabemodellen für die Reparatur

Fragen zur Bewertung der **Recyclingfähigkeit und Verwertung** des Referenzproduktes (DIN EN 45555):

Schadstoffe und belastete Komponenten:

- Welche toxischen Materialien/welche schadstoffbelasteten Komponenten kommen vor?
- Müssen diese selektiv behandelt werden? Wenn ja, wie?
- Wie hoch ist die Konzentration der Schadstoffe?
- Wie sind die Schadstoffe verteilt? (konzentriert und dadurch mechanisch abtrennbar oder verteilt im Produkt)
- Wie gut können Schadstoffe entfrachtet werden? Verbindungstechnik, Schritte zur Demontage, Trennbarkeit (mech. oder durch Recyclingprozesse)
- Gibt es Materialien, die eine Recyclingfähigkeit des Produktes mindern? (z.B. Additive in Kunststoffen)
- Wie gut sind Materialien (regulierten Stoffe, Gemische und Bestandteile) identifizierbar? (Kennzeichnung)

Berechnung der Recyclingfähigkeit des Produktes nach DIN EN 45555 nach EoL- Behandlungsszenarien bzw. der vereinfachten Methode.

Grobe Checkliste für die Produktanalyse:

	<i>Nutzungsdauer</i>
	Wie lang ist die Nutzungsdauer des Produktes? Ist diese angemessen?
	Sind Aufarbeitungsprozesse ausreichend in das Produkt integriert? (Reinigung, Prüfung, etc.)
	<i>Reparatur</i>
	Gibt es Reparaturanweisungen?
	Gibt es Informationen zu Reparaturzentren?
	Sind Ersatzteile verfügbar?
	Gibt es Demontageanweisungen?
	Kann eine Demontage in angemessener Zeit durchgeführt werden?
	Ist eine Demontageabfolge klar?
	Sind alle zu reparierenden Bauteile gut zugänglich?
	Welche Verbindungsarten werden verwendet? Sind sie reparatur-freundlich?
	Wie einfach kann die Funktionsfähigkeit des Produkts wieder hergestellt werden?
	Ist ein Austausch der Bauteile einfach möglich?
	<i>Upgrade</i>
	Gibt es Informationen zum Upgradepotential bestimmter Bauteile?
	Gibt es Upgradeanweisungen?
	<i>Materialien</i>
	Gibt es Informationen zu kritischen oder gefährlichen Materialien? Wie hoch ist die Menge an Critical Raw Materials (CRM) in Masse oder % Massenanteil?
	Wo befinden sich die CRM (konzentriert/verteilt)?
	Gibt es Materialien, die das Recycling stören? (Degradierung des Rezyklats, Störstoffe, etc.)
	Wie hoch ist der Anteil an recycelten Materialien in % Massenanteil?
	<i>Wiederverwendung</i>
	Wie hoch ist der Anteil an Komponenten die wiederverwendet werden können in % Massenanteil oder % zu der Gesamtzahl?
	<i>Recyclingfähigkeit- oder Wiederverwertbarkeit</i>
	Recyclingfähigkeits- oder Wiederverwertbarkeitsrate in % Massenanteil?
	Können Materialien über die bekannten Prozesse aufbereitet werden?
	Wie hoch ist die Qualität des Rezyklats?
	Wie hoch ist die Materialvielfalt?
	Können alle Materialien identifiziert werden?
	<i>Rentabilitätsbetrachtung</i>
	Für welche Materialien rentiert sich das Recycling?
	Für welche Komponenten ist es wirtschaftlich sie wiederzuverwenden?

Grobe Checkliste für die Produktumgestaltung:

	<i>Nutzungsdauer</i>
	<i>Wie kann eine Produktlebensdauer verlängert werden?</i>
	<i>Reparatur</i>
	<i>Wie kann eine Reparatur vereinfacht werden?</i>
	<i>Upgrade</i>
	<i>Was wäre ein Upgrade-Potential?</i>
	<i>Materialien</i>
	<i>Wie kann der Anteil an kritischen Materialien verringert werden?</i>
	<i>Wie kann der Anteil an Rezyklaten erhöht werden?</i>
	<i>Wiederverwendung</i>
	<i>Welche Komponenten können wie wiederverwendet werden?</i>
	<i>Recyclingfähigkeit- oder Wiederverwertbarkeit</i>
	<i>Wie kann die Recyclingfähigkeit bzw. Wiederverwertbarkeit von Materialien erhöht werden?</i>

Literaturhinweise:

DIN EN 45555:2019 Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte; Deutsche Fassung

White Paper: Beispielanwendung DIN EN 45555: [Environmental-benefits-recycling_White-paper_clean.pdf \(maki-consulting.com\)](#)

DIN EN 4554: 2020 Allgemeine Verfahren zur Bewertung der Reparier-, Wiederverwend- und Upgradebarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte; Deutsche Fassung

VDI 2343 Blatt 1: 2023 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Grundlagen und Begriffe, Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 2: 2010 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Logistik, Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 3: 2009 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Demontage, Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 4: 2012 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Aufbereitung, Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 5: 2014 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Stoffliche und energetische Verwertung und Beseitigung, Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 6: 2020 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Vermarktung, Beuth Verlag

VDI 2343 Blatt 7: 2014 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte Re Use, Beuth Verlag

VDI 2243: 2002 Recyclingorientierte Produktentwicklung, Beuth Verlag

Martens H., Goldmann, D. (2016) Recyclingtechnik Fachbuch für Lehre und Praxis; Springer Verlag, 2016 (online verfügbar)

Niessner, N. 2022: Recycling of Plastics, Hanser Verlag

VDI ZRE KA_33 (2023) Ressourceneffizienz_durch_Recyclingtechnologien, VDI Technologiezentrum GmbH

TU DELFT Design for Sustainability-A-Step-by-Step-Approach ISBN: 92-807-2711-7

Ecolizer 2.0 LCA tables (like Okala but ReCiPe):

<https://venturewell.org/wp-content/uploads/Ecolizer-2.0-LCA-tables-printable.pdf>

Datenbanken zur Normenrecherche:

<https://www.normenbibliothek.de>

[Nautos](#)

Weiterführende Literatur, Normen und Richtlinien:

DIN EN 45552, Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Funktionsbeständigkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte.

DIN EN 45558, Allgemeines Verfahren zur Deklaration der Verwendung kritischer Rohstoffe in energieverbrauchsrelevanten Produkten

DIN EN 45559:2019, Verfahren zur Bereitstellung von Informationen über Materialeffizienzaspekte energieverbrauchsrelevanter Produkte

DIN EN ISO 11469: Kunststoffe – Sortenspezifische Identifizierung und Kennzeichnung von Kunststoff-Formteilen (ISO 11469:2016)

EPEAT-Methode

Fachbuch Walcher Kreislaufwirtschaft in Design und Produktmanagement

Gliederung der Ausarbeitung (Teil CE)

1. Analyse und Bewertung der Kreislauffähigkeit eines Referenzproduktes
 - 1.1 Produktstruktur und Komponentenliste
 - 1.2 Materialienliste inkl. Gewichtsanteile
 - 1.3 Bewertung der Wiederverwendbarkeit von Komponenten und Modulen
 - 1.4 Bewertung der Potentiale des Upcycling
 - 1.5 Bewertung der Recyclingfähigkeit/Verwertbarkeit
 - 1.6 Wirtschaftlichkeit für Komponenten und Materialien.

2. CE-Konzept
 - 2.1 Konstruktionsmerkmale zur Verwendung und Verwertung
 - 2.2 Konzept zur Verbesserung CE
 - 2.3 Evaluation und Reflexion des Konzepts