

# NPE: BEWERTUNGS- VERFAHREN

Prof. Dr.-Ing. Diana Völz

Frankfurt University of Applied Sciences

## Haftungsausschluss

- Die Vorlesungs- und Übungsunterlagen sind ausschließlich für den Gebrauch in meinen Lehrveranstaltungen bestimmt!
- Die Weitergabe der Unterlagen an Dritte, ihre Vervielfältigung oder Verwendung auch von Auszügen davon in anderen elektronischen oder gedruckten Publikationen ist nicht gestattet.
- Für eventuell enthaltene Fehler wird keine Haftung übernommen!

# Agenda

- Verfahren zur Bewertung der Reparierbarkeit, der Wiederverwendung und des Upgradings DIN EN 45554
- Verfahren zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit nach DIN EN 45555

# ECO-Design Approach

## 1. Choose a Reference Product



## 2. Search for Eco-Design alternatives on this product

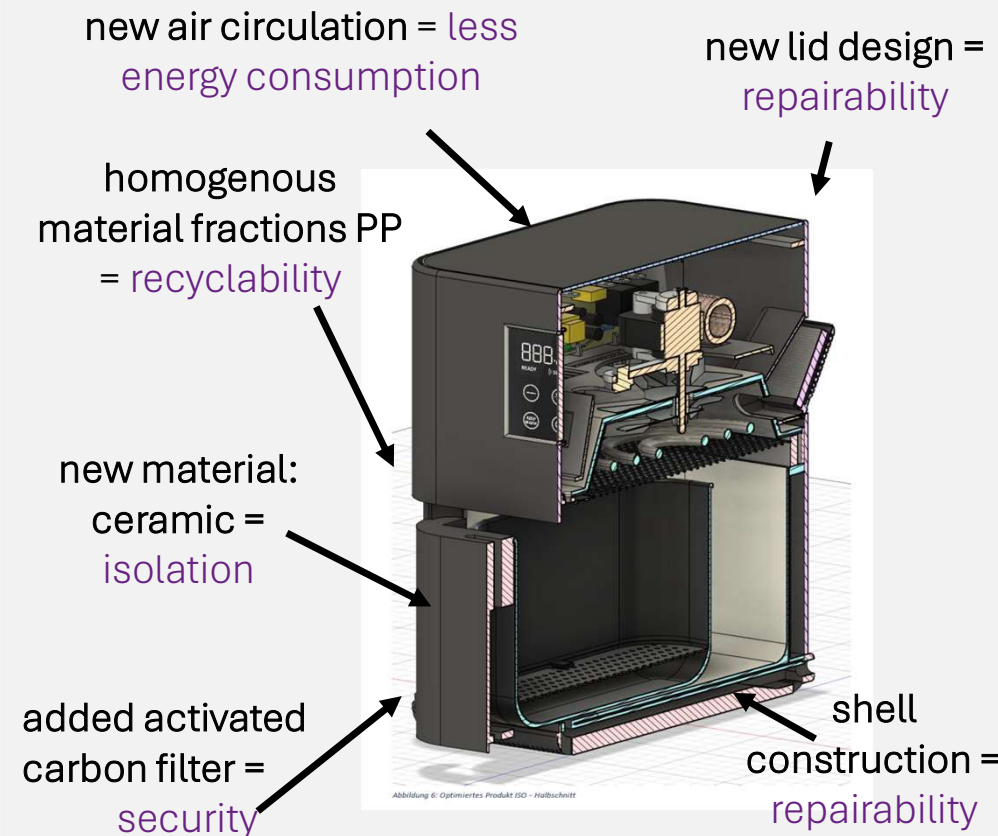
Reduce weight, local production, optimized design...

## 3. Set up best practices to replicate on the whole portfolio

in accordance to

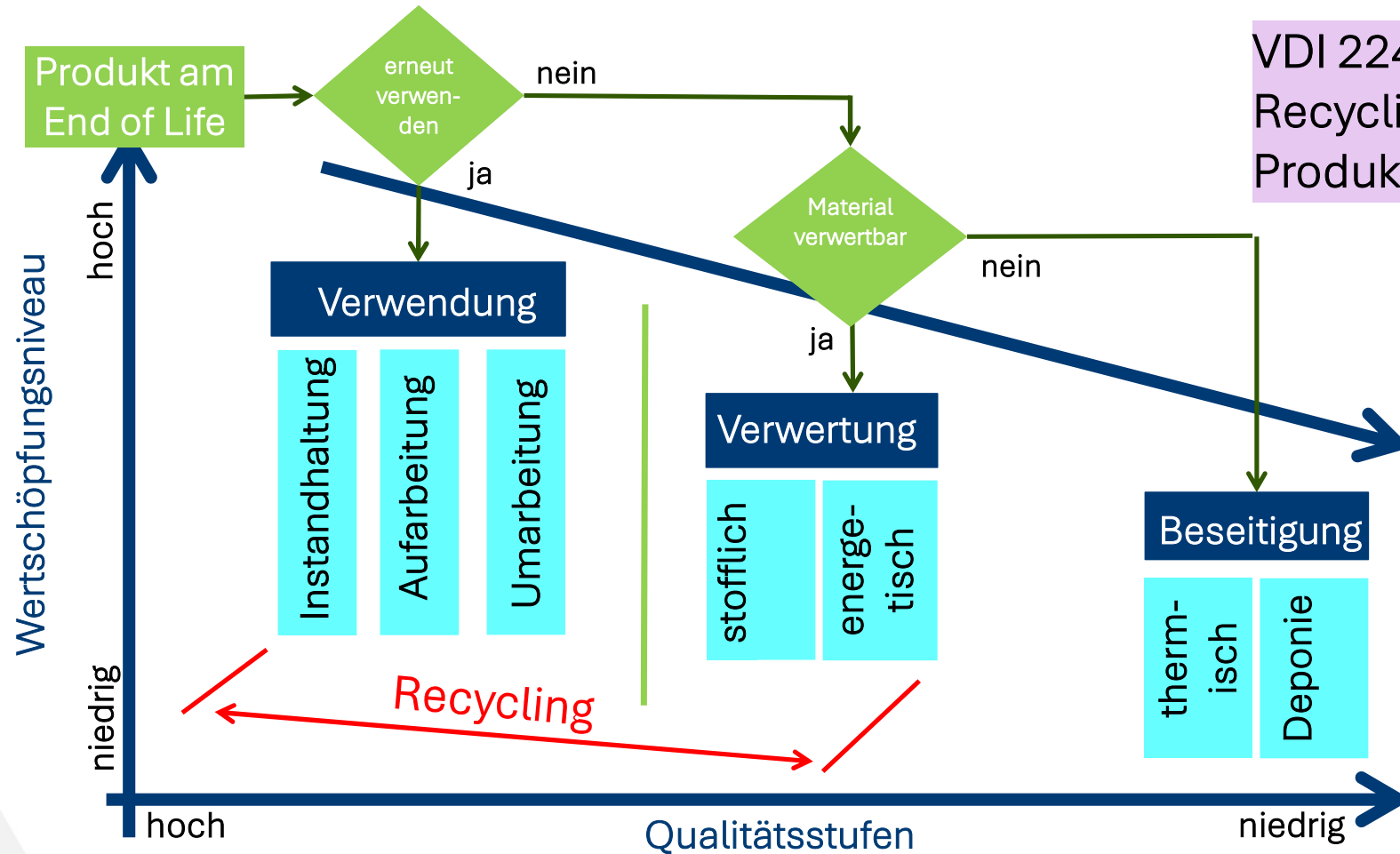


Lindner A., Buhl N., Schwarz D., Salemons N., Ly L., Reich M., Lietzau P.: Air fryer – product documentation as part of the lecture course “Sustainability Product Development”, Frankfurt University of Applied Sciences (2024)



# Produkt- vs. Materialrecycling

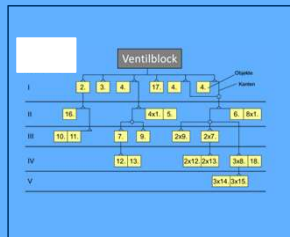
VDI 2243:  
Recyclingorientierte  
Produktentwicklung



# Demontageplanung /-ergebnis

Vorranggraph  
=> **Struktur**

AND/OR Graph  
=> **Abhängigkeiten**

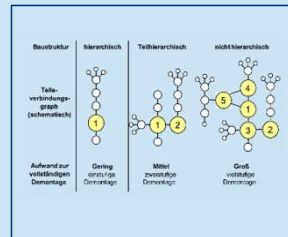


INPUT FÜR  
PRODUKTREVISION

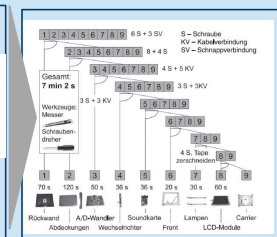
Analyse Teilverbin-  
dungsgraph  
=> **Aufwand**

Automa-  
tisierungsgrad  
=> **Werkzeug**

Demontage-  
zeiten  
=> **Aufwand**



| Technik           | Demontagezeit | Werkzeug           |
|-------------------|---------------|--------------------|
| Schraubverbindung | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |
| Werkzeug          | mittel        | Werkzeug und Wippe |



KOSTENOPTIMIERUNG IM  
RECYCLING

Aus welchen  
Modulen  
(Funktions-  
trägern) setzt sich  
das Produkt  
zusammen

Ziel

Vorarbeit zur Bewertung von Recyclingfähigkeit und  
Reparierbarkeit sowie zur Rentabilitäts- bzw.  
Wirtschaftlichkeitsabschätzung

NPE: DIN EN 45554

# DIN EN 45554: Verfahren zur Bewertung der Reparier-, Wiederverwend- und Upgradebarkeit ErP



# Zielsetzung

Themen, die im vorstehenden Normungsauftrag behandelt werden, sind mit den folgenden Aspekten der Materialeffizienz verknüpft:

- a) **Verlängerung der Produktlebensdauer**;
- b) Möglichkeit, am Ende der Nutzungsdauer Komponenten von **Produkten wiederzuverwenden** oder Materialien zu recyceln;
- c) **Verwendung von wiederverwendeten Komponenten** und/oder **recycelten Materialien** in Produkten.

# Schritte zur Festlegung des Bewertungsverfahrens

- 1) Bestimmung der **vorrangigen Teile** für die Bewertung,
- 2) Identifikation von **Kriterien** und anwendbaren Kategorien, die **für die Bewertung** der einzelnen vorrangigen Teile relevant sind,
- 3) **Zuordnung einer Bewertungs-/Klassifizierungskennzahl** zu jeder anwendbaren Kategorie für jedes vorrangige Teil

Optional:

- 4) **Spezifizierung eines Berechnungsverfahrens** zur Zusammenfassung der Ergebnisse aus dem vorstehenden

# Liste vorrangiger Teile

- Erstellen einer vorrangigen Teileliste
  - Ein vorrangiges Teil wird bestimmt durch:
    - die Wahrscheinlichkeit der Notwendigkeit, das Teil zu ersetzen (**Reparatur**) oder ein **Upgrade** des Teils durchzuführen,
    - die Eignung des Teils für die **Wiederverwendung** und
    - die Funktionalität des Teils.
- 
- Die vorrangigen Teile müssen unbedingt in eine **Rangfolge** gebracht werden.
  - Mögliche Informationsquellen: Vorschriften; Produkthersteller; Teilehersteller; Reparatur- oder Wartungsorganisationen; Wiederverwendungsorganisationen; Verbraucherorganisationen; wissenschaftliche Literatur und Studienberichte.

# Liste vorrangiger Teile für die Reparatur

- enthält Teile mit einem hohen durchschnittlichen Vorkommen von Versagensfällen (z.B. Ausfallwahrscheinlichkeit\*), unbeabsichtigte Ausfälle und Ausfälle durch normalen Verschleiß.
- Daten zur Reparatur können ermittelt werden
  - über physikalischen Prüfungen,
  - statistischen Erhebungen und
  - Berechnungen sowie Felddaten.

\*zusätzliche Literatur DIN EN 45552, IEC 61123, EN 61124, EN 60605-6, EN 61649, EN 62506, EN 62429

# Liste vorrangiger Teile für eine Wiederverwendung

enthält Teile,

- die aufgrund der hohen Nachfrage wiederverwendet würden und/oder
- die zukünftig von Interesse sind, weil sie eine längere Nutzungsdauer als das Gesamtprodukt haben.

# Liste vorrangiger Teile zwecks Upgrade

berücksichtigt:

- typische Upgradefunktionen und Upgradehäufigkeit;
- Beweggründe für einen Produktaustausch (z.B. zunehmende Ansprüche an die Leistungsfähigkeit oder die Funktionsfähigkeit).
- Optionen für ein Upgrade während der Reparatur (Austausch mit verbesserter Funktionalität oder Kapazität).

# Kriterien zur Bewertung der Reparatur

- Demontagetiefe
- Befestigungselemente und Verbindungsstücke
- Werkzeuge
- Arbeitsumgebung und
- Fähigkeitsniveau

$$S_{\text{depth},i} = \frac{(D_i - 1)}{(D_{\text{ref}} - 1)} \quad \text{wobei} \quad S_{\text{depth},i} = 0 \text{ für } D_i > D_{\text{ref}}$$

Dabei ist

$S_{\text{depth},i}$  die Kennzahl der Demontagetiefe für das vorrangige Teil i

$D_i$  die Tiefe für Teil i

$D_{\text{ref}}$  die Referenztiefe für die Produktgruppe, die auf der produktspezifischen Ebene festgelegt wird

**Tabelle A.1 — Klassifizierung von Arten von Befestigungselementen**

| Kategoriebeschreibung                  | Klasse |
|----------------------------------------|--------|
| wiederverwendbar                       | A      |
| entfernbar                             | B      |
| weder entfernbar noch wiederverwendbar | C      |

Klassifizierung durch Einsortieren in eine Klasse über eine Beschreibung in DIN EN 45554

# Kriterien zur Bewertung der Reparatur

- Demontagetiefe
- Befestigungselemente und Verbindungsstücke
- Werkzeuge
- Arbeitsumgebung und
- Fähigkeitsniveau

**Tabelle A.2 — Prozessklassifizierung nach benötigten Werkzeugen**

| Kategoriebeschreibung                                                                                                                                                                                                               | Klasse |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| durchführbar:<br>— ohne die Verwendung von Werkzeugen, oder<br>— mit einem Werkzeug oder Werkzeugsatz, das/der mit dem Produkt oder Ersatzteil geliefert wird, oder<br>— mit grundlegenden Werkzeugen, wie in Tabelle A.3 angegeben | A      |
| mit produktgruppenspezifischen Werkzeugen durchführbar                                                                                                                                                                              | B      |
| mit sonstigen handelsüblichen Werkzeugen durchführbar                                                                                                                                                                               | C      |
| mit proprietären Werkzeugen durchführbar                                                                                                                                                                                            | D      |
| mit keinem bestehenden Werkzeug durchführbar                                                                                                                                                                                        | E      |

**Tabelle A.4 — Klassifizierung der Arbeitsumgebung**

| Kategoriebeschreibung           | Klasse |
|---------------------------------|--------|
| Einsatzumgebung                 | A      |
| Werkstattumgebung               | B      |
| produktionsäquivalente Umgebung | C      |

# Kriterien zur Bewertung der Reparatur

- Demontagetiefe
- Befestigungselemente und Verbindungsstücke
- Werkzeuge
- Arbeitsumgebung und
- Fähigkeitsniveau

**Tabelle A.5 — Klassifizierung des Fähigkeitsniveaus**

| Kategoriebeschreibung                         | Klasse |
|-----------------------------------------------|--------|
| Laie                                          | A      |
| Generalist                                    | B      |
| Experte                                       | C      |
| Hersteller oder anerkannter Experte           | D      |
| mit keiner bestehenden Fähigkeit durchführbar | E      |

# Kriterien für die Bewertung der Wiederverwendbarkeit & Upgrade

## Upgrade:

- kann sich sowohl auf ein Teil als auch auf ein Produkt beziehen
- Motivation: verbesserte Funktionalität, Leistung, Kapazität oder Ästhetik
- Sowohl Wiederverwendbarkeit als ein Upgrade hängen stark von der Reparatur und des Upgrades ab (siehe Kriterien Reparatur).

# Kriterien für den Support

- Diagnose-Support und – Schnittstellen
- Verfügbarkeit von Ersatzteilen
- Arten und Verfügbarkeit von Informationen
- Rückgabemodelle für die Reparatur

**Tabelle A.6 — Prozessklassifizierung nach Diagnose-Support und -Schnittstellen**

| Kategoriebeschreibung                                   | Klasse |
|---------------------------------------------------------|--------|
| intuitive Schnittstelle                                 | A      |
| codierte Schnittstelle mit öffentlicher Referenztabelle | B      |
| öffentlich verfügbare Hardware-/Softwareschnittstelle   | C      |
| proprietäre Schnittstelle                               | D      |
| mit keiner Schnittstellenart möglich                    | E      |

Einige dieser Kriterien sind auch für Wiederverwendung und Upgrade relevant.

# Kriterien für den Support

- Diagnose-Support und – Schnittstellen
- Verfügbarkeit von Ersatzteilen
- Arten und Verfügbarkeit von Informationen und
- Rückgabemodelle für die Reparatur

Einige dieser Kriterien sind auch für Wiederverwendung und Upgrade relevant.

| Kategoriebeschreibung                                             | Klasse |
|-------------------------------------------------------------------|--------|
| öffentlich verfügbar                                              | A      |
| für unabhängige Reparaturdienstleister verfügbar                  | B      |
| für von Herstellern autorisierte Reparaturdienstleister verfügbar | C      |
| nur für den Hersteller verfügbar                                  | D      |
| keine Ersatzteile verfügbar                                       | E      |

**Tabelle A.10 — Klassifizierung der Verfügbarkeit von Informationen nach Umfang**

| Kategorie                            | Klasse |
|--------------------------------------|--------|
| umfassende Informationen verfügbar   | A      |
| grundlegende Informationen verfügbar | B      |
| keine Informationen verfügbar        | C      |

# Kriterien für den Support

- Diagnose-Support und – Schnittstellen
- Verfügbarkeit von Ersatzteilen
- Arten und Verfügbarkeit von Informationen und
- Rückgabemodelle für die Reparatur

Einige dieser Kriterien sind auch für Wiederverwendung und Upgrade relevant.

**Tabelle A.12 — Klassifizierung von Rückgabeoptionen**

| Kategorie                     | Klasse |
|-------------------------------|--------|
| umfassende Rückgabeoptionen   | A      |
| grundlegende Rückgabeoptionen | B      |
| keine Rückgabeoptionen        | C      |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

- **Ziel:** Bewertung der Reparierbarkeit eines Produkts anhand der gewählten Parameter  $j$ : z.B. Demontagetiefe, Befestigungselemente, notwendige Werkzeuge, Verfügbarkeit von Ersatzteilen und Reparaturinformationen.
- **Voraussetzung:** Liste der vorrangigen Teile des Produkts (Modul-/Funktionsträgerliste)  $i = 1, \dots, n$  die für die Reparatur relevant sind.

| PART LEVEL |    | Disassembly depth (PER PART)                           | Dynamic Weighting factor | Choice                 | Points | Score |
|------------|----|--------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|--------|-------|
| LEVEL 1    | 1a | Display assembly (if multiple, consider deepest)       | 30%                      | $5 \geq x > 2$ steps   | 4      | 1,2   |
|            | 1b | Battery (if multiple, consider deepest)                | 30%                      | $15 \geq x > 10$ steps | 2      | 0,6   |
| LEVEL 2    | 2  | back cover or its assembly                             | 10%                      | $10 \geq x > 5$ steps  | 3      | 0,3   |
| LEVEL 3    | 3  | front-facing camera assembly                           | 5%                       | $5 \geq x > 2$ steps   | 4      | 0,2   |
|            | 3  | rear-facing camera assembly                            | 5%                       | $x \leq 2$ steps       | 5      | 0,25  |
|            | 3  | external charging ports                                | 5%                       | $10 \geq x > 5$ steps  | 3      | 0,15  |
|            | 3  | mechanical buttons                                     | 5%                       | $10 \geq x > 5$ steps  | 3      | 0,15  |
|            | 3  | microphone                                             | 5%                       | $10 \geq x > 5$ steps  | 3      | 0,15  |
|            | 3  | speaker(s)                                             | 5%                       | $15 \geq x > 10$ steps | 2      | 0,1   |
| LEVEL 4    | 4  | hinge assembly or mechanical display folding mechanism | 0%                       | select number of steps | 0      | 0     |
|            |    | TOTAL DISASSEMBLY DEPTH                                |                          |                        |        | 3,1   |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Vorbereitung: Bewertungskriterien auswählen und Informationen beschaffen

**Schritt 1:** relevante Kriterien aus DIN EN 45554 auswählen

**Schritt 2:** für jedes Bauteil  $i$  bestimmen:

- **Demontagetiefe:** Anzahl der Schritte, um das Bauteil zu demontieren.
- **Art der genutzten Befestigungselemente:** Typ der Befestigungselemente, die zur Montage und Demontage des Bauteils verwendet werden.
- **Notwendige Werkzeuge:** Werkzeuge, die für die Demontage des Bauteils benötigt werden.
- ...

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Vorbereitung: Bewertungsparameter

**Schritt 2:** recherchieren für das gesamte Produkt:

- **Verfügbarkeit von Ersatzteilen:** Ermitteln, ob und wie Ersatzteile für Endanwender und Fachpersonal verfügbar sind.
- **Verfügbarkeit von Reparaturinformationen:** ermitteln, ob Reparaturanleitungen o.ä. öffentlich zugänglich sind, oder ob für den Zugang Kosten anfallen.
- ...

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Gewichtung der Teile zur Berechnung der Teile-Scores

Gewichtungsfaktoren  $\omega_{1,i}$ ,  $\omega_{2,i}$  und  $\omega_{3,i}$  für Bauteile  $i$  hinsichtlich der funktionellen Relevanz und der Ausfallwahrscheinlichkeit bestimmen:

|                          |        | Ausfallwahrscheinlichkeit |        |      |
|--------------------------|--------|---------------------------|--------|------|
|                          |        | Klein                     | Mittel | Hoch |
| Funktionelle<br>Relevanz | Klein  |                           |        | 5%   |
|                          | Mittel |                           | 5%     | 10%  |
|                          | Hoch   | 5%                        | 20%    | 30%  |
|                          |        |                           |        |      |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Gewichtung der Teile zur Berechnung der Teile-Scores

Gewichtungsfaktoren  $\omega_{1,i}$ ,  $\omega_{2,i}$  und  $\omega_{3,i}$  für Bauteile  $i$  hinsichtlich der funktionellen Relevanz und der Ausfallwahrscheinlichkeit eintragen:

$\omega_{2,i}$

| PART LEVEL      |    | Fasteners (type) (PER PART)                            | Dynamic Weighting factor | Choice                  | Points | Score |
|-----------------|----|--------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|-------|
| LEVEL 1         | 1a | Display assembly (if multiple, consider worst)         | 30%                      | Removable               | 1      | 0,3   |
|                 | 1b | Battery (if multiple, consider worst)                  | 30%                      | Reusable                | 5      | 1,5   |
| LEVEL 2         | 2  | back cover or its assembly                             | 10%                      | Reusable                | 5      | 0,5   |
| LEVEL 3         | 3  | front-facing camera assembly                           | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05  |
|                 | 3  | rear-facing camera assembly                            | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05  |
|                 | 3  | external charging ports                                | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05  |
|                 | 3  | mechanical buttons                                     | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05  |
|                 | 3  | microphone                                             | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05  |
|                 | 3  | speaker(s)                                             | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05  |
| LEVEL 4         | 4  | hinge assembly or mechanical display folding mechanism | 0%                       | select type of fastener | 0      | 0     |
| TOTAL FASTENERS |    |                                                        |                          |                         |        | 2,6   |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Bewertung der Kriterien (Teileebene)

Punkte für die einzelnen Parameter entsprechend folgender Skalen vergeben. Beispiele:

- Score für Demontagetiefe  $s_{depth,i}$ :  $S_{1,i}$

$$s_{depth,i} \leq 2steps = 5 pt$$

$$5 \geq s_{depth,i} > 2steps = 4 pt$$

$$10 \geq s_{depth,i} > 5steps = 3 pt$$

$$15 \geq s_{depth,i} > 10steps = 2 pt$$

$$s_{depth,i} > 15steps = 1 pt$$

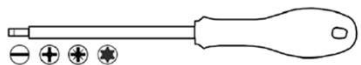
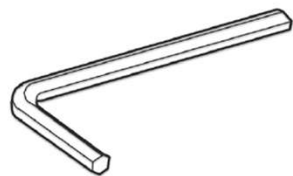
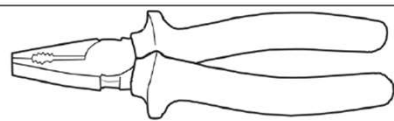
**Tipp:**  
Skala 1 –  
5 Punkte  
nutzen

| PART LEVEL              | Disassembly depth (PER PART)                             | Dynamic Weighting factor | $s_{depth,i}$ Choice   | $S_{1,i}$ Points | Score |
|-------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------|-------|
| LEVEL 1                 | 1a Display assembly (if multiple, consider deepest)      | 30%                      | $5 \geq x > 2 steps$   | 4                | 1,2   |
|                         | 1b Battery (if multiple, consider deepest)               | 30%                      | $15 \geq x > 10 steps$ | 2                | 0,6   |
| LEVEL 2                 | 2 back cover or its assembly                             | 10%                      | $10 \geq x > 5 steps$  | 3                | 0,3   |
| LEVEL 3                 | 3 front-facing camera assembly                           | 5%                       | $5 \geq x > 2 steps$   | 4                | 0,2   |
|                         | 3 rear-facing camera assembly                            | 5%                       | $x \leq 2 steps$       | 5                | 0,25  |
|                         | 3 external charging ports                                | 5%                       | $10 \geq x > 5 steps$  | 3                | 0,15  |
|                         | 3 mechanical buttons                                     | 5%                       | $10 \geq x > 5 steps$  | 3                | 0,15  |
|                         | 3 microphone                                             | 5%                       | $10 \geq x > 5 steps$  | 3                | 0,15  |
|                         | 3 speaker(s)                                             | 5%                       | $15 \geq x > 10 steps$ | 2                | 0,1   |
| LEVEL 4                 | 4 hinge assembly or mechanical display folding mechanism | 0%                       | select number of steps | 0                | 0     |
| TOTAL DISASSEMBLY DEPTH |                                                          |                          |                        |                  | 3,1   |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Bewertung der Kriterien (Teileebene)

- **Score für Befestigungselemente (Art)  $S_{2,i}$ :**
  - Wiederverwendbare Befestigungselemente: 5 Punkte
  - Abnehmbare Befestigungselemente: 1 Punkt
- **Score für notwendige Werkzeuge (Art)  $S_{3,i}$ :**
  - Keine Werkzeuge erforderlich: 5 Punkte
  - Grundlegende Werkzeuge (nach DIN EN 45554, S. 18 ff.): 4 Punkte
  - Werkzeuge, die mit dem Ersatzteil geliefert werden: 3 Punkte
  - Werkzeuge, die mit dem Produkt geliefert werden: 2 Punkte
  - Spezielle Werkzeuge erforderlich: 1 Punkt

| Werkzeugtyp                                                                         | Abbildung (informatives Beispiel)                                                   | Norm-<br>nummer                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| Schraubendreher für Schrauben mit Schlitz, mit Kreuzschlitz oder mit Innensechsrund |  | ISO 2380,<br>ISO 8764,<br>ISO 10664 |
| Winkelschraubendreher für Schrauben mit Innensechskant                              |  | ISO 2936                            |
| Ringgabelschlüssel                                                                  |  | ISO 7738                            |
| Kombinationszange                                                                   |  | ISO 5746                            |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Berechnung des gewichteten Scores auf Kriterienebene

- Demontagetiefe  $S_1 = \sum_{i=1}^n S_{1,i} \cdot \omega_{1,i}$
- Befestigungselemente (Art)  $S_2 = \sum_{i=1}^n S_{2,i} \cdot \omega_{2,i}$
- Werkzeuge (Art)  $S_3 = \sum_{i=1}^n S_{3,i} \cdot \omega_{3,i}$

| PART LEVEL      |    | Fasteners (type) (PER PART)                            | Dynamic Weighting factor | Choice                  | Points | Score     |
|-----------------|----|--------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------|-----------|
| LEVEL 1         | 1a | Display assembly (if multiple, consider worst)         | $\omega_{2,i}$ 30%       | Removable               | 1      | 0,3       |
|                 | 1b | Battery (if multiple, consider worst)                  | 30%                      | Reusable                | 5      | 1,5       |
| LEVEL 2         | 2  | back cover or its assembly                             | 10%                      | Reusable                | 5      | 0,5       |
| LEVEL 3         | 3  | front-facing camera assembly                           | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05      |
|                 | 3  | rear-facing camera assembly                            | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05      |
|                 | 3  | external charging ports                                | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05      |
|                 | 3  | mechanical buttons                                     | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05      |
|                 | 3  | microphone                                             | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05      |
|                 | 3  | speaker(s)                                             | 5%                       | Removable               | 1      | 0,05      |
| LEVEL 4         | 4  | hinge assembly or mechanical display folding mechanism | 0%                       | select type of fastener | 0      | 0         |
| TOTAL FASTENERS |    |                                                        |                          |                         |        | $S_2$ 2,6 |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Gewichtung der Bewertungsparameter bestimmen

Beispiel: Für die Berechnung der Gesamtreparaturfähigkeit  $R$  eines Smartphones werden die folgenden Gewichtungsfaktoren  $W_j$  angewendet:

- Demontagetiefe:  $W_1 = 28\%$
- Befestigungselemente:  $W_2 = 18\%$
- Werkzeuge:  $W_3 = 18\%$
- Verfügbarkeit von Ersatzteilen:  $W_4 = 18\%$
- Verfügbarkeit von Reparaturinformationen:  $W_5 = 18\%$

**Tipp:**  
Paarweiser Vergleich  
anwenden.

| PRODUCT PARAMETERS (PRODUCT) $W_j$ | Weighting factor | Choice                                 | Points | Score        |
|------------------------------------|------------------|----------------------------------------|--------|--------------|
| Spare part (target group)          | 18%              | DISPLAY + BATTERY                      | 2      | 0,36         |
| Software Updates (duration)        | 0%               | 5 yrs Security and 3 yrs Functionality | 1      | 0            |
| Repair Information for all parts   | 18%              | Profs at no cost                       | 3      | 0,54         |
| Disassembly depth (AGGREGATED)     | 28%              | SCORE TAKEN FROM G28                   | 3,1    | 0,868        |
| Fasteners (type) (AGGREGATED)      | 18%              | SCORE TAKEN FROM G43                   | 2,6    | 0,468        |
| Tools (type) (AGGREGATED)          | 18%              | SCORE TAKEN FROM G58                   | 2,75   | 0,495        |
| <b>TOTAL SCORE</b>                 |                  |                                        |        | <b>2,731</b> |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Beispiel: Bewertung der Kriterien (Produktebene)

- **Verfügbarkeit von Ersatzteilen  $S_4$  :**
  - Ersatzteile für alle vorrangigen Teile für Endanwender verfügbar: 5 Punkte
  - Ersatzteile für die meisten Teile für Endanwender verfügbar: 4 Punkte
  - Ersatzteile für einen begrenzten Anteil der Teile für Endanwender verfügbar: 3 Punkte
  - Keine Ersatzteile für Endanwender, aber für Fachpersonal verfügbar: 2 Punkte
  - Keine Ersatzteile für Endanwender oder Fachpersonal verfügbar: 1 Punkt

| PRODUCT PARAMETERS (PRODUCT)     | Weighting factor | Choice                                 | Points                    | Score        |
|----------------------------------|------------------|----------------------------------------|---------------------------|--------------|
| Spare part (target group)        | 18%              | DISPLAY + BATTERY                      | <b><math>S_4</math></b> 2 | 0,36         |
| Software Updates (duration)      | 0%               | 5 yrs Security and 3 yrs Functionality | 1                         | 0            |
| Repair Information for all parts | 18%              | Profs at no cost                       | 3                         | 0,54         |
| Disassembly depth (AGGREGATED)   | 28%              | SCORE TAKEN FROM G28                   | 3,1                       | 0,868        |
| Fasteners (type) (AGGREGATED)    | 18%              | SCORE TAKEN FROM G43                   | 2,6                       | 0,468        |
| Tools (type) (AGGREGATED)        | 18%              | SCORE TAKEN FROM G58                   | 2,75                      | 0,495        |
| <b>TOTAL SCORE</b>               |                  |                                        |                           | <b>2,731</b> |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Beispiel: Bewertung der Kriterien (Produktebene)

- Verfügbarkeit von Reparaturinformationen  $S_5$ :
  - Öffentlich und ohne Mehrkosten verfügbar: 5 Punkte
  - Ohne Mehrkosten für Reparaturserviceanbieter verfügbar: 3 Punkte
  - Mit geringen Kosten für Reparaturserviceanbieter verfügbar: 1 Punkt

| PRODUCT PARAMETERS (PRODUCT)     | Weighting factor | Choice                                 | Points | Score        |
|----------------------------------|------------------|----------------------------------------|--------|--------------|
| Spare part (target group)        | 18%              | DISPLAY + BATTERY                      | 2      | 0,36         |
| Software Updates (duration)      | 0%               | 5 yrs Security and 3 yrs Functionality | 1      | 0            |
| Repair Information for all parts | 18%              | Profs at no cost                       | 3      | 0,54         |
| Disassembly depth (AGGREGATED)   | 28%              | SCORE TAKEN FROM G28                   | 3,1    | 0,868        |
| Fasteners (type) (AGGREGATED)    | 18%              | SCORE TAKEN FROM G43                   | 2,6    | 0,468        |
| Tools (type) (AGGREGATED)        | 18%              | SCORE TAKEN FROM G58                   | 2,75   | 0,495        |
| <b>TOTAL SCORE</b>               |                  |                                        |        | <b>2,731</b> |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Berechnung Reparaturfähigkeitsindex $R$ (Gesamtscore)

$$R = \sum_{j=1}^5 S_j \cdot W_j$$

| PRODUCT PARAMETERS (PRODUCT)     | Weighting factor | Choice                                 | $S_j$ Points | Score                       |
|----------------------------------|------------------|----------------------------------------|--------------|-----------------------------|
| Spare part (target group)        | 18%              | DISPLAY + BATTERY                      | 2            | 0,36                        |
| Software Updates (duration)      | 0%               | 5 yrs Security and 3 yrs Functionality | 1            | 0                           |
| Repair Information for all parts | 18%              | Profs at no cost                       | 3            | 0,54                        |
| Disassembly depth (AGGREGATED)   | 28%              | SCORE TAKEN FROM G28                   | 3,1          | 0,868                       |
| Fasteners (type) (AGGREGATED)    | 18%              | SCORE TAKEN FROM G43                   | 2,6          | 0,468                       |
| Tools (type) (AGGREGATED)        | 18%              | SCORE TAKEN FROM G58                   | 2,75         | 0,495                       |
| <b>TOTAL SCORE</b>               |                  |                                        |              | <b><math>R</math> 2,731</b> |

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Auswertung und Interpretation

Auf Basis des Reparaturfähigkeitsindex  $R$  (bei einer genutzten Punkteskala von 1 – 5) kann nun anhand der folgenden Tabelle die Reparaturfähigkeit des Produkts beschrieben werden.

| Reparaturfähigkeits-<br>klasse | Reparaturfähigkeitsindex $R$ | Beschreibung                                |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|
| A                              | $R \geq 4,00$                | sehr gut, sehr reparaturfreundlich          |
| B                              | $4,00 > R \geq 3,35$         | gut, reparaturfreundlich                    |
| C                              | $3,35 > R \geq 2,55$         | befriedigend, teilweise reparaturfreundlich |
| D                              | $2,55 > R \geq 1,75$         | ausreichend, wenig reparaturfreundlich      |
| E                              | $1,75 > R \geq 1,00$         | nicht ausreichend, schwer reparierbar       |

# DIN EN 45555

## Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte ErP

# Inhalt DIN EN 45555

- Die Bewertung der **Recyclingfähigkeit** und **Verwertbarkeit** von energieverbrauchsrelevanten Produkten
- Dieses Dokument berücksichtigt ebenfalls:
  - die Fähigkeit, **wie** gewisse Komponenten, Baugruppen, Materialien oder Stoffe aus **Produkten zugänglich oder zu entfernen sind**, um ihre Entfernung am Ende der Nutzungsdauer für Behandlungs-, Recycling- und sonstige Verwertungsverfahren zu vereinfachen
  - die **Recyclingfähigkeit kritischer Rohstoffe** (en: Critical Raw Materials, CRMs).
- Auf der Grundlage eines Referenz-EoL-Behandlungsszenarios wird angenommen, dass die Bewertung der Recyclingfähigkeit/Verwertbarkeit eines ErPs als Ganzes für einen bestimmten Zeitraum in einem bestimmten geographischen Bereich gültig sein kann.

# Vorgehensweise

Die Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit eines ErP hängen von den folgenden Faktoren ab:

- den **Konstruktionsmerkmalen** des Produkts, wie seiner Struktur, Materialzusammensetzung, Größe und Masse.
- den **Techniken**, der **Kombination oder Abfolge von Techniken**, die verwendet werden, um einen gegebenen Abfallstrom zu recyceln oder wiederzuverwerten.

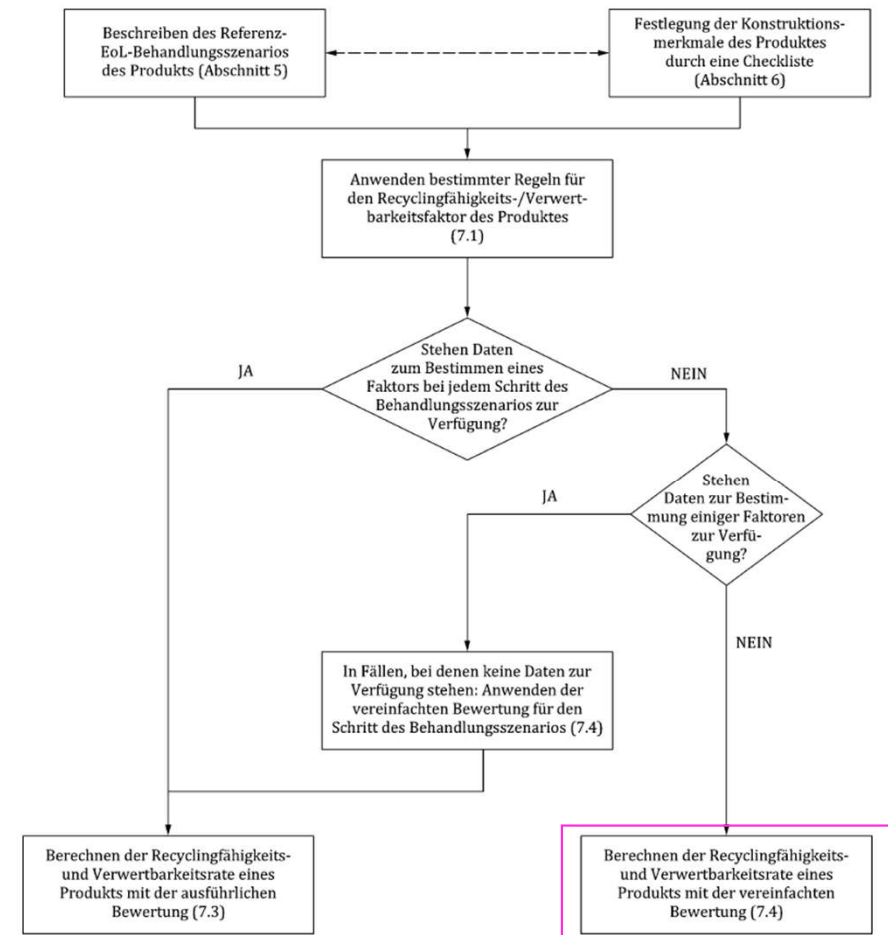


Bild 1 — Flussdiagramm zur Bewertung der Recyclingfähigkeit/Verwertbarkeit eines ErPs

# Referenz EoL Behandlungsszenario

- Verluste außerhalb des Referenz-EoL-Behandlungsszenarios, z. B. bei Sammlung, Lagerung, Transport, Vorbereitung für die Wiederverwendung oder Reinigung, werden nicht berücksichtigt.
- Es müssen die aktuellsten und am besten geeigneten Daten verwendet werden.

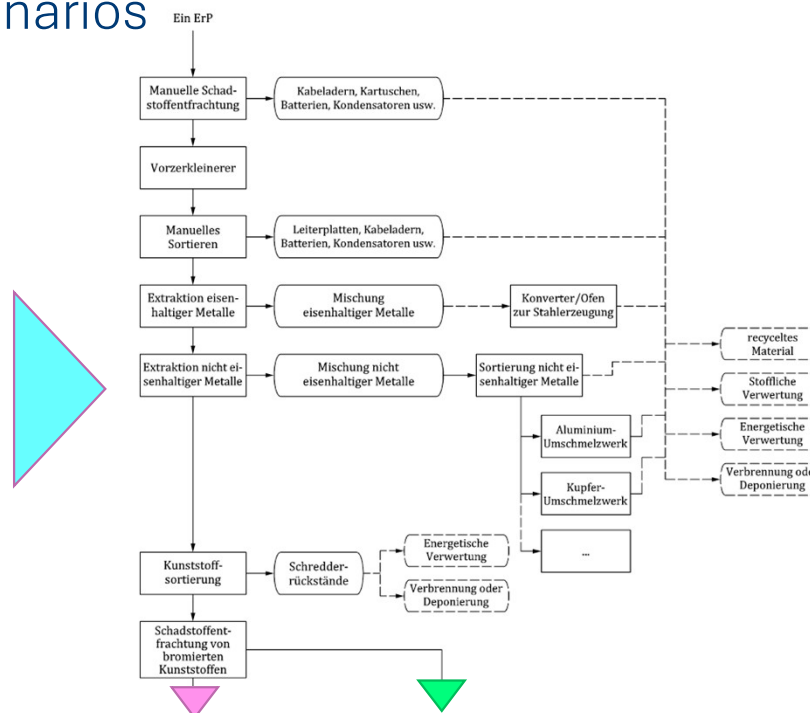
**Tabelle 1 — Repräsentativitätskriterien zur Bestimmung des Referenz-EoL-Behandlungsszenarios**

| Kriterien                         | Leitfäden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Produktbezogene Repräsentativität | Das Referenz-EoL-Behandlungsszenario muss für das untersuchte Produkt geeignet sein, insbesondere, wenn Behandlungstechnologien aufgrund von geltenden Vorschriften, Industriepraktiken, Sammelwegen (z.B. individuelle Sammlung oder kollektive Programme der Herstellerverantwortung) sowie Gesundheits-, Sicherheits- und Umweltaspekten produktspezifisch sind.                                                                                                                                                                                                                              |
| Technologische Repräsentativität  | Bei jedem Behandlungsschritt müssen die besten verfügbaren Behandlungstechnologien die Ausgangsbasis des Referenz-EoL-Behandlungsszenarios bilden. In der Erarbeitung befindliche Behandlungsprozesse können berücksichtigt und dokumentiert werden.<br><br>ANMERKUNG Das Referenz-EoL-Behandlungsszenario umfasst die besten verfügbaren Technologien, was bedeutet, dass die neuesten, aktuellsten Verfahren für jede Technologie einbezogen werden, vorausgesetzt, diese werden in der Industrie bereits eingesetzt und sind in einer aktuellen Betriebsumgebung wirtschaftlich realisierbar. |
| Zeitliche Repräsentativität       | Das Referenz-EoL-Behandlungsszenario muss so definiert sein, dass es so wenig wie möglich von kurzzeitigen Schwankungen in der Abfallzusammensetzung und den Recyclingstrategien beeinflusst wird, die keine grundlegenden Veränderungen in Recyclingfähigkeit/Verwertbarkeit der Produkte widerspiegeln.                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Geographische Repräsentativität   | Es müssen Daten verwendet werden, die für den geographischen Bereich (z. B. Länder der EU) relevant sind. Die Verwendung von Daten, die generiert wurden, indem aus einem Pool von Betreibern, die die Anforderungen der europäischen Behandlungsnormen erfüllen (z. B. im Fall von WEEE: Normenreihe EN 50625), diejenigen Betreiber ausgewählt wurden, welche die beste verfügbare Technologie repräsentieren, kann als für Europa repräsentativ angesehen werden.                                                                                                                             |

# Referenz EoL Behandlungsszenario

- Vereinfachte Behandlungsschritte eines beispielhaften Referenz-EoL-Behandlungsszenarios

Zusammensetzung  
der Abfallfraktion



Verfeinerung zur Berechnung der Recyclingfähigkeit bzw. Verwertbarkeit (dazu müsste man die „Effizienz der Behandlungsschritte“ kennen)

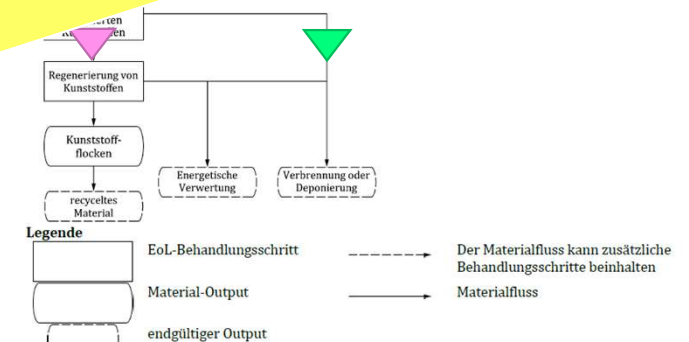


Bild 2 — Vereinfachte Behandlungsschritte eines beispielhaften Referenz-EoL-Behandlungsszenarios

# Konstruktionsbezogene Kriterien

Die **Recyclingfähigkeit und Verwertung** eines Materials/Komponente hängt stark von einer Schadstoff-Entfrachtung und selektiven Behandlung bestimmter Teile/Materialien ab.

► Bewertung der Identifizierung von regulierten Stoffen, Gemischen und Bestandteilen, die während der Schadstoffentfrachtung entfernt werden müssen.

Mögliche Kriterien:

- Vorkommen von CRM (Critical Raw Material) und dessen Verteilung und Konzentration
- Kennzeichnung von Materialien die für eine selektive Behandlung zu entfernen sind
- Fähigkeit für eine selektive Behandlung von Materialien und Komponenten: Verbindungstechnik, Schritte zur Demontage, Trennbarkeit (mech. oder durch Recyclingprozesse)
- Vorkommen von Materialien, die eine Recyclingfähigkeit mindern (z.B. Additive in Kunststoffen)

# Bewertung: Quantifizierung der Recyclingfähigkeit und Verwertbarkeit

Die Recyclingfähigkeitsrate  $R_{\text{cyc}}$  und die Verwertbarkeitsrate  $R_{\text{cov}}$  eines ErP müssen als Massenanteil in Prozent unter Anwendung der folgenden Gleichungen berechnet werden:

$$R_{\text{cyc}} = \frac{\sum_{k=1}^n (m_k \cdot R_{\text{cyc},k})}{m_{\text{tot}}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$$R_{\text{cov}} = \frac{\sum_{k=1}^n (m_k \cdot R_{\text{cov},k})}{m_{\text{tot}}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Dabei ist

- $R_{\text{cyc}}$  die Recyclingfähigkeitsrate des Produkts;
- $R_{\text{cov}}$  die Verwertbarkeitsrate des Produkts;
- $n$  die Anzahl der Teile/Materialien;
- $m_k$  die Masse des k-ten Teils/Materials;
- $R_{\text{cyc},k}$  der Recyclingfähigkeitsfaktor des k-ten Teils/Materials;
- $R_{\text{cov},k}$  der Verwertbarkeitsfaktor des k-ten Teils/Materials;
- $m_{\text{tot}}$  die Masse des gesamten Produkts.

**ANMERKUNG 1** Die Summe der Massen von Teilen/Materialien ist gleich der Gesamtmasse des Produkts.

Für die Berechnung der Recyclingfähigkeits-/Verwertbarkeitsraten eines ErPs ist es erforderlich, die Recyclingfähigkeits-/Verwertbarkeitsfaktoren aller seiner Teile/Materialien ( $R_{\text{cyc},k}$  und  $R_{\text{cov},k}$ ) zu bestimmen.

# Vorgehensweise zur Berechnung

- **Ziel:** Recyclingfähigkeitsfaktor des Produkts für dessen wiederverwertbare Werkstoffe eines Produkts berechnen.
- **Benötigte Daten:**
  - Aus Datensatz Produktion:
    - Masse  $m_k$  jedes einzelnen im Produkt verwendeten Werkstoffs in kg.
    - Werkstoffindikator  $WI_{k,Produktion}$  jedes Werkstoffs für die Produktion
  - Aus Datensatz Recycling & Entsorgung:
    - Werkstoffindikator  $WI_{k,Recycling}$  („Gutschrift“) jedes Werkstoffs für das Recycling



# Vorgehensweise zur Berechnung

**Schritt 1:** Berechnung der Gesamtmasse der recyclingfähigen Werkstoffe  $m_{tot}$

$$m_{tot} = \sum_{k=1}^n m_k$$

**Schritt 2:** Recyclingfähigkeitsrate laut Ecolizer 2.0 der einzelnen Werkstoffe berechnen:

$$R_{cyc,k} = \left| \frac{WI_{k,Produktion}}{WI_{k,Recycling}} \right|$$

**Schritt 3:** Recyclingfähigkeitsrate des Produkts berechnen

$$R_{cyc} = \frac{\sum_{k=1}^n (m_k \cdot R_{cyc,k})}{m_{tot}} \cdot 100\%$$

## Hinweis:

Nichttrennbare / nicht recycelbare Materialien oder Teile gehen mit  $R_{cyc,k} = 0$  in die Berechnung mit ein.

# Beispielberechnung

Recyclingfähigkeitsrate  $R_{cyc}$  eines Kunststoffstuhls berechnen.

Gegeben:

| # | Werkstoff             | $m_k$ [kg]        | $WI_{k,Produktion}$ | $WI_{k,Recycling}$ |
|---|-----------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | PP (Sitzfläche)       | 2                 | 276                 | -251               |
| 2 | Edelstahl (Rahmen)    | 3                 | 551                 | -475               |
| 3 | Edelstahl (Schrauben) | $4 * 0,01 = 0,04$ | 551                 | -475               |



**Schritt 1:** Berechnung der Gesamtmasse der recyclingfähigen Werkstoffe  $m_{tot}$

$$m_{tot} = 2kg + 3kg + 0,04kg = 5,04kg$$

# Beispielberechnung

**Schritt 2:** Recyclingfähigkeitsrate  $R_{cyc,k}$  laut Ecolizer 2.0 der einzelnen Werkstoffe berechnen:

$$R_{cyc,1} = \left| \frac{-251}{276} \right| = 0,91, R_{cyc,2} = 0,86, R_{cyc,3} = 0,86$$

**Schritt 3:** Recyclingfähigkeitsrate des Produkts berechnen

$$R_{cyc} = \frac{(2 \cdot 0,91) + (3,04 \cdot 0,86)}{5,04} \cdot 100\% = 88\%$$

**Interpretation:** Die Berechnung ergibt eine Recyclingfähigkeit des Produkts von 88% (Massenprozent).

# Thank you for your attention!

Frankfurt University  
of Applied Sciences  
Nibelungenplatz 1  
60318 Frankfurt am Main

voelz@fb2.fra-uas.de  
[www.frankfurt-university.de](http://www.frankfurt-university.de)