

# 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
- Wirtschaftlichkeitsbewertung nach VDI 2243
- Checklisten zur Bewertung VDI 2243

# ECO-Design Approach

## 1. Choose a Reference Product



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

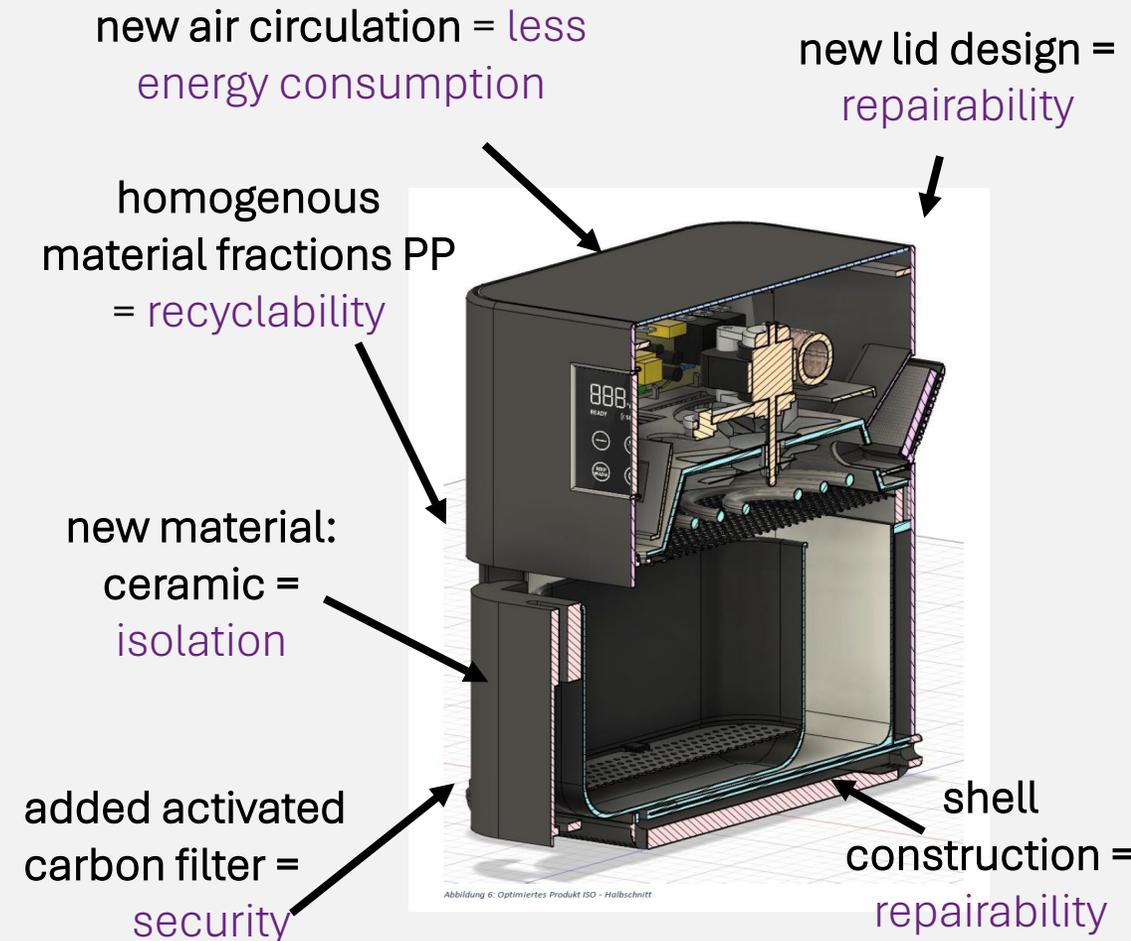
Reduce weight, local production, optimized design...

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

in accordance to

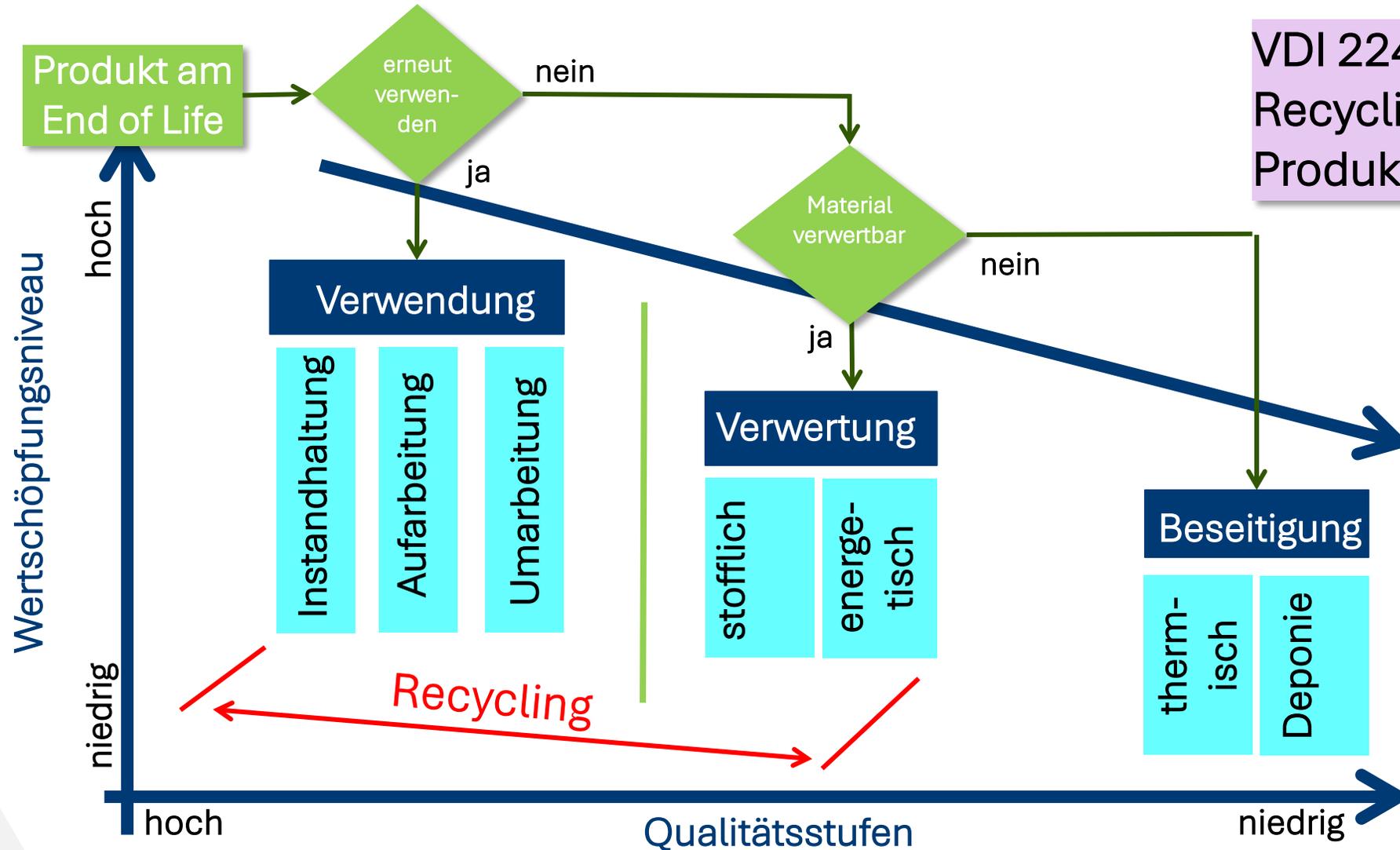


Lindner A., Buhl N., Schwarz D., Salemons N., Ly L., Reich M., Lietzau P.: Air fryer – product documentation as part of the lecture course “Sustainability Product Development”, Frankfurt University of Applied Sciences (2024)



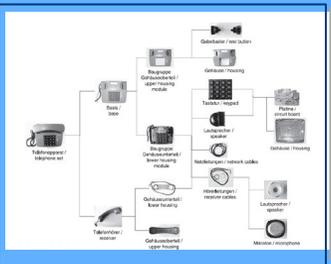
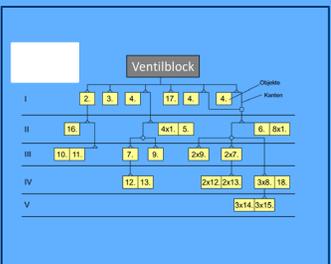
# Produkt- vs. Materialrecycling

VDI 2243:  
Recyclingorientierte  
Produktentwicklung



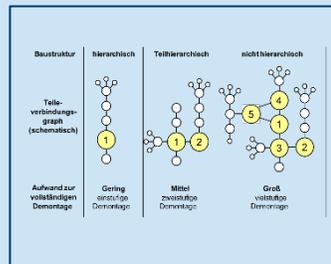
# Demontageplanung /-ergebnis

Vorranggraph => **Struktur**      AND/OR Graph => **Abhängigkeiten**

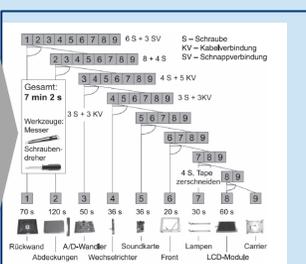



**INPUT FÜR  
PRODUKTREVISION**

Analyse Teilverbin-      Automa-      Demontage-  
dungsgraph      tisierungsgrad      zeiten  
=> **Aufwand**      => **Werkzeug**      => **Aufwand**



Verbindung	Demontagezeit	Mechanisierungsgrad	Werkzeuge
Schraubverbindung	bestimmte	manuell	Stein
		manuell mit Werkzeug	Steinbohrer und Flatsche, Ringbohrer, Schraubenzieher, Innensechskantbit, Gabelschraubendreher
mechanische Verbindung		mechanisch	Druckluftschrauber, Elektroschrauber
elektronische Verbindung		computergesteuert mechanische Verbindung	Werkzeuge
sonstige		manuell	Werkzeuge
		manuell mit Werkzeug	Zange, Meißel, Spitz-, Meißelspanner
mechanische Verbindung		mechanisch	Hammerbohrer, Bohrmaschine, Druckluftbohr-, Bohr- und Flatschnepper
elektronische Verbindung		computergesteuert mechanische Verbindung	Werkzeuge



**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: — ohne die Verwendung von Werkzeugen, oder — mit einem Werkzeug oder Werkzeugsatz, das/der mit dem Produkt oder Ersatzteil geliefert wird, oder — 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 Referenztafel	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
<b>TOTAL DISASSEMBLY DEPTH:</b>						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 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
<b>TOTAL FASTENERS</b>						<b>2,6</b>

$$\sum = 100\%$$

# Vorgehensweise zur Berechnung - Reparaturfähigkeit

## Bewertung der Kriterien (Teileebene)

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

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

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

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

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

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

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

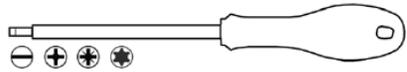
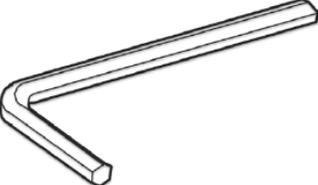
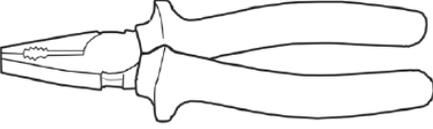
**Tipp:**   
Skala 1 –  
5 Punkte  
nutzen

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)	Normnummer
Schraubendreher für Schrauben mit Schlitz, mit Kreuzschlitz oder mit Innensechsrund		ISO 2380, ISO 8764, 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
- Befestigungselemente (Art)
- Werkzeuge (Art)

$$S_1 = \sum_{i=1}^n S_{1,i} \cdot \omega_{1,i}$$

$$S_2 = \sum_{i=1}^n S_{2,i} \cdot \omega_{2,i}$$

$$S_3 = \sum_{i=1}^n S_{3,i} \cdot \omega_{3,i}$$

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
LEVEL 4	4	hinge assembly or mechanical display folding mechanism	0%	select type of fastener	0	0
TOTAL FASTENERS						$S_2$ 2,6

$S_{2,i}$

# 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>

$$\sum = 100\%$$

# 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	$S_5$ 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.

Reparaturfähigkeitsklasse	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.

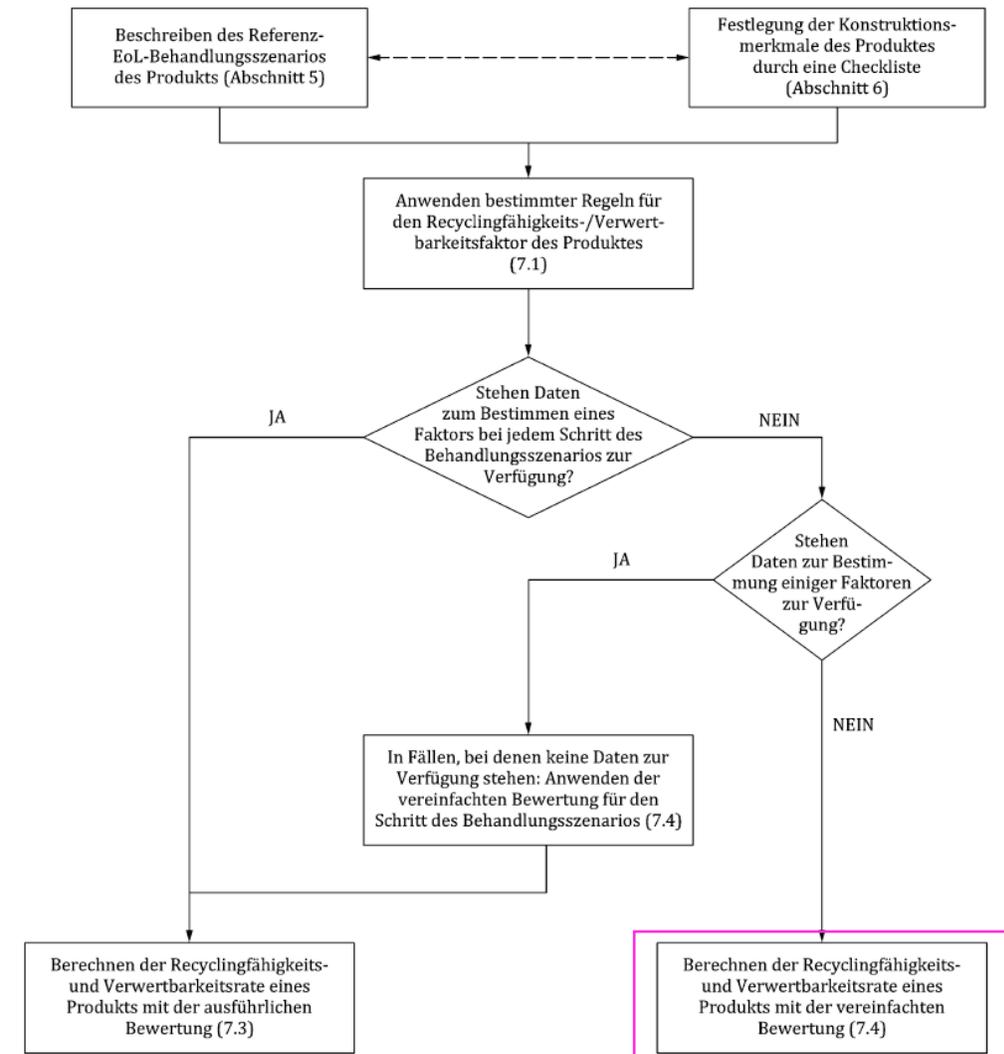


Bild 1 — Flussdiagramm zur Bewertung der Recyclingfähigkeit/Verwertbarkeit eines ErPs

# 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.

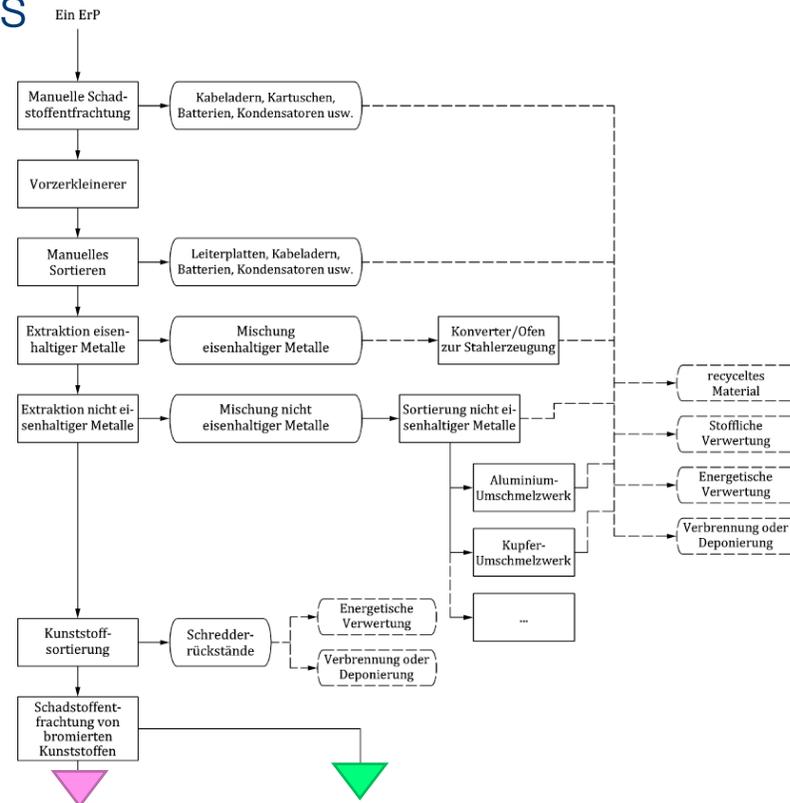
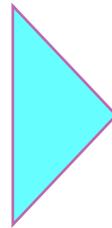
**Tabelle 1 — Repräsentativitätskriterien zur Bestimmung des Referenz-EoL-Behandlungsszenarios**

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.  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 (siehe VL Stoffkreisläufe)

- 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)

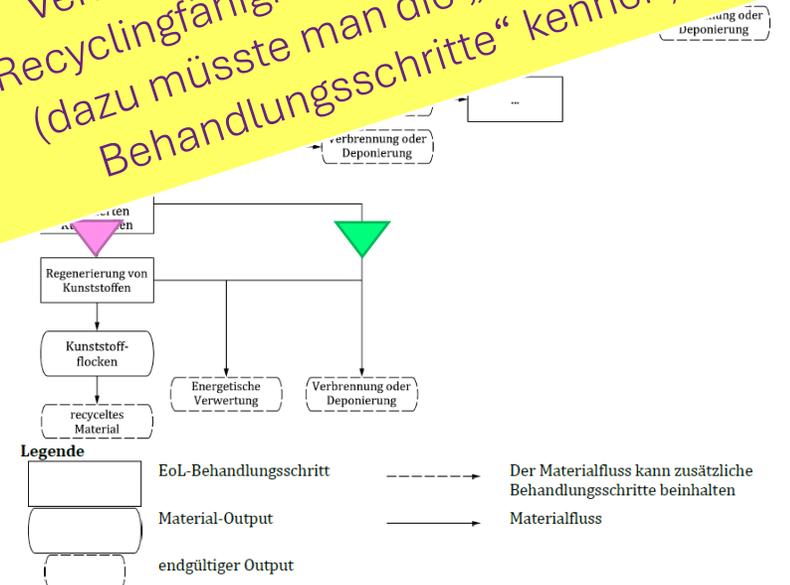


Bild 2 — Vereinfachte Behandlungsschritte eines beispielhaften Referenz-EoL-Behandlungsszenarios

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

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

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

Dabei ist

- $R_{cyc}$  die Recyclingfähigkeitsrate des Produkts;
- $R_{cov}$  die Verwertbarkeitsrate des Produkts;
- $n$  die Anzahl der Teile/Materialien;
- $m_k$  die Masse des k-ten Teils/Materials;
- $R_{cyc,k}$  der Recyclingfähigkeitsfaktor des k-ten Teils/Materials;
- $R_{cov,k}$  der Verwertbarkeitsfaktor des k-ten Teils/Materials;
- $m_{tot}$  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 ( $R_{cyc,k}$  und  $R_{cov,k}$ ) zu bestimmen.

**Hinweis:**  
Wiederverwendbare  
Teile aus der Berechnung  
herausnehmen

# 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  $m_{tot}$

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

# Hands on Sheet „Recyclingfähigkeit“

Recyclingfähigkeit eines Produkts berechnen							
Produkt	Kunststoffstuhl						
Ecolizer Example 2							
Data							
	Quantity in kg						
PP (seating chair)	2						
Stainless steel frame	3						
Stainless steel screws	0,04						
Total weight chair	5,04	Gesamtgewicht Produkt					
Recyclability							
Material	Quantity in kg	Indicator	Result	Recycling option / savings indicator	Material recyclability	Weightet recyclability =B14/B10*F14	Total recyclability
PP seating	2	276	552	-251	0,91		0,88
Stainless steel primary frame	3	551	1653	-475	0,86	0,51	
Stainless steel primary screws	0,04	551	22,04	-475	0,86	0,01	

Gewicht Material im Produkt  
bezogen auf Gesamtgewicht  
Produkt multipliziert mit  
Gewichtungsfaktor

Gewicht  
Material im  
Produkt

Faktor für  
Material-  
recycling

Summe der gewichtete  
Recyclingfähigkeit

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

Weightet recyclability	Total recyclability
0,36	=SUMME(G14:G16)
0,51	
0,01	

# Hands on Sheet „Recyclingfähigkeit“

Recyclingfähigkeit eines Produkts berechnen							
Produkt		Kunststoffstuhl					
Ecolizer Example 2							
Data							
	Quantity in kg						
PP (seating chair)	2						
Stainless steel frame	3						
Stainless steel screws	0,04						
Total weight chair	5,04						
Recyclability							
Material	Quantity in kg	Indicator	Result	Recycling option / savings indicator	Material recyclability	Weightet recyclability	Total recyclability
PP seating	2	276	552	-251	0,91	=B14/B10*F14	0,88
Stainless steel primary frame	3	551	1653	-475	0,86	0,51	
Stainless steel primary screws	0,04	551	22,04	-475	0,86	0,01	

kein Fertigungsprozess



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

← 251 (Production Indicator)  
← 276 (Recycling Indicator)

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

# Hands on Sheet „Recyclingfähigkeit“

Recyclability							
Material	Quantity in kg	Indicator	Result	Recycling option / savings indicator	Material recyclability	Weighted recyclability	Total recyclability
PP seating	2	276	552	-251	0,91	0,36	0,88
Stainless steel primary frame	3	551	1653	-475	0,86	0,51	
Stainless steel primary screws	0,04	551	22,04	-475	0,86	0,01	

PRODUCTION		mPt/kg
PP/kg		276
EPP/kg		dna

RECYCLING**		mPt/kg
Proces		25 (!)
Primary material saved		-276
Total		-251 (!)



# Unterschied Recyclingfähigkeit vx. Entsorgung und Recycling

Entsorgung und Recycling						
<b>Annahme:</b> Die einzelnen Komponenten wurden zu Materialgruppen zusammengefasst und dementsprechend dem Recycling- oder Abfallentsorgungsszenario zugeordnet. Außerdem wird angenommen, dass die Verpackungsmaterialien im Hausmüll entsorgt, und damit dem Abfallkreislauf hinzugefügt wurden.						
Kunststoffe						
Transport	Transportmittel	km einmalig pro Lebensdauer	Indikator pro km	Summe	Quelle	
	PKW		10	0,186	1,86	Van <3.5t/tkm
	LKW		50	0,015	0,75	Lorry >16t(Eur4)/tkm
				<b>Teilsumme</b>	<b>2,61</b>	
Material	Zustand	Menge in kg	Indikator	Ergebnis	Quelle	Anmerkung
ABS	spritzguss		0,086	45	3,87	Waste treatment scenario in the EU
Elastomer	spritzguss		0,0186	50	0,93	Waste treatment scenario in the EU
PA	spritzguss		0,0283	38	1,0754	Waste treatment scenario in the EU
PE	extrusion		0,0022	39	0,0858	Waste treatment scenario in the EU
PET	spritzguss		0,013	38	0,494	Waste treatment scenario in the EU
PP	spritzguss		0,982	36	35,352	Waste treatment scenario in the EU
	<b>Summe Kunststoffe</b>		<b>1.1301</b>		<b>41.8072</b>	

Hier wird im Ecolizer  
ein Recycling-  
zenariowert  
eingetragen



PP Polypropylene		03.08
PRODUCTION		mPt/kg
PP/kg		276
EPP/kg		dna
PROCESSING		mPt
Revolving, milling, drilling/cm <sup>3</sup>		0,01 (!)
Extrusion, plastic film/kg		49 (!)
Extrusion, plastic pipes/kg		36 (!)
Stretch blow moulding/kg		131 (!)
Hot element welding (30sec)/welding		2 (!)
Hot element welding (45min)/welding		155 (!)
Blow moulding/kg		123 (!)
Laser welding/m		0,46 (!)
Reaction injection moulding (RIM)/kg, large scale/kg		21 (!)
Rotation Forming/kg		106 (!)
Mirror-welding		dna
Injection moulding/kg		126 (!)
Ultrasonic welding (15kHz)/welding*		0,04 (!)
Ultrasonic welding (20kHz)/welding*		0,02 (!)
Ultrasonic welding (40kHz)/welding*		0,01 (!)
Vacuum forming/kg		16 (!)
RECYCLING**		mPt/kg
Proces		25 (!)
Primary material saved		-276
Total		-251 (!)
WASTE TREATMENT		mPt/kg
Waste treatment scenario in the EU		36 (!)

\* Per welding joint of appr. 2,5 cm<sup>2</sup> (0,5 seconds welding).

\*\* If sufficiently pure.

# 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).

# Weitere Hilfsmittel zur Bewertung

# Bewertung der Verwertungsverträglichkeit

- Bewertung der Verwertungsverträglichkeit von Materialien beim Recyceln (Beispiel)

<b>Bewertung</b>	<b>Bedeutung</b>
1	Stoff A und Stoff B sind gemeinsam rezyklierbar und beeinflussen sich nicht gegenseitig
2	Stoff A und Stoff B müssen zum Recycling voneinander getrennt werden; Aufbereitung erzeugt keine Beeinträchtigung
3	Hoher Aufwand zur Trennung Stoff A und B; Stoff A wird für weitere Verwertung signifikant beeinträchtigt
4	Abtrennung von Stoff B führt zur Qualitätsreduktion von Stoff A für dessen weitere Verwertung
5	Aufbereitung von Stoff A und B führt zum Verlust der Rezyklierbarkeit von Stoff A und/oder B

# Bewertung der Fügeverfahren und Lösbarkeit

- In Anlehnung an **DIN 8590** können die **Fügeprinzipien** bewertet.
- Fügeprinzipien: Schwerkraft, kraftschlüssige Verbindungen, Formschluss, Adhäsion und stoffschlüssigen Verbindungen unterschieden.
- Dabei wird betrachtet welchen Kraft- und (De)montageaufwand die Fügeverfahren benötigen.
- In Anlehnung an **DIN 8593** wird die **Lösbarkeit** bewertet.

# Bewertung des EI KON – Entsorgungsindikators

TABELLE 1:

	1	2	3	4	5
<b>RECYCLING</b>	Wiederverwendung bzw. -verwertung zu technisch gleichwertigem Sekundärprodukt oder -rohstoff	Recyclingmaterial wird mit geringem Aufwand sortenrein gewonnen und kann hochwertig verwertet werden.	Recyclingmaterial ist verunreinigt, kann mit höherem Aufwand rückgebaut und nach Aufbereitung verwertet werden	Downcycling	Kein Recycling möglich
<b>VERBRENNUNG</b>	Hoher Heizwert (> 2000 MJ / m <sup>3</sup> ); natürliche Metall- und Halogengehalte im ppm-Bereich, sortenreines Material	Wie 1, jedoch nicht sortenrein Anteil an nicht-organischen Fremdstoffen beträgt < 3 Massen-%	Wie 1 oder 2, jedoch mittlerer Heizwert (500 - 2000 MJ/m <sup>3</sup> ) oder geringfügige Metall- oder Halogengehalte (< 3 Massen-%)	Hoher Stickstoffgehalt, hoher Anteil mineralischer Bestandteile oder erhöhter Metall- oder Halogengehalt (3-10 Massen-%)	Hoher Metall- oder Halogengehalt
<b>DEPONIERUNG</b>	Zur Ablagerung auf Inertabfalldeponie geeignete Abfälle	Zur Ablagerung auf Baurestmassen geeignete Abfälle ohne Verunreinigungen	Materialien mit geringem Anteil nicht-mineralischer Bestandteile, z.B. mineralische Baurestmassen mit organischen Verunreinigungen durch Bitumen oder WDVS-Resten	Gipshaltige, faserförmige oder mineralisierte organische Materialien sowie Materialien mit erhöhtem Anteil nicht-mineralischer Verunreinigungen.	Organisch-mineralischer Verbund, Metalle als Verunreinigungen von Baurestmassen

Microsoft Word - EI10\_Berechnungsleitfaden\_V2.1\_2020

NPE: Wirtschaftlichkeitsbewertung nach VDI 2243

# Wirtschaftlichkeitsbewertung Produkt- oder Materialrecycling



# Wirtschaftlichkeitsbewertung

Materialkreislaufeignung (**KE<sub>M</sub>**) / Komponentenkreislaufeignung (**KE<sub>K</sub>**) nach **VDI 2243**

- Mit der **Material-Kreislaufeignung** kann der Entwickler abschätzen und berechnen, ob für ein definiertes Bauteil das Material aus heutiger Sicht wirtschaftlich wiederverwertbar ist.
- Mit der **Komponenten-Kreislaufeignung** wird bewertet, ob es wirtschaftlich sinnvoll ist eine Komponente wiederaufzuarbeiten.
- Ist dies nicht der Fall, ist eine Neubeschaffung wirtschaftlicher.
- Durch diese Betrachtungsweise ergibt sich eine feste Optimierungsrichtung

# Wirtschaftlichkeits- bewertung

## Materialkreislaufeignung ( $KE_M$ ) nach VDI 2243

$$KE_M = \frac{\text{Kosten Neuware + Beseitigungskosten [€/kg]}}{\text{Recycling-Kosten Sekundärmaterial [€/kg]}}$$

Kosten Neuware = Kilopreis Material

Beseitigungskosten = Kilopreis für Entsorgung

Recycling-Kosten Sekundärmaterial = Kosten für Demontage + Aufbereitung + Logistik

Das Material ist (bauteilbezogen) kreislaufgeeignet,  
d.h. stofflich wirtschaftlich verwertbar, wenn  $KE_M > 1$  ist!

# Wirtschaftlichkeitsbewertung

## Materialkreislaufeignung ( $KE_M$ ) nach VDI 2243

### Materialkreislaufeignung ( $KE_M$ ) nach VDI 2243: Beispielrechnung

Beispiel: Bauteil aus ABS, Gewicht 1 kg

Demontageschritte	12 Schrauben lösen á 3,0 sec. = 36,0 sec.	= -0,72€
	3 Teile entnehmen á 4,0 sec. = 12,0 sec.	= -0,24€
Aufbereitung (Reinigung, Mahlen, Compoundieren, usw.) pro kg		= -1,40€
Logistik (Registrierung, Transport) pro kg		= -0,40€
Neuware pro kg		= -3,00€
Beseitigung pro kg		= -0,50€

Rechnung:

$$KE_M = \frac{(-3,00) + (-0,50) \text{ in €/kg}}{(-0,72) + (-0,24) + (-1,40) + (-0,40) \text{ in €/kg}} = 1,27$$

Ergebnis:

In diesem Beispiel ist das Recycling von ABS ökologisch und ökonomisch günstiger als Neuware einzusetzen!

# Wirtschaftlichkeits- bewertung

## Komponentenkreislaufeignung ( $KE_k$ ) nach VDI 2243

$$KE_k = \frac{\text{Kosten Neuteil [€]} + \text{Beseitigungskosten [€]}}{\text{Recycling-Kosten Altteil [€]}}$$

Recyclingkosten Altteil = Kosten für Demontage + Aufarbeitung + Logistik

Die Komponente ist kreislaufgeeignet,  
d.h. stofflich wirtschaftlich verwertbar, wenn  $KE_k > 1$  ist!

# Wirtschaftlichkeits- bewertung

## Komponentenkreislaufleistung ( $KE_k$ ) nach VDI 2243

Komponentenkreislaufleistung ( $KE_k$ ) nach VDI 2243: Beispielrechnung

Beispiel: Schrittmotor, Gewicht 1 kg

Demontageschritte	12 Schrauben lösen á 3,0 sec. = 36,0 sec.	= -0,72€
	3 Stecker abstecken á 1,5 sec. = 4,5 sec.	= -0,09€
	3 Teile entnehmen á 4,0 sec. = 12,0 sec.	= -0,24€
Aufbereitung (Reinigung, Prüfung, usw.)		= -10,00€
Logistik (Registrierung, Transport)		= -1,00€
Neuteil		= -30,00€
Beseitigung (Metallerlös mit eingerechnet)		= -0,60€

Rechnung:

$$KE_k = \frac{(-30,00) + (-0,60) \text{ in €}}{(-0,72) + (-0,09) + (-0,24) + (-10,00) + (-1,00) \text{ in €}} = 2,44$$

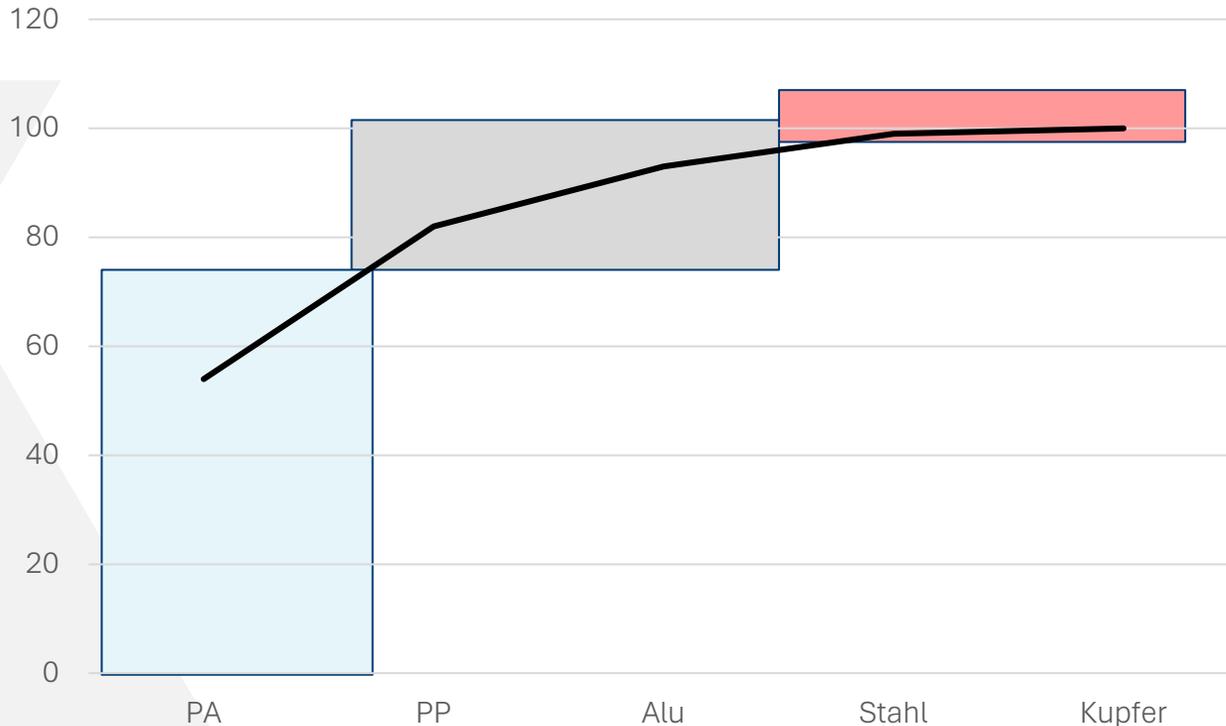
Ergebnis:

In diesem Beispiel ist es sowohl aus ökonomischer als auch aus ökologischer Sicht besser, den vorhandenen Schrittmotor aufzuarbeiten und erneut zu verwenden!

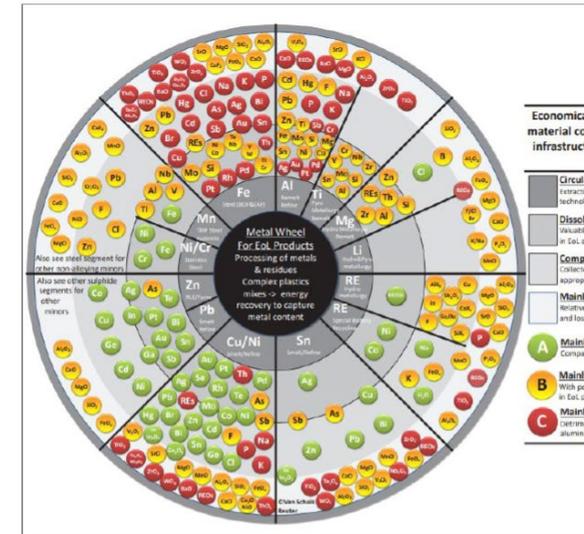
# Wertigkeit der Materialien ABC-Analyse

	€/kg	kg in Altg	Preis	% vom Preis	Kumuliert
PA	0,6	0,5	0,3	54	54
PP	0,79	0,2	0,158	28	82
Alu	3,14	0,02	0,0628	11	93
Stahl	0,3	0,1	0,03	5	99
Kupfer	7,86	0,001	0,0079	1	100

Kumulierte Daten



- Materialien mit **viel Umsatz**
- Materialien mit **mäßigem Umsatz**
- Materialien mit **geringen Umsatz**



# Grobcheckliste zur recycling-optimierten Produktentwicklung

Tabelle 3.1. Grobcheckliste zur recyclingoptimierten Produktentwicklung

Technische Recycling-Kriterien	Bewertung	Optimierungs-Potenzial durch
Stoffliche Verwertbarkeit	recyclingfähig, gleiche Eigenschaften	keine Optimierung nötig
	recyclingfähig, mindere Eigenschaften	Einsatz höherwertigerer Werkstoffe prüfen
	nicht verwertbar, Beseitigung nötig	recyclingfähige Werkstoffe verwenden
Verwertungs-kompatibilität	kompatibel, gleiche Eigenschaften	keine Optimierung nötig
	kompatibel, mindere Eigenschaften	eventuell Stoffvielfalt optimieren
	nicht kompatibel	verträgliche Werkstoffe verwenden
Identifizierbarkeit	eindeutig, einfach, maschinenlesbar	keine Optimierung nötig
	gut separierbar, keine Kennzeichnung	mindestens Kennzeichnung vorsehen
	nicht möglich, keine Kennzeichnung	vermeiden, Kennzeichnung vorsehen
Recyclingkritische Stoffe	nicht vorhanden	keine Optimierung nötig
	vorhanden, gekennzeichnet, gut separierbar	dauerhaft gute Lesbarkeit sichern
	vorhanden, unseparierbar, Beseitigung nötig	vermeiden, Kennzeichnung und Demontage vorsehen
Schad- und Gefahrstoffe	nicht vorhanden	keine Optimierung nötig
	vorhanden, gut separierbar	mindestens Kennzeichnung vorsehen
	vorhanden, unseparierbar, Beseitigung nötig	vermeiden, Kennzeichnung und Demontage vorsehen
Erkennbarkeit	eindeutig, sichtbar	keine Optimierung nötig
	nicht sichtbar, aber Hinweis	Kennzeichnung vorsehen
	nicht sichtbar, kein Hinweis	Hinweis und Kennzeichnung vorsehen
Zugänglichkeit	direkt zugänglich	keine Optimierung nötig
	indirekt zugänglich	eventuell Demontagetiefe verbessern

Verbindungsarten	zerstörungsfrei lösbar	keine Optimierung nötig
	teilerstörend, nur Verbindung	zerstörungsfreie Verbindung verwenden
	zerstörend, auch Bauteilbeschädigung	lösbare Verbindungen verwenden
Vielfalt der Verbindungen	eine/wenige, einheitliche Art	keine Optimierung nötig
	funktionsbedingt mehrere, standardisiert	eventuell mögliche Reduzierung prüfen
	unübersichtlich viele	Anzahl reduzieren
Demontage-Zeit	gering	keine Optimierung nötig
	vertretbarer Aufwand	eventuell mögliche Reduzierung prüfen
	sehr hoch, nicht akzeptabel	Zugänglichkeit verbessern, Modulbauweise anwenden
Recycling-Prozesse	optimaler Prozess vorhanden	keine Optimierung nötig
	aufwändige Prozessschritte nötig	Verträglichkeiten prüfen
	kein Prozess für Stoffe vorhanden	Werkstoffe ändern, vereinheitlichen

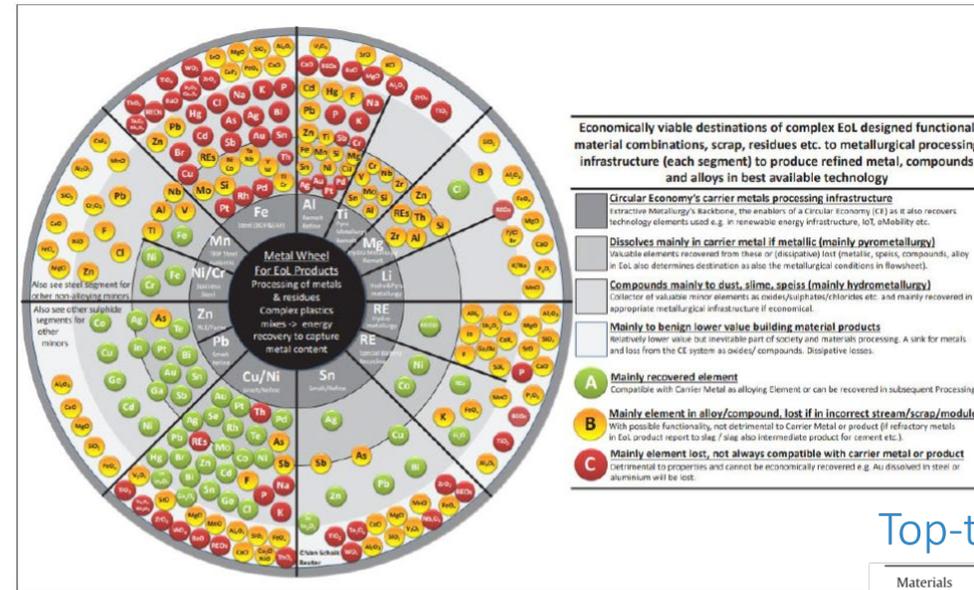
nach VDI 2243

# Aufgabenstellung

Einordnen in die VDI 2343 (**Verwertungsquote, Gefahrenstoffe, zu erwartende Werkstoffe nach Produktklassen!!!**)

Demontageschritte beschreiben und strukturieren

- Anzahl der Demontageschritte
- Werkzeuge pro Demontageschritt festlegen
- Anzahl der Werkzeuge)
- Verbindungstechnik bewerten
- Demontagezeit stoppen
- Demontagetiefe festlegen
- Materialien bestimmen und clustern
- Komponentengewicht bestimmen
- Materialiengewicht aufsummieren



## Top-ten Materials

Materials	% Revenues
Gold	50.4
Copper	13.9
Palladium	9.5
Plastics	9.2
Silver	3.6
Aluminium	2.5
Tin	2.0
Barium	1.8
Platinum	1.7
Cobalt	1.6

Beobachtungen bei der Demontage

- Aufarbeitungsprozesse beurteilen (Instandhaltung, Reparaturen, etc.)
- Aufbereitungsprozessen evaluieren (Materialien/-vielfalt)
- Herstellungsprozess auf Komponentenebene analysieren

## Sekundärkunststoffe und Vermarktungspotentiale

⇒ Optimierungspotential herausarbeiten, z.B. Demontagefreundlichkeit (Checkliste)

Kunststoff		Beispiele
Art: Polypropylen	PP	Innenraum von Wasch- und Spülmaschinen, Gehäuse
Art/Sorte: Polystyrol	PS	Innenraum von Kühlgeräten, Gehäuse, Laufwerksteile
Art: Polyethylen	PE	IT-Equipment, Kabelummantelungen
Art: Polyvinylchlorid	PVC	Kabelummantelungen, Kabelkanäle, Stecker, Dichtungen
Sorte: Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer	ABS	Gehäuse, Laufwerksteile
Familie: Polyamide	PA	Isolatoren, Motorgehäuse, Lichttechnik, Kleingeräte, Installationstechnik (Schalter, Relais, Trafoteile)
Familie: Polyurethan	PUR	Dämmung in Kältegeräten und Spülmaschinen, Kabel, Stecker
Sorte: Polyethylenterephthalat	PET	Installationstechnik (Elektromotorenteile, Schalter, Sensoren, Transformatoren), Lichttechnik
Art: Polymethylmethacrylat	PMMA	Lampen, Leuchten, Flachbildschirme

# Zusammenfassung

der VDE bietet folgende Überprüfungen für Elektroprodukte an:

## Materialanalysen und Materialdeklaration

### Konformitätsbewertungsverfahren nach der RoHS-Richtlinie 2011/65/EG

=> Bestimmte Produktgruppen werden nach beschränkten Stoffen überprüft

### Prüfung nach der Europäischen Chemikalienverordnung REACH

=> regelt die Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung von Chemikalien

## Messungen zum Energieverbrauch

Ökobilanz und Life Cycle Assessment sowie CO<sub>2</sub>-Bilanzen

## Baustrukturprüfung

im Hinblick auf die ErP-Richtlinie 2009/125/EG verbessern können.

## Überprüfung von Recyclingfähigkeit

- recyclinggerechte Einheiten (EN45555:2019-11)
- Überprüfung der Markierung der Kunststoffteile (ISO 11469:2000)
- Berechnung der Recyclingfähigkeit des Produkts und Bewertung in Bezug auf die Vorgaben der WEEE-Richtlinie (2012/19/EU), für optimierte, minimale und regulatorische Zerlegung
- Berechnung der Recyclingfähigkeit nach EPEAT
- EN45555:2019-11 (Allgem. Verfahren zur Bewertung der Rezyklierbarkeit und Wiederverwertbarkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte)

## Überprüfung von Reparierbarkeit :

EN45554:2020-02 (Allgem. Verfahren zur Bewertung der Reparatur-, Wiederverwendbarkeits- und Upgrade-Fähigkeit energieverbrauchsrelevanter Produkte)

# Quellen

- [1] Crone, J., Rosemann, B., Mortl M.: Recyclinggerechtes Konstruieren in [Steinhilper R.](#), [Rieg F.](#) (Herausgeber): Handbuch der Konstruktion Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG (5. Juni 2012)
- [2] PAS 1049: Übermittlung recyclingrelevanter Produktinformationen zwischen Herstellern und Recyclingunternehmen – Der Recyclingpass
- [3] TUD Darmstadt Ringvorlesung Sustainable Innovations: End-of-Life: Design for Recycling von Rosemann, B. – Universität Bayreuth (Dez. 2015)
- [4] VDI 2243 - Recyclingorientierte Produktentwicklung (Juli 2002)
- [5] Berninger, B: Gesamtablauf der Altfahrzeugverwertung – Fachhochschule Amberg-Weiden in <http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/verwertung/altfahrzeuge.pdf>
- [6] Hang, W., Essenpreis, M., Koenn, G.: Das Recycling und Demontage Zentrum – Forschung für die Praxis - BMW AG München (Okt. 2005) in <http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/verwertung/altfahrzeuge.pdf>
- [7] Schmidt, H.-D., Aicher, M.: Praxis des Shredderns von Altfahrzeugen in <http://www.abfallratgeber.bayern.de/publikationen/doc/verwertung/altfahrzeuge.pdf>
- [8] Welp, E., Langbein, S., Sadek, T.: Vorlesung „Recyclinggerechte Produktentwicklung (RPE)“ – RUB – Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre
- [9] Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., Grote, K.-H.: Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendungen. Springer Verlag, Berlin, 2007
- [10] VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte
- [11] Tutorium Sustainable Innovations (TutSI) – Entwicklung nachhaltiger Produkte
- [12] Welp, E., Langbein, S., Sadek, T.: Vorelsung „Recyclinggerechte Produktentwicklung (RPE)“ – RUB – Lehrstuhl für Maschinenelemente und Konstruktionslehre

NPE: Einführung End of Life

# Quellen

- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte
- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte\_Blatt 2
- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte\_Demontage
- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte\_Aufbereitung
- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte\_Logistik
- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte\_Re-Use
- VDI 2343 Recycling elektrischer und elektronischer Geräte\_Stoffliche Verwertung

# Thank you for your attention!

Frankfurt University  
of Applied Sciences  
Nibelungenplatz 1  
60318 Frankfurt am Main

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