

*Explorative Kurzstudie „ARETE“* | Mai 2021

# Augmented Reality- Anwendungsmöglichkeiten im Refurbishment in einem Inklusionsumfeld

Am Beispiel des Refurbishments  
von Elektro- und Elektronikaltgeräten

---

**Herausgeber:**

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH  
Döppersberg 19  
42103 Wuppertal  
www.wupperinst.org

**Autorinnen und Autoren:**

*Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie gGmbH*  
Jana Nicolas, Phyllis Sawall, Dr. Holger Berg

*codecentric AG*

Christian Prison

*AfB gemeinnützige GmbH*

Christoph Teusch

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Problemstellung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
1.1. Problemstellung	1
1.2. Zielsetzung und Aufbau	3
<b>2 Grundlagen Refurbishment – Bedeutung, Hürden und Potenziale</b>	<b>4</b>
2.1 Vorbereitung zur Wiederverwendung und Refurbishment von Elektro- und Elektronikaltgeräten	5
2.2 Ressourcen-Potentiale der (Vorbereitung zur) Wiederverwendung	7
2.3 Barrieren für das Refurbishment	8
<b>3 Refurbishment und Inklusion am Beispiel der AfB gemeinnützige GmbH</b>	<b>9</b>
3.1 Inklusion im Refurbishment bei der AfB	10
3.2 Prozessbeschreibung Refurbishment bei der AfB	12
3.3 Ressourceneinsparung durch IT Refurbishment bei der AfB	15
<b>4 Augmented Reality - Technologie und bestehende Ansätze</b>	<b>17</b>
4.1 Augmented Reality AR	18
4.2 Bestehende AR Ansätze und Projekte im produzierenden und/oder inklusiven Umfeld	21
<b>5 Identifikation und Bewertung von AR Ansätzen für das Refurbishment von Elektro- und Elektronikaltgeräten in einem Inklusionsbetrieb</b>	<b>24</b>
5.1 Identifikation neuer Ansätze	24
5.2 Bewertung identifizierter Ansätze	28
<b>6 Ableitung des weiteren Forschungsbedarfs</b>	<b>37</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>V</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Elektronikabfälle in Deutschland in kg pro Kopf (oben) - und Anteil in kg pro Kopf zu Vorbereitung zur Wiederverwendung (unten) (eurostat, 2021) -----	2
Abbildung 2 Entwicklung (Inklusions-)Mitarbeitende AfB im Jahr 2020. Eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, 2021) -----	11
Abbildung 3 Vereinfachte Darstellung des AfB-Prozesses. Eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, o. J.-a) -----	13
Abbildung 4 Bilder aus der Datenvernichtung bei AfB durch Schreddern (linkes und mittleres Bild) sowie durch die zertifizierte Löschesoftware der Blancco Technology Group (AfB gemeinnützige GmbH, o. J.-b) -----	15
Abbildung 5 Ressourceneinsparungen AfB im Jahr 2020 (eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, 2021) -----	16
Abbildung 6 Refurbishment Zahlen AfB im Jahr 2020. Eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, 2021) -----	17
Abbildung 7 Kombination von realer Welt (links) und virtuellem Objekt (rechts) zur erweiterten Realität (Augmented Reality, Mitte), eigene Darstellung in Anlehnung an (Broll et al., 2013) -----	19
Abbildung 8 AR Welding Assisstant - Einsatz von Augmented Reality / Mixed Reality im Schweißprozess. Beispiel für eine AR Prozessunterstützung (Schweißen) unter Verwendung einer AR Brille (wie links zu sehen). Quelle (codecentric AG, 2019)20	
Abbildung 9 Bewertungsschema (eigene Darstellung) -----	30

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Gegenüberstellung Refurbishment und Remanufacturing. Eigene Darstellung auf Grundlage von (Nasr et al., 2018; and OECD, 2019) -----	6
Tabelle 2 Barrieren für das Refurbishment -----	8
Tabelle 3 Identifizierte AR-Ansätze -----	25
Tabelle 4 Bewertungskriterien -----	28

# 1 Problemstellung und Zielsetzung

## 1.1. Problemstellung

Diese Kurzstudie beschäftigt sich mit der Frage, ob durch den *Einsatz von Augmented Reality* Anwendungen die Wiederaufbereitung (genauer das Refurbishment)<sup>1</sup> von Produkten gesteigert werden kann. Gleichzeitig betrachtet sie, ob damit auch die Inklusion- und Re-Integration von Schwerbehinderten und langzeitarbeitslosen Menschen in den ersten Arbeitsmarkt unterstützt wird.

Die *Wiederaufbereitung von bereits genutzten Produkten* zielt auf die Verlängerung der Produktlebensdauer und leistet damit einen Beitrag zu Abfallvermeidung und Ressourcenschonung. Zudem bietet sie Potenziale für die *Inklusion- und Re-Integration von Schwerbehinderten und langzeitarbeitslosen Menschen in den ersten Arbeitsmarkt* und unterstützt somit auch Aspekte der sozialen Nachhaltigkeit. Trotz relevanter Ressourcen- und Emissionseinsparungspotenziale (vgl. Abschnitt 2.2) sowie sozialer Potenziale im Sinne von Beschäftigungen für Inklusionsmitarbeitende, ist die Wiederaufbereitung in Deutschland jedoch noch wenig verbreitet (eurostat, 2021). Besonders deutlich wird dies bei der Betrachtung des Abfallstroms der Elektro- und Elektronikaltgeräte. Dieser ist, im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung, einer der am schnellsten wachsenden Abfallströme in der EU (Europäisches Parlament, 2020) und auch in Deutschland (Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online, 2021). Viele Elektronikgeräte werden nach kurzer Lebens- bzw. Nutzungsdauer ausgetauscht, obwohl sie grundsätzlich noch funktionsfähig sind.

Momentan wird nur ein geringer Anteil des anfallenden Elektronikabfalls wiederaufbereitet. Recycelt werden in Europa im Durchschnitt nur 40%. Deutschland lag 2017 bei 38,7% (eurostat, 2021). Wiederverwendet wurden in Deutschland in den letzten Jahren lediglich 1-3% der angefallenen Elektronikabfälle:

---

<sup>1</sup> Für Abgrenzung der Begriffe siehe Kapitel 2.

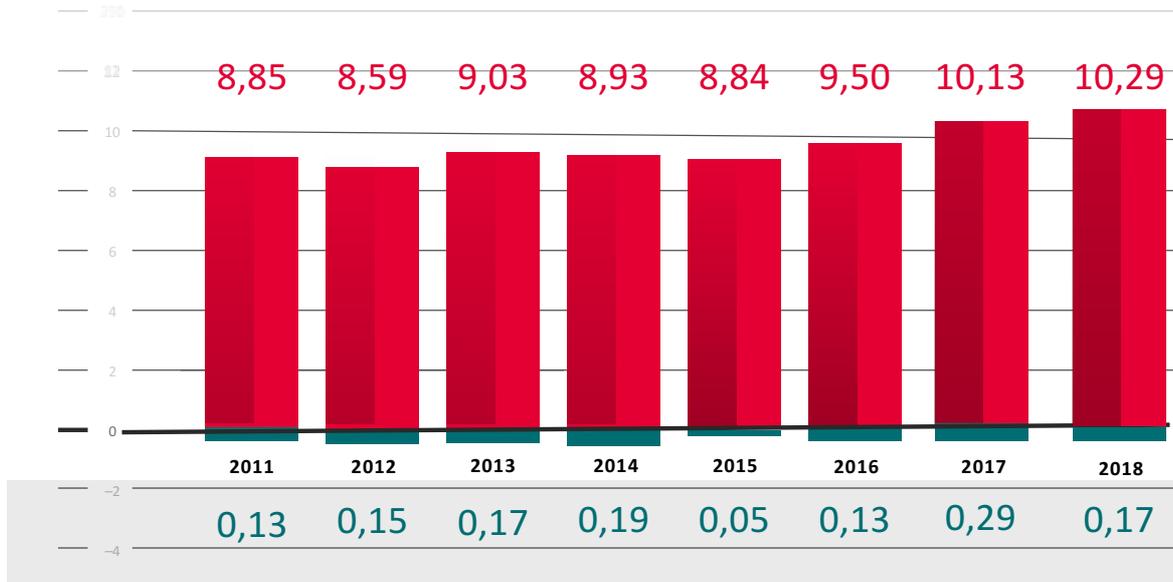


Abbildung 1 Elektronikabfälle in Deutschland in kg pro Kopf (oben) - und Anteil in kg pro Kopf zu Vorbereitung zur Wiederverwendung (unten) (eurostat, 2021)

Aufgrund der in Elektro- und Elektronikgeräten verarbeiteten wertvollen und teils seltenen Rohstoffe, ist die Verlängerung ihrer Lebensdauer durch Wiederaufbereitung ein elementarer Schritt im Sinne der ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft. In den Produkten sind verschiedene Materialien und auch verbaut und miteinander verbunden. Im Recyclingverfahren existieren beispielsweise noch nicht für alle Sonder- und Edelmetalle Rückgewinnungsverfahren oder Verfahren die über den Laborstatus hinausgehen und in der breiten Praxis angewandt werden (Sander et al., 2018, S. 31). In Folge dessen gehen während des Recyclings Materialien für eine erneute Verwendung verloren. Eine Verlängerung der Lebensdauer dieser Produkte ist damit dem Recycling vorzuziehen, genau wie es in der Abfallhierarchie reflektiert ist. Insgesamt stehen der steigende Ressourcenbedarf, die derzeitige geringe Ausschöpfung des Wiederverwendungspotentials und die unzureichende Wiedergewinnung von Materialien und Ressourcen klar im Gegensatz zu einem Wirtschaften innerhalb der planetaren Grenzen. Eine Steigerung der Quote wiederaufbereiteter Elektronikgeräte ist also im Sinne des Ressourcenschutzes dringend notwendig.

Die Steigerung der Wiederverwendungs-Quoten steht jedoch einigen Barrieren gegenüber. So weisen die Elektro- und Elektronikaltgeräte beispielsweise eine hohe Diversität auf. Es existieren zahlreiche Gerätearten, die von Taschenrechnern, Haushaltsgeräten, Kommunikations- und Unterhaltungsmedien wie Computern, Smartphones und Spielekonsolen bis hin zu Servern und Telefonanlagen reichen<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Liste nicht vollständig.

Darüber hinaus gibt es in gleichen Produktkategorien Geräte von unterschiedlichen Herstellern, die sich in ihrem Aufbau und ihrer Materialzusammensetzung stark unterscheiden können. Die meisten Hersteller bieten ferner in einer Produktkategorie unterschiedliche Modelle und Modelllinien an. Dabei können sich neuere Modelle gegenüber ihren Vorgängermodellen in Form, Größe, Aufbau, den verwendeten Materialien und Bauteilen unterscheiden. All dies kann sich darauf auswirken, wie ein Gerät bei der Wiederaufbereitung bearbeitet werden muss und welche Werkzeuge und Ersatzteile benötigt werden. Auch haben Alter und Zustand sowie die Marktnachfrage Einfluss auf die Wiederverkaufschancen und den Wiederverkaufswert eines Gerätes. Der individuelle Zustand eines Gerätes, das Alter und Wiederverkaufschancen bestimmen aber, ob ein Gerät wiederaufbereitet werden kann, oder eher dem Recycling zugeführt werden sollte, da es beispielsweise nicht mehr wieder eingesetzt oder wieder verkauft werden kann. Aufgrund der Vielzahl verschiedener Faktoren, die es zu berücksichtigen gilt, erfordert die Wiederaufbereitung ein hohes Maß an Informationen und Entscheidungen im gesamten Prozess und einen hohen Anteil manueller Arbeit. Ein effizientes und wirtschaftliches Bearbeiten und Wiederaufbereiten ist somit anspruchsvoll. Es gilt somit, geeignete Technologien und technische Unterstützungen zu identifizieren und diese auf ihre Potenziale hin zu überprüfen.

## 1.2. Zielsetzung und Aufbau

Augmented Reality- (AR) Anwendungen können dabei helfen, die entscheidungs- und informationsintensiven Prozesse in der Wiederaufbereitung für die Mitarbeitenden zu vereinfachen. AR kann den Anwendenden Informationen, Hilfestellungen und Arbeitsanweisungen im Arbeitsumfeld passgenau zur Verfügung stellen. Dies könnte Inklusionsmitarbeitende in der Anlernphase und während ihrer Tätigkeiten unterstützen, ersetzt sie aber nicht. Durch Reduktion der wahrgenommenen Komplexität der Prozesse könnten sich die Quote und Qualität der Wiederaufbereitung und somit die Quote verkaufsfähiger Geräte steigern, was die Wirtschaftlichkeit erhöht. Idealerweise könnten die Erkenntnisse auch zu einem Anstieg von Refurbishment-Aktivitäten in anderen Bereichen führen und so die Refurbishment-Quote produktübergreifend insgesamt steigern.

**Augmented Reality (AR; angereicherte Realität):** die wahrnehmbare Realität wird um virtuelle Inhalte angereichert. So werden beispielsweise Texte, Bilder, Grafiken aber auch akustische Signale interaktiv und in Echtzeit mit der Realität kombiniert. Diese bleibt dabei weiterhin erkennbar und wird nicht vollständig überlagert, wie beispielsweise bei Virtual Reality Anwendungen (VR) üblich. Dabei sind AR Anwendungen weder auf rein visuelle Inhalte noch auf bestimmte Geräte (wie beispielsweise AR Brillen) beschränkt (vgl. Schmalstieg & Höllerer, 2016, S. 3). Für weitere Informationen s. Abschnitt 4.1.

Im Bereich der Wiederaufbereitung in einem Inklusionsumfeld sind noch keine Beispiele zum Einsatz von Augmented Reality Anwendungen bekannt. Diese Kurzstudie beschäftigt sich daher mit den folgenden Fragen:

- Kann Augmented Reality Komplexität in Refurbishmentprozessen durch digitale Interaktionen und Hilfestellungen reduzieren kann?
- Kann die Effizienz im Refurbishmentprozess und die Qualität der wiederaufbereiteten Produkte durch den Einsatz von Augmented Reality erhöht werden?
- Welche Einsatzmöglichkeiten gibt es für Augmented Reality im Bereich der Wiederaufbereitung in einem Inklusionsumfeld?
- Welche Effekte sind für Ressourceneffizienz und Inklusion zu erwarten?

Da die Kurzstudie sich den Fragen exemplarisch anhand der Wiederaufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten in einem Inklusionsbetrieb nähert, schließt sich eine weitere Frage an, um das Bild zu komplementieren:

- Gibt es Übertragungsmöglichkeiten der Ergebnisse auf andere Bereiche der Kreislaufwirtschaft?

Die Kurzstudie stellt zunächst das Konzept der Wiederaufbereitung mit einigen Hürden und Potenzialen vor (Kapitel 2) und führt in das Thema der Inklusion im Refurbishment und das Refurbishment von Elektro- und Elektronikaltgeräten anhand des Beispiels der AfB gemeinnützigen GmbH ein. Kapitel 4 stellt zunächst Augmented Reality (AR) allgemein (Abschnitt 4.1) sowie Anwendungen vor, die bereits im Produktions- und Inklusionsumfeld eingesetzt werden (Abschnitt 4.2). Damit bereitet es die Identifikation von Einsatzmöglichkeiten von AR Anwendungen im Refurbishment in einem Inklusionsumfeld vor. Diese werden in Kapitel 5 (Abschnitt 5.1) zunächst vorgestellt und danach in Abschnitt 5.2. Kapitel 6 schließt mit Empfehlungen zum weiteren Forschungsbedarf.

## **2 Grundlagen Refurbishment – Bedeutung, Hürden und Potenziale**

In diesem Kapitel werden die Vorbereitung zur Wiederverwendung und das Refurbishment kurz erläutert und in die Kreislaufwirtschaft sowie den gesetzlichen Rahmen eingeordnet. Es wird gezeigt, warum Refurbishment-Quoten gesteigert werden müssen und welche Barrieren höheren Quoten gegenüberstehen. Vor diesem Hintergrund steigt das darauffolgende Kapitel 3 in das Praxisbeispiel der AfB gemeinnützige GmbH ein.

## 2.1 Vorbereitung zur Wiederverwendung und Refurbishment von Elektro- und Elektronikaltgeräten

Um im Sinne des KrWG und der Abfallhierarchie die Kreislaufführung von Elektronikgeräten zu fördern, sieht das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) einige Anforderungen für Herstellung und Vertrieb von Elektro- und Elektronikgeräten vor. Das ElektroG setzt dadurch die europäische Richtlinie 2012/19/EU über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (sogenannte WEEE-Richtlinie) in nationales Recht um. Das Gesetz legt konkrete Pflichten für alle relevanten Akteure fest, die einen wesentlichen Beitrag zur Schonung der natürlichen Ressourcen und zur Verringerung der Schadstoffemissionen leisten sollen. So gilt für die Gestaltung der Elektro- und Elektronikgeräte, dass die Demontage, Wiederverwendung und Verwertung der Produkte und Komponenten berücksichtigt werden müssen (§4 ElektroG). Darüber hinaus besteht sowohl für Hersteller, als auch für Vertriebsunternehmen eine Rücknahmepflicht, damit Verbraucher\*innen die Altgeräte in eine fachgerechte Sammlung geben können und diese Altgeräte dem Kreislauf zugeführt werden können (§16, §17 ElektroG). Diese Pflicht gilt für Händler ab einer Verkaufs- oder Lagerfläche für Elektro- und Elektronikgeräte von mindestens 400 m<sup>2</sup> und tritt ein, wenn ein neues Gerät der gleichen Art gekauft wird oder es sich um kleine Altgeräte (mit einer Größe von maximal 25 cm äußerer Abmessung) handelt (§17 ElektroG). Nach der Sammlung sieht das Gesetz in Bezug auf die weitere Behandlung der Geräte vor, dass diese vor der Durchführung weiterer Verwertungs- oder Beseitigungsmaßnahmen einer Prüfung unterzogen werden müssen. Diese untersucht, ob das Gerät oder einzelne Komponenten der Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können (§20 ElektroG). Insgesamt sind je nach Kategorie der Geräte Verwertungsquoten zwischen mindestens 75-85% vorgesehen und der Anteil der Vorbereitung zur Wiederverwendung und des Recyclings auf zwischen mindestens 55-80% festgelegt (§22 ElektroG).

Als eine zentrale Strategie zur Kreislaufführung von Produkten und Abfällen ist Refurbishment auch im KrWG) integriert. Im Sinne dieses Gesetzes kann *Refurbishment* eingeordnet werden in die *Vorbereitung zur Wiederverwendung*, welche definiert wird als "[...] jedes Verwertungsverfahren der Prüfung, Reinigung oder Reparatur, bei dem Erzeugnisse oder Bestandteile von Erzeugnissen, die zu Abfällen geworden sind, so vorbereitet werden, dass sie ohne weitere Vorbehandlung wieder für denselben Zweck verwendet werden können, für den sie ursprünglich bestimmt waren" (§3, Absatz 24). In der integrierten Abfallhierarchie (§6) steht Vorbereitung zur Wiederverwendung an zweiter Stelle nach Vermeidung und ist demnach aufgrund der ökologischen Einsparpotentiale gegenüber dem Recycling, der

sonstigen Verwertung und Beseitigung prioritär zu behandeln. Die Vorbereitung zur Wiederverwendung wird in der Wissenschaft in die Bereiche Refurbishment und Remanufacturing unterteilt wird. Beide unterscheiden sich von Aktivitäten reiner Wiederverwendung (auch Re-Use genannt), bei der keine Überarbeitung und Instandsetzung erfolgt. Aufgrund der Ähnlichkeit der Ansätze und Verfahren ist häufig zu beobachten, dass die Begriffe synonym verwendet werden (vgl. Lange, 2017, S. 3 ff). In diesem Abschnitt werden Refurbishment und Remanufacturing vorgestellt und voneinander abgegrenzt, da sich das Praxisbeispiel, an dem sich diese Kurzstudie orientiert (vgl. Kapitel 3), im Bereich des Refurbishments bewegt und so ein genaueres Verständnis erreicht werden kann.

Gemäß den Definitionen der UN (Vereinten Nationen / United Nations) und des International Resource Panels zeichnet sich *Remanufacturing* durch Wiederaufbereitung in einen neuwertigen Zustand mitsamt den ursprünglichen Leistungs- und Qualitätsspezifikationen aus. *Refurbishment* bezeichnet hingegen eine begrenzte Wiederherstellung der Funktionalitäten (vgl. Nasr et al., 2018, S. 43 ff; and OECD, 2019, S. 30).

**Tabelle 1 Gegenüberstellung Refurbishment und Remanufacturing. Eigene Darstellung auf Grundlage von (Nasr et al., 2018; and OECD, 2019)**

Refurbishment	Remanufacturing
Änderung zu einem funktionsfähigen Produkt, das für einen Zweck verwendet werden kann, der mindestens dem ursprünglich vorgesehenen entspricht	qualitätsorientierte Aufarbeitung in den ursprünglichen, neuwertigen (oder einen besseren) Zustand
Begrenzte Wiederherstellung der Funktionalität (oder erhöhen) zur Erfüllung technischer Standards oder gesetzlicher Anforderungen	Wiederherstellung der ursprünglichen Leistungsspezifikationen mit der gleichen Qualität & Standards
verlängerte Betriebsdauer (Teillebenszyklus) eines Produkts	Neuwertige Produkte mit voller Garantie
Aufarbeitung zu einem voll funktionsfähigen Produkt	Wiederaufbereitung in den originalen, neuwertigen Zustand

Der Prozess des Refurbishments beginnt mit der Sammlung und Inspektion von Geräten. Es folgen, je nach Zustand des Geräts, die Reinigung und Reparatur sowie das Ersetzen der defekten Komponenten bzw. ein Austausch durch Komponenten die dem notwendigen aktuellen Standard entsprechen. Im Anschluss an die Remontage

erfolgt die Endkontrolle, welche im letzten Schritt die Garantiefähigkeit des wiederaufbereiteten Produkts prüft und ermöglicht. Während die gesetzliche Gewährleistungspflicht für neue Elektrogeräte bei 24 Monaten liegt, kann diese bei gebrauchten Waren auf 12 Monate reduziert werden (§476 Abs. 2 BGB). Darüber hinaus kann eine Garantie vom Hersteller gegeben werden. Im Abschnitt 3.2 wird der Prozess für das Refurbishment von Elektro- und Elektronikgeräten anhand des Praxisbeispiels der AfB gemeinnützige GmbH detaillierter beschrieben.

## 2.2 Ressourcen-Potentiale der (Vorbereitung zur) Wiederverwendung

Durch die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Elektroaltgeräten ergeben sich zahlreiche Potentiale im Sinne der Kreislaufwirtschaft (vgl. Abschnitt 2.1). Aus ökologischer Sicht stellt insbesondere die Ressourcenschonung einen zentralen Vorteil dar. Durch Wiederaufbereitung lässt sich im Vergleich zu Recycling nicht nur der Verlust von Rohstoffen vermeiden, sondern aufgrund der verlängerten Nutzungsdauer kann der Konsum von Neuprodukten reduziert werden, wodurch sich der absolute Durchsatz von Rohstoffen im Bereich der Elektro- und Elektronikgeräte reduziert (vgl. Sander et al., 2019, S. 178 f.). Zudem geht die Gewinnung der für die Herstellung der Elektro- und Elektronikgeräten notwendigen Materialien mit erheblichen Umwelteingriffen einher, beispielsweise durch den Abbau von Gold und seltenen Erden. Da ein wiederverwendetes Gerät in der Regel eine Anschaffung eines neuen Gerätes ersetzt oder zumindest verzögert, kann so der Bedarf an aus neugewonnenen Rohstoffen produzierten Geräten reduziert werden.

Eine Studie des Fraunhofer UMSICHT aus dem Jahr 2018 hat die Ressourcen- und Treibhausgaseinsparungen (CO<sub>2</sub>-Äquivalente) durch das Refurbishment am Beispiel von Smartphones und Tablets genauer untersucht. Dazu wurden die einzelnen Komponenten und Materialien der Geräte stoffstromspezifisch bilanziert. Unter der Annahme einer Lebensdauererlängerung von zwei auf vier Jahre durch die Wiederaufbereitung, haben sich bei einem Smartphone Einsparungen von 14 kg Ressourcen und 58 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten ergeben, bei einem Tablet waren es sogar ganz 58 kg Ressourcen und 139 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Maga et al., 2018 S. 255).

In Abschnitt 3.3 werden ergänzend die durch die myclimate Deutschland gGmbH ermittelten Ressourceneinsparpotenziale aufgezeigt, die die AfB gemeinnützige GmbH mit ihren Aktivitäten erzielt.

## 2.3 Barrieren für das Refurbishment

Trotz dieser Potentiale ist die Wiederaufbereitung in Europa und auch in Deutschland noch wenig verbreitet. Ungeachtet der Priorisierung in der Abfallhierarchie konnten in Deutschland in den letzten Jahren nur jährlich nur 1-3% der anfallenden Elektro- und Elektronikaltgeräte der Vorbereitung zur Wiederverwendung zugerechnet werden (eurostat, 2021). Diese noch geringe Quote kann mit Hürden erklärt werden, die der Wiederverwendung (Refurbishment und Remanufacturing) von Elektro- und Elektronikgeräten entgegenstehen und denen mit geeigneten Lösungen und Maßnahmen begegnet werden muss, damit die Quote gesteigert werden kann (Löhle et al., 2016; Meloin et al., 2018; PACE Platform for Accelerating the Circular Economy, 2021; Seyring et al., 2015):

Tabelle 2 Barrieren für das Refurbishment

Hürde	Beschreibung
Fehlendes Design-for-Refurbishment	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das <b>Ende des Lebenszyklus</b> oder eine einfache <b>Reparatur</b> wird beim Design der Produkte nur <b>selten berücksichtigt</b>, was ein Refurbishment erschwert</li> </ul>
Schnelle <b>Innovationszyklen</b> und ökonomische, technische oder psychologische <b>Obsoleszenz</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veränderte Produktionsprozesse und Komponenten durch Innovationszyklen</li> <li>Nachfrage nach neueren Geräten aufgrund neuer Funktionen, auch wenn die aktuellen Geräte noch funktionstüchtig sind</li> <li>Neukauf aufgrund teils niedriger Preise für Neugeräte und teilweise als hoch empfundenen Reparatur- und Refurbishment-Kosten als eine attraktivere Alternative zur Weiternutzung bestehender Geräte</li> <li>Geräte, die frühzeitig Mängel und Defekte (Obsoleszenz) aufweisen (beispielsweise fehlende Softwareupdates für ältere Geräte), führen zu einem früheren Bedarf an Ersatzgeräten und zum erschweren zum anderen die Wiederverkaufschancen solcher Geräte, auch wenn sie wiederaufbereitet sind</li> </ul>
<b>Ersatzteile, Software, Reparaturanleitungen und -services</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Erschwerte <b>Verfügbarkeit</b> von Ersatzteilen</li> <li><b>Mangelnde Interoperabilität</b> zwischen Geräten erfordert große Bandbreite an Ersatzteilen, was mit Kosten verbunden ist</li> <li>Hohe Varianz bedingt <b>hohen Informationsbedarf</b>, beispielsweise zu Gerätetyp, Bauteilen, möglichen Ersatzteilen</li> <li><b>Zugang</b> zu Software oder Reparaturanleitungen und -services oft erschwert</li> </ul>
<b>Finanzielle Aspekte:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Der <b>hohe manuelle Arbeitsaufwand</b> bedingt hohe Personalkosten</li> <li>Refurbishment bedarf spezieller Fachkenntnisse und -kompetenzen, daraus folgen neben hohen Löhnen auch Aus- und Weiterbildungskosten</li> <li>Aufgrund der sich ändernden Inputströme müssen stetig neue Modelle bearbeitet werden, wodurch Arbeitsanweisungen häufig überarbeitet werden müssen</li> </ul>
Fehlende <b>Sichtbarkeit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>Fehlende Absatzwege und Verkaufsinfrastrukturen</b> stehen einem etablierten Markt für Neugeräte entgegen</li> <li><b>Mangelndes Wissen</b> der Verbrauchenden <b>über die Verfügbarkeit</b> wiederaufbereiteter Produkte, sowie eine kritische Haltung gegenüber der Wiederaufbereitung.</li> </ul>

<b>Qualität und Standards</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Verbraucher*innen vermuten eine <b>minderwertige Qualität</b></li> <li>▪ Einige Unternehmen halten <b>Qualitätsstandards</b> nicht ein und schaden so dem <b>Image</b> des Sektors</li> <li>▪ Einheitliche organisatorische <b>Richtlinien und Standards fehlen</b>, was Kooperationen zwischen Unternehmen erschwert und das Vertrauen der Konsumenten hemmt</li> </ul>
Mangelnde <b>Versorgung</b> mit Altgeräten und <b>logistische Aspekte</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Die <b>Versorgung</b> mit Altgeräten erfolgt nicht in kontinuierlichen Mengen und Zeitabständen</li> <li>▪ <b>Sammlungs-, Transport- und Verladeprozesse</b> können zu <b>Qualitätsminderungen</b> der Altgeräte führen, wenn nicht korrekt durchgeführt. Durch unsachgemäße Handhabung (z. B. Einwurf in große Container), mechanische Einflüsse, Querkontaminationen in Produktströmen oder Witterungseinflüsse können die Geräte oder einzelne Komponenten beschädigt werden</li> <li>▪ Mangelnder <b>Zugang</b> zu Elektronikabfällen in einer frühen Phase der Sammlung, wodurch die Abfallhierarchie nicht immer eingehalten werden kann</li> </ul>
Offene <b>rechtliche Fragen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Insbesondere hinsichtlich der <b>Gewährleistung</b> und <b>Produktsicherheit</b> der aufbereiteten Geräte seitens der Wiederaufbereiter*innen, Händler*innen und Verbraucher*innen</li> </ul>

### 3 Refurbishment und Inklusion am Beispiel der AfB gemeinnützige GmbH

Neben den oben ausgeführten ökologischen Potentialen im Sinne der Kreislaufwirtschaft, ergeben sich durch das Refurbishment von Elektronikaltgeräten auch hinsichtlich der *Beschäftigungspotentiale* Möglichkeiten. Für die Vorbereitung zur Wiederverwendung von Elektroaltgeräten sogar höhere Potenziale als für das Recycling (Sander et al., 2018, S. 342). Dies liegt am hohen manuellen Aufwand der mit der Wiederaufbereitung von Produkten im Allgemeinen und Elektro- und Elektronikaltgeräten im Besonderen einhergeht. Durch die hohe Varianz der Gerätetypen und -aufbauten können diese Prozesse bei dem Qualitätsanspruch des Refurbishments nur schwer wirtschaftlich automatisiert werden. Unter Zugrundelegung des Mengenpotentials von Refurbishment und Durchschnittswerten für entstandene Arbeitsplätze anhand des Inputs (also die Menge an Geräten die in die Wiederaufbereitung gehen) beziehungsweise Outputs (also der Menge an Geräten die anschließend in eine Wiederverwendung gehen) wurden in einer Studie inländische und ausländische Zahlen betrachtet. Daraus konnte sich eine Spannbreite von ca. 6.606 - 10.908 Arbeitsplätzen für den Input beziehungsweise 64.225 - 106.050 Arbeitsplätzen für den Output in Deutschland ermittelt werden, was Durchschnittswerte in Höhe von ca. 18-109 Arbeitsplätzen/1.000 t (inputbezogen) bzw. ca. 175-213 Arbeitsplätzen/1.000 t (outputbezogen) bedeuten würde (Sander et al., 2018, S. 346). Die genaue Höhe des Potentials ist dabei abhängig von der Aufbereitungstiefe und Gerätearten. Eindeutig zu erkennen ist dabei, dass beim Input

der Arbeitsbedarf niedriger ist, da noch Geräte vorhanden sind, die nicht in die tatsächliche Wiederaufbereitung, sondern in das Recycling gehen. Wenn Geräte tatsächlich wiederaufbereitet werden (Output) so ist hierfür eine höhere Arbeitsleistung notwendig (z. B. Testen, Reinigen, Reparieren, Austausch von Komponenten), was sich wiederum in höheren Arbeitsplatzpotenzialen niederschlägt (vgl. Sander et al., 2019, S. 346). Dabei können durch die Vorbereitung zur Wiederverwendung in besonderem Maße Beschäftigungs- und Qualifizierungsmöglichkeiten für Menschen geschaffen werden, die meist vom regulären Arbeitsmarkt ausgeschlossen sind. Refurbishment geht häufig mit der Inklusion und (Re-)Integration von Schwerbehinderten und Langzeitarbeitslosen auf den Arbeitsmarkt einher (vgl. Sander et al., 2019, S. 345). Somit können Refurbishment-Aktivitäten auch die soziale Nachhaltigkeit stärken. Bekannte Beispiele hierzu sind der belgische (flämische) Dachverband „Komosie“, unter dem sich sozialwirtschaftliche Wiederverwendungsbetriebe mit ihren „De Kringwinkel“-Verkaufslokalen zusammengeschlossen haben, aber auch die AfB gemeinnützige GmbH, die als Praxispartner an dieser Kurzstudie beteiligt ist.

Am Beispiel der AfB werden in dem nächsten Abschnitt Besonderheiten aufgezeigt, die im inklusiven Alltag von Refurbishment-Betrieben auftreten können. Es werden die Prozessabläufe illustriert und die ökologischen und sozialen Effekte dargestellt, welche die AfB durch ihre Arbeit bereits erzielt hat. Auf Basis der Situation bei diesem Praxispartner und in Kombination mit der Einführung zu Augmented Reality in Kapitel 4 werden im weiteren Verlauf ab Kapitel 5 Ansätze für die Unterstützung der Refurbishment-Prozesse mittels Augmented Reality identifiziert und bewertet. Dieses Kapitel 3 dient damit der Vorbereitung und dem besseren Verständnis der in Kapitel 5 vorgestellten Ansätze.

### **3.1 Inklusion im Refurbishment bei der AfB**

Die AfB gemeinnützige GmbH beschäftigt 540 Mitarbeitende an 21 Standorten in 5 europäischen Ländern. Knapp die Hälfte (45%) der AfB-Mitarbeitenden waren im Jahr 2020 Menschen mit (körperlicher und geistiger) Behinderung (AfB gemeinnützige GmbH, 2021). Sie haben durch ihre Beschäftigung bei der AfB einen festen Arbeitsplatz auf dem ersten Arbeitsmarkt (Szombathy, 2019). Ihre Arbeitsplätze sind somit nicht finanziell durch einen Träger oder den Staat gefördert.



**Abbildung 2 Entwicklung (Inklusions-)Mitarbeitende AfB im Jahr 2020. Eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, 2021)**

Im Unterschied zu einer Werkstatt für behinderte Menschen ist die AfB ein privatwirtschaftliches, wenn auch gemeinnütziges Unternehmen – ein Inklusionsunternehmen. Bei Werkstätten steht der soziale Aspekt im Vordergrund. Sie bieten eine intensive Betreuung der Mitarbeitenden und werden meist durch einen Wohlfahrtsträger oder auch den Staat unterstützt. Die AfB arbeitet als gemeinnütziges Unternehmen wirtschaftlich und muss sich aufgrund ihrer Gemeinnützigkeit selbst tragen. Im Unterschied zu Werkstätten ist es eine Grundvoraussetzung bei der AfB, dass die Mitarbeitenden ihre Aufgaben selbstständig erledigen können. Sie erhalten eine intensivere Betreuung in der Einarbeitungsphase und ein an ihre Bedürfnisse angepasste Arbeitsumfeld. Sie arbeiten jedoch weitestgehend eigenständig (Szombathy, 2019).

Die Mitarbeitenden erhalten also eine Beschäftigung am ersten Arbeitsmarkt. Im Vergleich zu anderen Wirtschaftsunternehmen wird den behinderten Mitarbeitenden dennoch mehr Unterstützung geboten. So wird nicht nur die passende Aufgabe für die Mitarbeitenden gesucht, sondern es stehen ihnen auch verschiedene Ansprechpartner wie die Betriebssozialarbeitenden und die Schwerbehindertenvertretung zur Verfügung. Auch können Arbeitszeiten oder Arbeitsumfeld an die individuellen Bedürfnisse angepasst werden. Dies umfasst beispielsweise die Arbeitsplatzausstattung mit speziellen Tastaturen oder Stühlen, aber auch eine individuell angepasste Beleuchtung und weitere Aspekte (Szombathy, 2019).

Bei der AfB arbeiten behinderte und nicht-behinderte Menschen zusammen. Der Anteil der Belegschaft mit Behinderung liegt bei ca. 45%. Die Behinderungsformen sind dabei vielfältig (Szombathy, 2019). So gibt es Menschen mit körperlicher Bewegungseinschränkung wie Menschen mit Sinnesbehinderung, die z.B. Hör- oder Sehvermögen einschränken. Aber auch Mitarbeitende mit einer psychischen, geistigen oder Lern-Behinderung arbeiten bei AfB. Grundsätzlich liegt der Fokus jedoch auf dem Menschen und seinen Fähigkeiten. Erst danach wird der Unterstützungsbedarf, der aufgrund einer bestimmten Behinderungsart besteht betrachtet.

Ein besonderer Aspekt, der für den weiteren Verlauf der Studie relevant wird, ist, dass verschiedene Mitarbeitende bei der AfB sehr unterschiedlich auf gleiche Anweisungen und auch auf Veränderungen reagieren. Viele Beschäftigte in Leitungsfunktion achten bei ihren Mitarbeitenden auf eine individuell angepasste Kommunikation, um Arbeitsanweisungen zielgerichtet zu geben und Überforderungen zu vermeiden. Manche Mitarbeitende mit geistigen Einschränkungen kommen mit Veränderungen schwerer zurecht als Mitarbeitende ohne geistige Einschränkungen. So kann schon der Austausch eines Bürogegenstandes für einige Personen eine große Umstellung sein, die so belastend ist, dass die Arbeitsfähigkeit gefährdet ist.

Bis zum Jahr 2025 will die AfB insgesamt 700 Arbeitsplätze bieten. Davon sollen mindestens 300 Plätze an Menschen mit Behinderung vergeben sein (AfB gemeinnützige GmbH, 2019). Die AfB will somit Menschen mit Behinderungen einen noch besseren Zugang zu diesen Arbeitsplätzen ermöglichen.

### **3.2 Prozessbeschreibung Refurbishment bei der AfB**

Dieser Abschnitt widmet sich dem aktuellen Refurbishment-Prozess der AfB vom Wareneingang der Geräte bis sie den Status „wiedervermarktbar“ erhalten oder aber einem fachgerechten Recycling zugeführt werden, falls sie nicht mehr wiedervermarktet werden können. Nachfolgend wird dieser Prozess vereinfacht dargestellt (s. Abbildung 3) und anschließend erläutert. In der Darstellung wird sich auf Schritte mit direktem Bezug zum Umgang mit den Geräten konzentriert. Weitere Bereiche wie die Verwaltung wurden nicht mit aufgenommen.

#### **Wareneingang**

Die AfB erwirbt gebrauchte IT-Hardware, darunter PCs, Notebooks, Server, Smartphones, Mobilgeräte etc. von Unternehmen, Banken, Versicherungen und Behörden („Erstkunden“). Entscheidend für die Preisfindung sind neben Alter, Hersteller und Modell die Leistungsdaten der Geräte sowie der optische und technische Zustand.

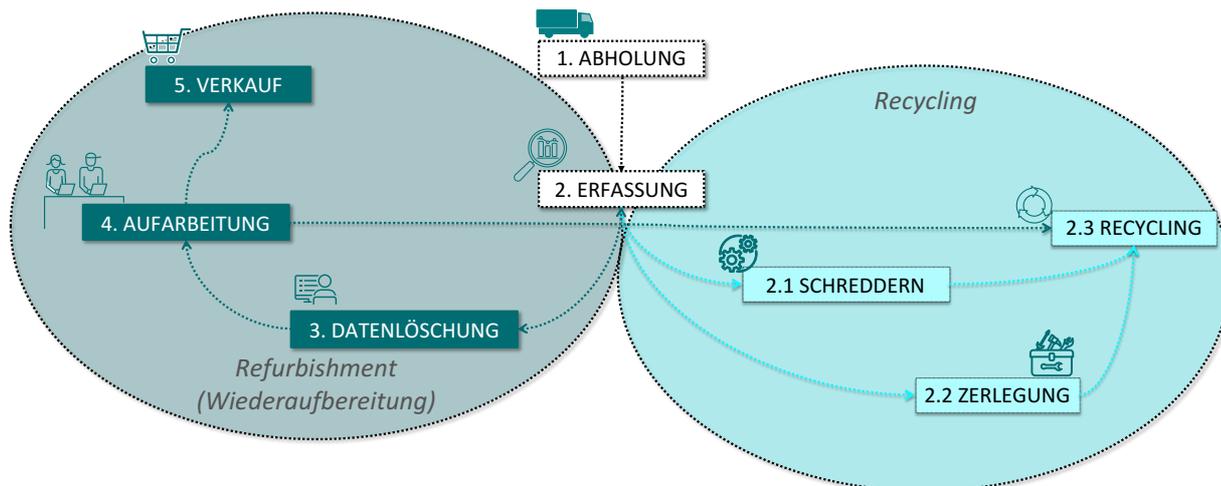


Abbildung 3 Vereinfachte Darstellung des AfB-Prozesses. Eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, o. J.-a)

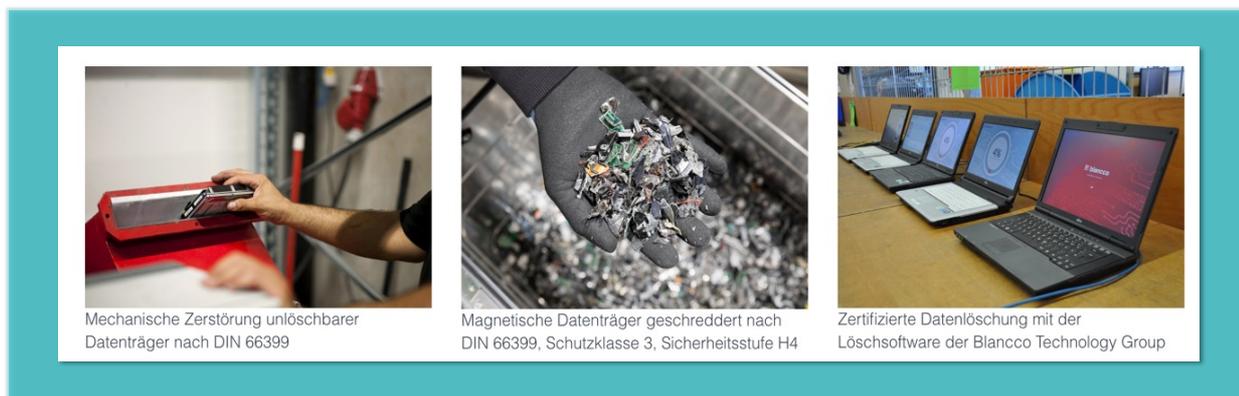
Der Prozess beginnt in der Regel mit einer Ankündigung des Erstkunden, dass Geräte abgeholt werden können. Da diese vorgelagerten Schritte in der Betrachtung und der Grafik ausgeklammert sind, beginnt der Prozess nach der Logik der Grafik mit der Abholung der Geräte beim Erstkunden. Es ist auch möglich, einzelne Geräte postalisch zuzuschicken, diese machen aber einen geringen Anteil aus. Die AfB kümmert sich im ersten Schritt um den Transport und die Logistik der Gebrauch-Hardware. Die Geräte werden sicher und gefahrgutrechtlich korrekt verpackt und DSGVO-konform von geschultem Personal und per eigenem IT-Sicherheitstransport abgeholt. Die Datensicherheit wird durch verschließbare Transportbehälter und videoüberwachte, zugangskontrollierte Gebäude sichergestellt. Die Geräte werden auf direktem Weg zur nächstgelegenen AfB-Niederlassung überführt, inventarisiert und unter höchsten Sicherheitsanforderungen im Sperrlager eingelagert. Als besonderen Service bietet die AfB ihren Partnern zudem die Möglichkeit der Nachverfolgung der Geräte ab dem Zeitpunkt der Inventarisierung an.

### Gerätebehandlung

Im zweiten Schritt wird jedes Gerät im Detail (z. B. Hersteller, Modell, Seriennummer) erfasst, mit einem eindeutigen Identifizierer versehen und in das Warenwirtschaftssystem der AfB überführt. Anschließend wird der weitere Vertriebsweg des Gerätes festgelegt: Aufarbeitung und Remarketing oder Recycling. Ab diesem Moment gabelt sich somit der Prozessweg. Geräte bei denen eine Wiedervermarktungschance besteht, gehen in den Refurbishment-Prozess (linke Seite der Darstellung). Hardware die nicht mehr vermarktbar ist (da beispielsweise zu alt oder zu defekt), geht in den Recycling-Prozess (rechte Seite der Darstellung). Danach

wird die Hardware zerlegt. Die AfB betreibt dazu einen eigenen Zerlegebetrieb, der verschiedenen IT-Geräte zerlegt und in unterschiedliche Fraktionen zerlegt. Ausgebaute funktionstüchtige Komponenten werden in der Regel als Ersatzteile für die Reparatur verwendet. An mehreren Standorten werden defekte Datenträger mit hauseigenen Schreddern nach DIN 66399 zerstört. Die geschredderten Reste sowie die weiteren Bestandteile der zu defekten oder zu alten Geräte werden anschließend an zertifizierte Recycler übergeben. Unter Einhaltung hoher ethischer und ökologischer Standards werden sie in Europa recycelt, um die enthaltenen Metalle, Kunststoffe und Mineralien dem Wirtschaftskreislauf erneut zuzuführen und so zur innereuropäischen Rohstoffgewinnung beizutragen.

Die Prozesse der AfB sind auf das Refurbishment von IT-Geräten spezialisiert, welche die AfB bei ihren Partnern abholt. Alle Geräte, die personenbezogene Daten enthalten können, gehen zwingend in die Datenlöschung. Dazu bietet AfB einen zertifizierten Datenvernichtungsprozess (Schritt 3) mit anschließender Wiederaufbereitung (Schritt 4) an. Dazu werden die in den Geräten verbauten Datenträger vollständig und unwiderruflich gelöscht. Vor der Löschung prüft ein Techniker, ob alle Datenträger angeschlossen sind. Datenträger von Geräten, die nicht oder nicht vollständig gelöscht werden können, werden ausgebaut und wie oben beschrieben in den Schredder gegeben und gehen von dort in den weiteren Recyclingprozess. Wenn das Gerät ansonsten eine gute Wiedervermarktungschance hat, kann der ausgebaute Datenträger ersetzt werden. Die Unternehmen, von denen die AfB die Geräte bekommt, erhalten auditfähige Löscherichte als Nachweise je Gerät automatisch über den eindeutigen Identifizierer und das Kundenportal bzw. per E-Mail. Das Kundenportal weist auch stets den aktuellen Behandlungsstatus jedes Geräts aus.



**Abbildung 4 Bilder aus der Datenvernichtung bei AfB durch Schreddern (linkes und mittleres Bild) sowie durch die zertifizierte Löschesoftware der Blancco Technology Group (AfB gemeinnützige GmbH, o. J.-b)**

Nach der Datenvernichtung werden die Geräte professionell gereinigt, aufgerüstet und erhalten ein neues Betriebssystem (Schritt 4). Bei Bedarf werden sie von IT-Technikern repariert und/oder aufgerüstet.

Nicht in allen Standorten der AfB werden gleichviele Geräte angeliefert und es werden auch nicht alle Arbeitsschritte im gleichen Umfang durchgeführt. Lediglich die Datenlöschung erfolgt an allen Standorten. Die eigentlichen Refurbishment-Aktivitäten erfolgen in den größeren Niederlassungen. Das Recycling (s. Schritt ,2.3 in Abbildung 3 oben) erfolgt zentralisiert an einem Standort. Dort werden durch händische Zerlegung nicht nur Ersatzteile, sondern auch Rohstoffe gewonnen, die wie beschrieben an zertifizierte europäische Recyclingbetriebe abgegeben werden (Szombathy, 2019).

### **Ausgangslogistik/Verkauf**

Die wiederaufbereitete Ware wird größtenteils über eigene Kanäle, wie Ladengeschäfte oder den Onlineshop an Privatpersonen, Bildungseinrichtungen und Non-Profit-Organisationen vertrieben („Endkunden“). Der Großteil des Umsatzes wird im Endkundengeschäft gemacht. Dadurch erhalten die Zielgruppen Zugang zu wiederaufbereiteten, voll funktionsfähigen IT-Geräten zu niedrigeren Preisen als den Originalpreisen. Somit bedient die AfB hierdurch einen weiteren Aspekt sozialer Nachhaltigkeit, da der Zugang zu hochwertigen IT-Geräten aus finanzieller Sicht auch Personen und Organisationen mit geringerem Budget erleichtert wird (Sander et al., 2019, S. 131).

### **3.3 Ressourceneinsparung durch IT Refurbishment bei der AfB**

Wie oben beschrieben werden Geräte, die sich nicht wieder vermarkten lassen, im zertifizierten Entsorgungsbetrieb der AfB in verschiedene Wertstoffgruppen zerlegt, um sie einer sortenreinen Verwertung und einer Schadstoffentfrachtung

zuzuführen. Danach geht das getrennte Material nach Fraktionen sortiert zur Verwertung bei zertifizierten, europäischen Recyclern. Zwar könnten auch Maschinen IT-Geräte wie PCs und Server schnell und gut zerlegen, doch der Einsatz der manuellen Demontage, wie sie bei AfB praktiziert wird, hat drei klare Vorteile. Das ist zum einen die sortenreine Trennung. Stoffe, die im automatisierten Prozess noch mit Fremdstoffen vermischt werden, können manuell sortenreiner getrennt und dann auf einem höheren Niveau wieder eingesetzt werden. Auch die passgenaue Ersatzteilerzeugung stellt einen zentralen Vorteil dar. Im manuellen Recyclingprozess können funktionsfähige Bauteile, die für das Refurbishment benötigt werden, für die Aufarbeitung aussortiert werden. Die E-Schrott-Menge kann so signifikant weiter reduziert werden.

In einer Ökobilanzstudie, die gemeinsam mit der myclimate Deutschland gGmbH im Jahr 2021 durchgeführt wurde, konnte ermittelt werden, dass die AfB durch die Bearbeitung von rund 472.000 gebrauchten IT-Geräten 43.200 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>e), 24.700 Tonnen Rohstoffe und 300 Millionen Liter Wasser alleine im Jahr 2020 einsparen konnte (AfB gemeinnützige GmbH, 2021).

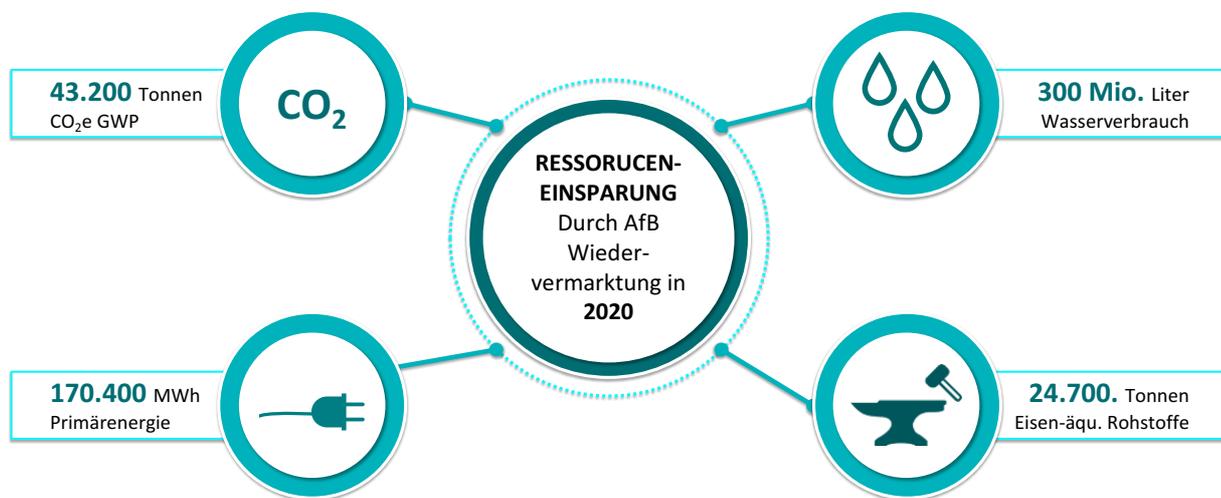
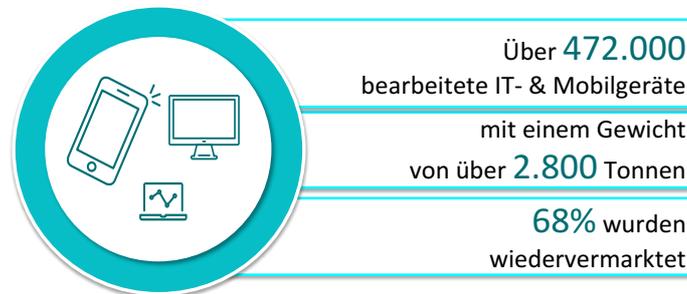


Abbildung 5 Ressourceneinsparungen AfB im Jahr 2020 (eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, 2021))

Die Ökobilanzstudie zeigte zudem, dass die Lebensdauererlängerung eines Notebooks von durchschnittlich 4,5 auf 7,5 Jahre (nach Wiederaufbereitung durch die AfB) eine Einsparung von 113,65 kg CO<sub>2</sub>e (=66 %) entspricht (AfB gemeinnützige GmbH, 2021).

Allein in 2020 wurden bei der AfB über 472.000 IoT- und Mobilgeräte mit einem Gesamtgewicht von über 2.800 Tonnen bearbeitet. 68% der Geräte wurden dabei wiedervermarktet.



**Abbildung 6 Refurbishment Zahlen AfB im Jahr 2020. Eigene Darstellung in Anlehnung an (AfB gemeinnützige GmbH, 2021)**

Eine Wiedervermarktungs-Quote von 68% bedeutet allerdings auch, dass dennoch gut 1/3 der bei der AfB eingehenden Geräte dem Recycling zugeführt werden. Insbesondere wenn Geräte in einem sehr schlechten Zustand oder bereits zu stark veraltet sind, ist das Steigerungspotenzial dieser Quote begrenzt. Die AfB sieht allerdings noch Potenzial die Refurbishment- und somit auch die Re-marketing-Quote zu steigern und hat sich zum Ziel gesetzt bis zum Jahr 2025 200.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-äqu. und 600.000 MWh Primärenergie einzusparen (AfB gemeinnützige GmbH, 2019). Um dies zu schaffen gilt es, die angelieferten Geräte noch effizienter zu bearbeiten und korrekt zu vermarkten. Dies kann mittels verschiedener Methoden erreicht werden. Der Einsatz von technischer Unterstützung in Form von Augmented Reality zur Steigerung der Effizienz und Remarketing-Quote könnte eine solche Möglichkeit sein. Das nächste Kapitel 4 stellt Augmented Reality als Technologie vor und zeigt Beispiele auf, in denen Augmented Reality in der Produktion und / oder einem inklusiven Umfeld bereits eingesetzt wird. In Kapitel 5 werden dann neue Ansätze für ein inklusives Umfeld im Bereich Refurbishment von Elektro- und Elektronikgeräten erörtert.

## 4 Augmented Reality - Technologie und bestehende Ansätze

Die vorherigen Kapitel haben die Wiederverwendung bzw. das Refurbishment umrissen, in die Kreislaufwirtschaft eingeordnet (Kapitel 2) und einen Einblick in die Situation und Prozesse in dem inklusiven, gemeinnützigen Wiederaufbereitungsunternehmen AfB gegeben (Kapitel 3). Dieses Kapitel 4 führt nun die Technologie Augmented Reality kurz ein und stellt einige bestehende Ansätze vor, in denen Augmented Reality im produzierenden bzw. inklusiven Umfeld eingesetzt wird. Da keine Ansätze identifiziert wurden, die den Dreiklang aus Augmented Reality, Refurbishment und Inklusion bedienen, ist dieses Kapitel 4 als

eine Vorbereitung auf Kapitel 5 zu verstehen, in dem neue Ansätze für einen inklusiven Wiederaufbereitungsbetrieb wie die AfB vorgestellt und qualitativ bewertet werden.

#### **4.1 Augmented Reality AR**

Mit Hilfe von Augmented Reality (AR) ist es möglich, virtuelle Inhalte wie Informationen oder Objekte in die reale Welt einzublenden. Dabei kommen je nach Anwendungsfall mobile Endgeräte (Tablet, Smartphone), Datenbrillen, Projektionen mittels Beamer oder Laser oder Kamera-/Monitorkombinationen zum Einsatz.

Durch den Einsatz von Augmented Reality wird die wahrnehmbare Realität um virtuelle Inhalte angereichert. So werden beispielsweise Texte, Bilder, Grafiken aber auch akustische Signale interaktiv und in Echtzeit mit der analogen Realität kombiniert. Diese bleibt weiterhin erkennbar und wird nicht vollständig überlagert, wie beispielsweise bei Virtual Reality Anwendungen (VR). Dabei sind AR Anwendungen weder auf rein visuelle Inhalte noch auf bestimmte Geräte (wie beispielsweise AR Brillen) beschränkt (Schmalstieg & Höllerer, 2016, S. 3). Gemäß der durch den Wissenschaftler Ronald Azuma im Jahr 1997 formulierten und heute am weitesten verbreiteten Definition von Augmented Reality muss das System in Echtzeit reagieren und die dargestellten Objekte bzw. Informationen 3-dimensional im Raum verankern. Das heißt, dass die Anwendung die Objekte und Informationen sich an die Dimensionen des betrachteten Sichtfeldes oder Raums anpassen und sich immer passend dazu ausrichten. Also bleibt die korrekte Dimensionierung und Positionierung des virtuellen Inhaltes erhalten, auch wenn die Anwendenden den Standort ändern oder die Größe des betrachteten Sichtfeldes bspw. durch das Zoomen in Anwendungen ändern (vgl. omnia360, 2020; Schmalstieg & Höllerer, 2016, S. 3).

Augmented Reality unterscheidet sich von Virtual Reality (also der virtuellen Realität) anhand des Grades der sogenannten Immersion, also dem Eintauchen oder der Veränderung der wahrgenommenen Realität. Die untenstehende Abbildung 7 zeigt diesen Unterschied:

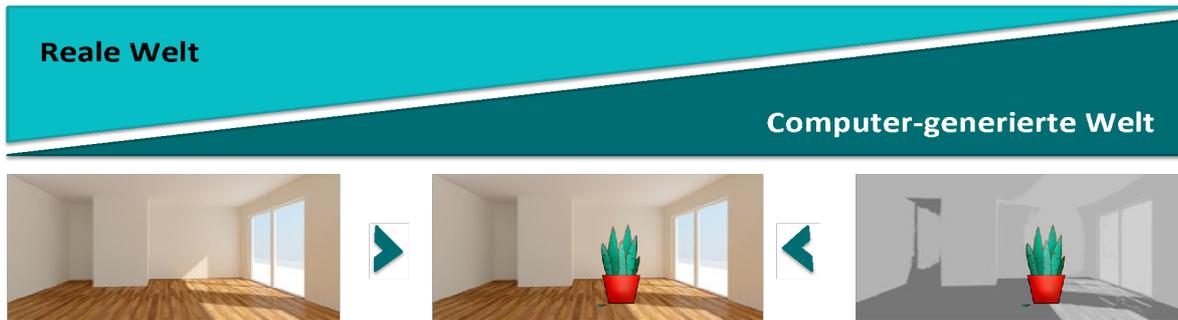


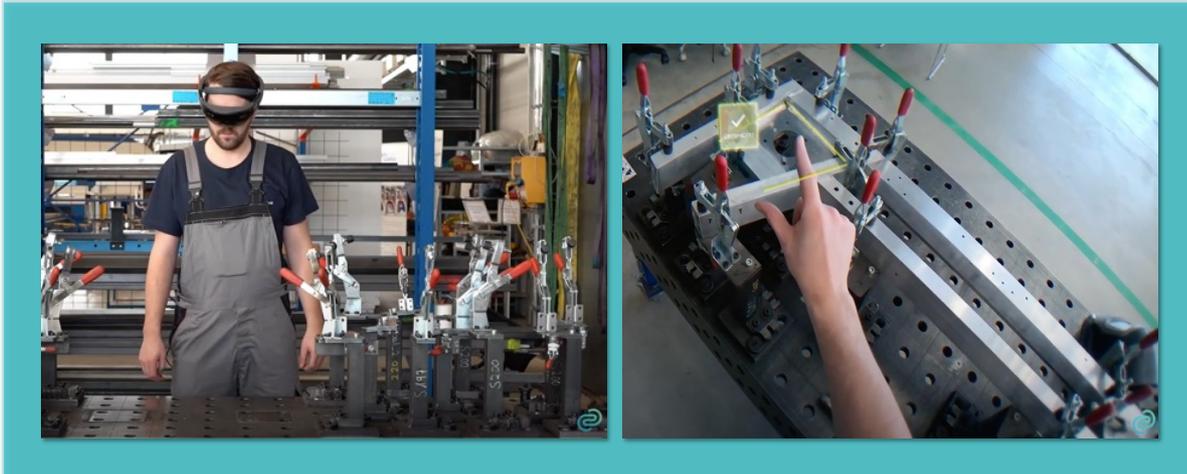
Abbildung 7 Kombination von realer Welt (links) und virtuellem Objekt (rechts) zur erweiterten Realität (Augmented Reality, Mitte), eigene Darstellung in Anlehnung an (Broll et al., 2013)

Augmented Reality kann mehr oder weniger immersiv sein, die Realität bleibt dabei jedoch stets wahrnehmbar. So werden Objekte oder akustische Signale in die wahrnehmbare Umgebung eingebettet und überlagern diese nicht vollständig. Streng genommen wird noch zwischen Augmented Reality und Mixed Reality unterschieden. Während bei Augmented Reality die dargestellten Objekte und Informationen Objekte der realen Welt eher optisch überlagern, fügen sich die Objekte bei der Mixed Reality in die 3-D Struktur der Umgebung ein. So würde die dargestellte Pflanze in Abbildung 7 in einer Augmented Reality Version stets vor anderen im Raum befindlichen Möbeln stehen, bei einer Mixed Reality könnte sie beispielsweise auch so angezeigt werden, als würde sie zwischen Sofa und Sofatisch stehen, falls solche Möbelstücke im Raum wären. Der Einfachheit halber werden wir im weiteren Verlauf nur von Augmented Reality sprechen. Mixed Reality kann jedoch mit gemeint sein. Auch werden in dieser Kurzstudie unter dem Begriff der Augmented Reality Optionen der Informed Reality betrachtet, das heißt auch die Einblendung von Informationen die nicht dreidimensional im Raum verankert sind werden mitbetrachtet (z. B. akustische Signale oder Einblendungen im Sichtfeld der Anwendenden oder auf Oberflächen).

Es gibt unter anderem die folgenden Optionen um Augmented Reality zu nutzen:

- *Mobile Augmented Reality*, also das Einblenden zusätzlicher Inhalte auf dem Bildschirm von Tablet oder Smartphone, wird vielfach im Consumer-Bereich eingesetzt oder in Anwendungsfällen, bei denen das Festhalten eines Gerätes mit der Hand nicht stört.
- Das *Augmentieren* von Kameraaufnahmen mit Hilfe von Überlagerungen *auf einem angeschlossenen Monitor* bietet sich für Arbeitsstationen an, die für eine Festmontage von Kamera und Monitor geeignet sind.
- Bei der *projektionsbasierten Augmented Reality* werden die Inhalte auf Oberflächen gestrahlt und dort sichtbar. Dies kann von einfachen Lichtsignalen, die Arbeitsbereiche kennzeichnen, bis hin zu Texten, Bildern und Videos reichen.

- *Head Mounted Displays* (HMDs, beispielsweise AR-Brillen) kommen immer dann zum Einsatz, wenn der Einsatzzweck freie Hände zum Ausführen der Arbeiten am Werkstück erfordert und/oder wenn eine dreidimensionale Darstellung der Inhalte essentiell ist. Beispiele hierfür sind Datenbrillen im Logistikbereich (Lagerarbeiter), Unterstützung bei Schweißvorgängen (s. Abbildung 8) oder in der Baubranche (Baubegehungen).



**Abbildung 8 AR Welding Assisntent - Einsatz von Augmented Reality / Mixed Reality im Schweißprozess. Beispiel für eine AR Prozessunterstützung (Schweißen) unter Verwendung einer AR Brille (wie links zu sehen). Quelle (codecentric AG, 2019)**

Kommerzielle Head Mounted Displays sind momentan einem starken Wandel unterzogen. Gerade im Bereich der dreidimensionalen Einblendungen behebt die zunehmende Verfügbarkeit hochauflösender Displays und Lichtfeldgeneratoren die Probleme wie geringe Lichtstärke, ein enges Sichtfeld („Field of View“) und einen geringen Tragekomfort. Der Einsatz von AR ist grundsätzlich jedoch nicht an den unbedingten Einsatz von Head Mounted Displays gebunden, auch in dieser Kurzstudie nicht.

Mit den über die AR Anwendung eingeblendeten virtuellen Inhalten kann, je nach Programmierung der Anwendung, interagiert werden. Die Einbindung dieser Inhalte in die reale Welt und die somit zusätzlichen verfügbaren Informationen können als eine Unterstützung in verschiedenen Anwendungsbereichen genutzt werden. Im professionellen Umfeld sind dies insbesondere Arbeitsanweisungen, 3D-Darstellungen im Raum von beispielsweise Produkten oder Gebäudearchitekturen, die Simulation von Situationen oder das Erlernen von Arbeitsschritten durch entsprechende Hinweise. Dabei kann das Level der Interaktion stark variieren. Die Interaktion mit den Nutzenden kann wie oben beschrieben also beispielsweise in Form einfacher Licht- oder Tonsignale aber auch bis hin zu aufwändigen Visualisierungen erfolgen. Die Interaktion der Nutzenden mit den Hinweisen oder Inhalten kann

dementsprechend ebenfalls sehr eingeschränkt (statische Inhalte) bis hin zu aufwändig erfolgen (wie die Interaktion mit virtuellen Schaltflächen, die im Sichtfeld einer AR-Brille erscheinen oder auf eine Oberfläche projiziert werden). Im Umkehrschluss kann die AR-Anwendung je nach Programmierung mehr oder weniger Aktionen der Nutzenden oder Situationen in der Umgebung erkennen, Interaktionen der Nutzenden mit der Anwendung registrieren und darauf reagieren (beispielsweise mit der Anzeige neuer Hinweise). AR Anwendungen sind somit häufig auch mit weiteren Technologien wie Künstlicher Intelligenz (KI) und Bilderkennung verbunden.

Auch ist es möglich, dass über die AR-Anwendung Informationen aufgenommen und später verarbeitet werden können, beispielsweise Fehlerquoten, Materialbestände, Fotos etc. Aufgenommene Fotos können dann in der AR-Anwendung oder einer anderen Anwendung angezeigt oder einem anderen Ablageort abgespeichert werden. Hierzu muss die AR-Anwendung mit einem Netzwerk verbunden sein.

#### **4.2 Bestehende AR Ansätze und Projekte im produzierenden und/oder inklusiven Umfeld**

Im Bereich des Einsatzes von Augmented Reality für Montage-Prozesse gibt es bereits einige Beispiele am Markt, die für manuelle Produktionsschritte oder sogenannte Assembly Prozesse (also das Zusammenfügen verschiedener Komponenten zu einem Produkt oder Bauteil) Unterstützung bieten. Teilweise sind diese bereits für die Unterstützung und Weiterbildung von Menschen mit körperlichen oder geistigen Einschränkungen konzipiert. Die nachfolgenden Ausführungen zeigen einige identifizierte Beispiele. Die Vorstellung erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll einen Eindruck zu verschiedenen Einsatz- und Ausgestaltungsmöglichkeiten bieten. Eine bestehende AR-Lösung in den Bereichen Disassembly (als dem Auseinanderbauen von Bauteilen), Reparatur und Refurbishment wurde weder mit noch ohne Fokus auf Inklusionsmitarbeitende gefunden. Dies unterstreicht, dass mit dieser Kurzstudie neue Anwendungsfelder betrachtet werden.

Ein Beispiel für die Unterstützung, Aus- und Weiterbildung von Menschen unter Einbezug von AR-Technologie ist eine Anwendung, die im Rahmen des Projekts *KoBeLu* erarbeitet wurde. KoBeLu steht für "Kontextbewusste Lernumgebung für die Aus- und Weiterbildung" und entwickelt ein interaktives System, das Nutzende durch eine Kombination aus Projektion, Gamification und Emotionserkennung assistiert. Die Technologie lässt sich breit einsetzen. So ist die Unterstützung von Lernenden in Praktika, in der Aus- und Weiterbildung aber auch die Unterstützung von Menschen mit Behinderung oder nach Unfällen beim (Wieder-)erlernen von Tätigkeiten genutzt

werden. Während berufliche Ausbildung oftmals durch Vermittlung abstrakten Wissens ohne unmittelbaren Praxisbezug stattfindet, soll KoBeLu ein praxisnahes, und an individuelle Bedürfnisse angepasstes Lernen ermöglichen. Dafür vereint die Anwendung drei zentrale Funktionen: Die Projektion von relevanten Inhalten in den Arbeitsbereich schafft eine direkte Interaktion und Anleitung am Objekt. Die Emotionserkennung ermöglicht das direkte Reagieren auf die Nutzenden und eine entsprechende, auf die Person und Situation zugeschnittene Adaption der Abläufe. So soll bei erkennbarer Nervosität die Prozessgeschwindigkeit beispielsweise gedrosselt werden, während sie bei Langeweile erhöht werden kann. Gamification-Elemente fördern Begeisterung und Motivation durch den gesamten Prozess hinweg (*KoBeLU – Kontextbewusste Lernumgebung*, o. J.).

Auch das Assistenzsystem *IncluMOVE* arbeitet mit Gamification und Projektion und zielt darauf ab, Menschen mit Behinderungen durch Augmented Reality-Technologien im Berufsleben beim Lernen und Arbeiten zu unterstützen. Das Projekt fokussiert sich dabei auf Montagetätigkeiten, die in zahlreichen Branchen eine zentrale Anforderung an technische Berufsbilder sind. Es soll eine Qualifikation in diesem Bereich zur Eingliederung von neurodiversen Menschen in den allgemeinen Arbeitsmarkt ermöglichen. Die Anwendung assistiert beim Erlernen und Ausführen von elektronischen Montageaufgaben und fördert so inklusive Arbeitsumgebungen. Im Prozess werden insbesondere Projektionen als unterstützende Technologie verwendet, die durch visuelle Anleitungen und das Einblenden von Hilfestellungen in dem Sichtfeld der Nutzenden die Ausführung erleichtert. Ein Kamerasystem mit Objekterkennungssoftware zeigt Arbeitsschritte an und überprüft, ob diese korrekt ausgeführt werden. Optische Sensoren erfassen die Arbeitsumgebung, den Mitarbeitenden und die Bauteile und erweitern diese um projizierte Hilfselemente, die wichtige Bereiche für jeden Schritt auf der Arbeitsfläche hervorheben. Zudem gibt ein virtueller Assistent, welcher in Zusammenarbeit mit Arbeitenden mit Lernschwierigkeiten entstanden ist, zusätzliche multimediale Anweisungen in Form von Audiosignalen, Text, oder Bildern, die an die kognitiven Bedürfnisse der Mitarbeitenden angepasst werden können. Darüber hinaus wird technisches Hintergrundwissen als zusätzliche Information eingeblendet und so zugleich der Aufbau von beruflichem Fachwissen und Methodenkompetenz unterstützt. Die Kombination aus einem erweiterten Interaktionsraum und dem virtuellen Assistenten mit Hilfe von Augmented Reality ermöglicht ein intuitives, personalisiertes Lernen und Ausführen, das auf die Fähigkeiten der Nutzenden abgestimmt ist. Durch den Einsatz von Gamification und spielerischen Elementen soll die Arbeit ansprechender

gestaltet werden und Erfolgserlebnisse und Spaß gefördert werden (*Assistenztechnologie für Menschen mit Leistungsminderung*, o. J.).

Auch das Unternehmen RK Rose + Krieger hat ein ähnliches kognitives Assistenzsystem für manuelle Arbeitsplatzsysteme entwickelt, das *Der Schlaue Klaus* genannt wird und insbesondere in Montageprozessen eingesetzt wird. Da sich diese durch eine hohe Komplexität und kognitive Belastung der Mitarbeitenden auszeichnen, kann das Assistenzsystem für die Arbeit im Fertigungsprozess Erleichterung und die Effizienz steigern. Dieses System erfasst mit Hilfe von Kamerabildern die Arbeitsumgebung und verknüpft diese mit bestehenden Daten, um die Situation zu erfassen und situationsangepasste Vorgaben abzuleiten. Auf Basis von Sensoren, Algorithmen und künstlicher Intelligenz werden Arbeitsschritte erfasst und unterstützende Anleitungen entwickelt. Zusätzlich umfasst das System eine Kontrollfunktion, die Fehler meldet und Hinweise zu Korrekturen gibt (RK Rose + Krieger GmbH, o. J.).

Das Unternehmen RE'FLEKT entwickelt ebenfalls AR-Anwendungen für Firmen und verspricht durch die Unterstützung der Mitarbeitenden eine 25%ige Steigerung der Effizienz. Während die steigende Komplexität industrieller Prozesse aufgrund mangelnden Fachwissens und veralteter Methoden im Anlernprozess Zusatzkosten verursacht, sollen technologische Lösungen durch intelligente, datenbasierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen und visuelle Projektionen die Fehlerwahrscheinlichkeit um 90 % reduzieren und auch die Prozessdauer um 20 % verkürzen. Mit dem System *REFLEKT ONE* sollen digitale Trainingshandbücher und visuelle Anweisungen in die Arbeitsprozesse integriert werden und diese so einfacher gestaltet werden, was den Wissenstransfer und die Betriebsabläufe optimiert und effizienter gestaltet (RE'FLEKT GmbH, o. J.).

Die oben genannten Beispiele unterstreichen, dass deutliche Potentiale im Einsatz von Augmented Reality-Anwendungen in Montageprozessen liegen. Sie zeigen auf, wie hochkomplexe und auf speziellen Kompetenzen basierende Arbeitsprozesse unterstützend gestaltet werden können. Dabei werden auch die Möglichkeiten verdeutlicht, die sich für die Integration von Menschen mit körperlichen aber auch geistigen Behinderungen in den allgemeinen Arbeitsmarkt eröffnen. Da keine Anwendungen identifiziert wurden, die Inklusion und Refurbishment miteinander verzahnen, widmet sich das nachfolgende Kapitel 5 der Identifikation von Ansätzen in denen mittels AR Inklusion und Refurbishment im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft unterstützt werden können.

## 5 Identifikation und Bewertung von AR Ansätzen für das Refurbishment von Elektro- und Elektronikaltgeräten in einem Inklusionsbetrieb

AR-Anwendungen bieten vielfältige Optionen, um Informationen interaktiv in den Arbeitsprozess einzubinden und sogar mit ihnen zu interagieren. Dabei können Informationen, Hinweise und Anweisungen situationsgenau und nutzerzentrisch bereitgestellt werden. Daher scheint ein Einsatz von AR-Anwendungen im komplexen Umfeld der inklusiven Wiederaufbereitung viel versprechend. Im Hinblick auf inklusive Arbeit ist AR technisch ausreichend individualisierbar, um den Anforderungen unterschiedlicher Anwendenden gerecht zu werden und sie in ihrem Arbeitsalltag zu unterstützen. Gerade dieser Aspekt der Unterstützung ist vor dem Hintergrund der Inklusion besonders relevant, da der Einsatz dieser Technologie nicht auf ein Ersetzen der Inklusionsmitarbeitenden zielt. Zudem können AR-Anwendungen auch mit künstlicher Intelligenz kombiniert werden, was die Möglichkeit bietet, korrigierende Hinweise und Hilfestellungen in Echtzeit anzubieten und so die Prozess- bzw. Output-Qualität zu erhöhen.

Die im vorherigen Kapitel vorgestellten AR-Projekte und AR-Anwendungen bieten bereits interessante Ansätze zur Unterstützung von Menschen mit und ohne Einschränkungen beim (Wieder-) Erlernen von Tätigkeiten und der Ausführung von Prozessschritten, die einen hohen manuellen Arbeitsanteil haben. Keine der Lösungen beschäftigt sich jedoch mit Refurbishment. Somit sind sie, nach dem ersten Eindruck, auch nicht auf unterschiedliche und in ihrer Zusammensetzung spontan variierende Inputströme ausgerichtet. Die Geräte, die ins Refurbishment gelangen, variieren jedoch und müssen teils auch unterschiedlich behandelt werden. Der Bearbeitungsprozess kann sich somit regelmäßig (mitunter von einem zu bearbeiteten Gerät zum nächsten) ändern, wenn auch vielleicht nur in Nuancen. Darin begründet liegen die besonderen Anforderungen an potenzielle AR-Ansätze und Anwendungen, die Refurbishment-Prozesse unterstützen sollen: Sie müssen sich auf genau diese variierenden Inputströme einstellen können und brauchen somit Zugriff auf eine große Bandbreite an Informationen und müssen sich im Refurbishment-Alltag leicht an das jeweils zu bearbeitende Gerät anpassen (lassen). Gleichzeitig sollen die neuen Ansätze auch das Inklusionsumfeld und die Ressourceneffizienz unterstützen.

Die identifizierten Ansätze werden im Folgenden vorgestellt (Abschnitt 5.1) und anschließend bewertet (Abschnitt 5.2).

### 5.1 Identifikation neuer Ansätze

Um Einsatzmöglichkeiten von AR im Bereich der Wiederaufbereitung von Elektro- und Elektronikaltgeräten in Kombination mit Inklusion in einem diversen Umfeld zu

identifizieren, wurden Interviews mit Mitarbeitenden der AfB gemeinnützige GmbH aus den Bereichen Unternehmensführung, Produktionsmanagement und Mitarbeitenden-Betreuung geführt. Dazu wurde die Methode der semi-strukturierten Kontextinterviews gewählt. Der Schwerpunkt der Interviewführung lag dabei nicht in der Diskussion möglicher AR-Lösungen. Stattdessen wurden die Mitarbeitenden über ihren Arbeitsalltag und die typischen Situationen und Herausforderungen befragt, die ihnen dort begegnen. Dies vermeidet einen sogenannten “Confirmation Bias”, also eine Zustimmung zu möglichen angebotenen Lösungen aus Sympathie. Die Interviewten wurden zunächst über die alltäglichen Arbeitsabläufe, Herausforderungen und Lösungen und Prozesse in ihrem Arbeitsumfeld befragt. Erst nach diesem Schritt wurden Lösungen, die zu den Herausforderungen im Arbeitsalltag passen, unterbreitet und mit den interviewten Personen gemeinsam diskutiert. Dabei wurden die nachfolgenden Ansätze für prozessunterstützende Maßnahmen mit Hilfe technischer (AR-) Unterstützung identifiziert:

**Tabelle 3 Identifizierte AR-Ansätze**

<b>AR für Untertitel für Hörgeschädigte nutzen</b>
<p>Für Mitarbeitende mit eingeschränktem Hörvermögen könnte eine Untertitelung der Worte des Gesprächspartners eine große Unterstützung sein. Hierfür können moderne Speech-to-Text-Dienste wie IBM Watson, Google Cloud Speech oder die Microsoft Azure Spracherkennung zum Einsatz kommen. Diese Dienste können schnell per Cloud-Service prototypisiert werden und später in einer on-premise Variante des Dienstes datenschutzkonform betrieben werden. Die entstehenden Texte können auf eine Datenbrille als 2D-Einblendung dargestellt werden.</p>
<b>Optische Mängel erkennen</b>
<p>Wenn ein Gerät für das Refurbishment in Frage kommt, muss eine Mängelbewertung erfolgen. Im Bereich der optischen Mängel handelt es sich insbesondere um Dellen, Kratzer, Verfärbungen oder andere Schäden.</p> <p>Hier gäbe es die Möglichkeit, über Kameras zu erfassen, welche Mängel es am Gerät gibt. Dazu wird das Gerät beispielsweise in verschiedenen Winkeln und Positionen unter eine oder mehrere fest installierte Kameras gehalten. Die Programmierung kann dann den optischen Zustand des Gerätes mit Modellen abgleichen und anhand mehrerer Merkmale Mängel erkennen und eine Bewertung vorschlagen. Diese Lösung basiert im Kern auf Künstlicher Intelligenz (KI). Das entstehende Resultat kann anschließend per AR dargestellt werden. Die Bewertung der Schäden fließt in die Zustandsklasse des Gerätes ein, bestimmt den Umfang der vorzunehmenden Aufbereitung und definiert auch den Wiedervermarktungswert des Geräts. Dabei unterliegt die genaue Bewertung dieser Schäden subjektiven Schwankungen, die zu Reklamationen bei den Endkunden führen können. Dies kann zu vermeidbaren Retouren oder Erstattungsforderungen führen. Die Zielsetzung einer Standardisierung der Mängel-Bewertung über alle Standorte und</p>

Mitarbeitende hinweg, macht diesen Anwendungsfall besonders attraktiv. Die Retouren-Quote könnte so positiv beeinflusst werden, was sich nicht nur auf die Kostenreduktion auswirkt, sondern auch auf die Endkundenzufriedenheit.

### **Erfassung des Gerätetyps beim Wareneingang**

Bei der Identifikation der unterschiedlichen Gerätetypen fällt eine Unterscheidung verschiedener Modelle bzw. Produktunterkategorien [z. B. Bildschirm (= ohne Datenträger) oder Thin Client (= mit Datenträger)] sehr schwer, vor allem bei zunehmender Gerätevielfalt und schnellen Marktveränderungen. Mit Hilfe von Computer Vision, einer Unterdisziplin des Machine Learning, könnten Gerätetypen per Kamerabild identifiziert werden. Dazu wird das Gerät ebenfalls unter eine oder mehrere Kameras gehalten. Die Programmierung gleicht das Gerät mit hinterlegten Modellen ab und erkennt anhand mehrerer Merkmale den korrekten Typ. Der ermittelte Gerätetyp kann dann aufgabenangemessen dem Mitarbeitenden dargestellt werden, beispielsweise per AR oder aber auch über einen Computer bzw. das Warenwirtschaftssystem. Auch Folgeentscheidungen zum weiteren Umgang mit dem Gerät wie Begutachtung oder das direkte Aussortieren bei veralteten Gerätetypen können direkt vom System getroffen werden, was die Mitarbeitenden zusätzlich entlastet und einen einheitlichen Umgang mit den Geräten unterstützt.

Über diesen Ansatz könnten zudem zusätzlich Fotos zum optischen Gerätezustand aufgenommen und gespeichert werden. Diese Aufnahmen könnten dann in die Bewertung des Gerätes bzw. seiner Mängel einfließen (s. o.). Die Bilder können aber auch als Nachweis des Zustandes zum Zeitpunkt der Anlieferung gegenüber dem Erstkunden dienen. Gleichzeitig könnte mit diesen Aufnahmen nachvollzogen werden, ob im weiteren Handling Schäden hinzukommen, was diesbezügliche Rückschlüsse auf Prozessverbesserungen zuließe.

### **Anlernen / Unterstützung im Prozess / bei Prozessänderungen**

Neue Mitarbeitende benötigen Unterstützung beim Erlernen der Prozessschritte. Je nach Fähigkeit der Mitarbeitenden kann diese Phase der Unterstützung länger oder kürzer und mehr oder weniger intensiv ausfallen. In jedem Fall gibt es aufgrund der Diversität der Geräte vielfältige Anweisungen wie mit dem jeweiligen Gerät umgegangen werden muss. Zudem passen sich auch einmal erlernte Abläufe an, wenn sich organisatorische Änderungen im Unternehmen verändern oder immer neue Gerätearten, -modelle oder -typen zum Refurbishment kommen. In diesem Ansatz geht es somit um die Bereitstellung der notwendigen Informationen an der Arbeitsstation, mithilfe derer die Mitarbeitenden in ihren Entscheidungen zu den richtigen Arbeits- und Prozessschritten unterstützt werden. Diese Informationen (z. B. visuell und/oder akustisch) könnten zum einen individualisiert für die jeweiligen kognitiven und physischen Ressourcen der Mitarbeitenden, zum anderen aufgabenangemessen für seinen Arbeitskontext bereitgestellt und aktuell gehalten werden. Ein Beispiel wäre eine Demontageanleitung für neue Gerätetypen. Auch neu eingestellte Mitarbeitende können so schnell produktiv werden. Mitarbeitende, die schwerer mit Veränderungen umgehen oder neue Abläufe nicht so leicht verinnerlichen, können produktiv bleiben oder ihre Produktivität sogar steigern, ohne sich dadurch unter Druck gesetzt zu fühlen. Hier wäre beispielsweise auch eine Kopplung mit Ansätzen zur Emotionserkennung und Anpassung der Prozessgeschwindigkeit analog zu dem Vorgehen bei in Absatz 5.2 vorgestellten Ansatz KoBeLu denkbar. Die Informationen

könnten den Mitarbeitenden dabei beispielsweise per AR-Brille, per Ansagen, Displays oder Projektionen oder einer Kombination bereitgestellt werden.

### **Remote Assistance**

Bei diesem Ansatz geht es darum, dass sich im Bedarfsfall erfahrene Mitarbeitende per Datenbrille oder auch mobilem Endgerät (Tablet, Smartphone) eine Situation ansehen und den Nutzenden kontextbezogene Anweisungen geben können, gerade wenn sich beide Personen nicht am gleichen Ort befinden. Dieser Anwendungsfall ist in der Industrie so häufig, dass er bereits durch Produkte verschiedener Firmen besetzt ist, z. B. Re'flect Remote oder Microsoft Dynamics 365 Remote Assist. Der Anwendungsfall ist damit weder neu noch als für das betrachtete Umfeld spezifisch anzusehen. Die Option aber kann als Synergie interessant werden, falls Hardware angeschafft wird, auf der eines dieser Produkte läuft. Die Remote Assistance könnte somit spontan bei Bedarf eingesetzt werden, wenn ohnehin Geräte zur Verfügung stehen, denn die Umsetzung braucht keine weitere Infrastruktur außer zweier Geräte die über das Internet miteinander verbunden werden können.

### **Video-/Fotodokumentation von Schredder-Prozessen**

Bei der Vernichtung von Datenträgern ("Schreddern") müssen zur Qualitätssicherung aktuell zwei Mitarbeitende anwesend sein. Dies ist aus Gründen der Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit weniger wünschenswert. Die Anwesenheit eines Mitarbeitenden bzw., dass Mitarbeitende nahe am Schredder stehen müssen, könnte durch eine Video- oder Fotodokumentation ersetzt werden. In diesem Fall könnte eine AR-Brille in Kombination mit fest installierten Kameras den Schredder-Prozess aufzeichnen und so die Auditierbarkeit auch gegenüber den anliefernden Kunden (Erstkunden) sicherstellen. Um die Anwesenheit von Mitarbeitenden im Schredderraum während des Schreddervorgangs gänzlich vermeiden zu können, müsste allerdings zusätzlich eine Möglichkeit geschaffen werden, den Schredder automatisiert zu bestücken, beispielsweise über eine Bandanlage die außerhalb des Raumes bestückt wird.

Die Darstellung dieser einzelnen Ansätze ist, wie eingangs erwähnt, nicht auf die Nutzung bestimmter AR-Technologien festgelegt. Sie bieten alle die Option, den situativ passendsten Ansatz zu wählen. Zudem können die Optionen eigenständig genutzt, oder auch miteinander verzahnt werden. Für die Bereitstellung von Informationen beim Anlernen und Unterstützen, aber auch bei der Erfassung des Gerätetyps beim Wareneingang werden beispielsweise jeweils detaillierte Informationen zu verschiedenen Geräten benötigt. Diese müssten in einer Datenbank hinterlegt sein, auf die in beiden Anwendungsfällen zugegriffen würde. Die Verarbeitung und Ausgabe der Daten und Hilfestellungen kann sich in beiden Anwendungsfällen unterscheiden, es ließe sich aber auch eine ähnliche Basisdateninfrastruktur nutzen. Weitere Kombinationen sind denkbar.

Eine Übertragbarkeit auf die Refurbishment-Prozesse anderer Betriebe ohne Inklusion oder auch Betriebe mit manuellen Prozessen außerhalb des Refurbishments ist je nach Lösung ebenfalls denkbar. Beispiele hierfür sind neben Remanufacturing und Recycling auch die Bewertung von Re-Use Chancen, die Sortierung von Materialien oder Reparaturservices.

## 5.2 Bewertung identifizierter Ansätze

Im nächsten Schritt werden erfolgt die Bewertung der soeben vorgestellten identifizierten Ansätze. Dazu wird zunächst die Methode vorgestellt anhand der danach jeder identifizierte Ansatz qualitativ bewertet wird.

### Methode

Die Bewertung der im letzten Abschnitt dargestellten Ansätze erfolgt zunächst anhand einer qualitativen Bewertung durch einen Scoringansatz in verschiedenen Kategorien.

Nachfolgend werden alle Ansätze nach den Kriterien *Inklusion*, *Aufwand* (für Entwicklung und Einführung, Infrastruktur und laufenden Betrieb bzw. Pflege), *Adaptivität*, und *Ressourceneffizienz* (Energieaufwand, Steigerung Refurbishment-Quote) qualitativ nach einem Punktesystem mit Punkten von Null bis Fünf bewertet. Anhand dieser Bewertungskriterien können die Ansätze im Sinne der Dimensionen der eingangs genannten Ausgangshypothesen abgeschätzt werden. Die nachfolgende Tabelle liefert erklärende Erläuterungen je Kriterium:

Tabelle 4 Bewertungskriterien

Kriterium	Erläuterung
<b>Inklusion</b>	Hier wird bewertet, wie gut der Ansatz die Inklusion steigert. Dies erfolgt bspw. durch eine gute Unterstützung von Mitarbeitenden mit Behinderung in Arbeitsprozessen oder einen einfacheren Zugang für Inklusionsmitarbeitende zu Tätigkeiten.
<b>Aufwand</b>	Der Aufwand der mit der Einführung und dem Betrieb des jeweiligen Ansatzes verbunden ist, wird anhand von drei Aspekten eingeschätzt:
<i>Entwicklung und Einführung (zeitlich + personell)</i>	Der Aufwand für die Entwicklung und Einführung wird insbesondere aus dem Blickwinkel des zeitlichen und personellen Aufwandes betrachtet. Je länger bzw. je mehr Personal für die Entwicklung und Einführung der Lösung benötigt wird, desto höher der diesbezügliche Aufwand. Dies schließt den Aufwand für das Training eventueller dahinterliegender KI-Algorithmen genauso ein, wie die Beauftragung externer Firmen, bspw. für die Programmierung.
<i>Infrastruktur</i>	Hier wird der Aufwand für die Schaffung der nötigen Infrastruktur bewertet. Je mehr Hardware (mobile oder fest installierte Geräte und Arbeitsstationen) oder Infrastrukturen wie Datenbanken und Internetverfügbarkeit bereitgestellt werden müssen, desto höher der Aufwand.

<i>Laufender Betrieb / Pflege</i>	Jede Anwendung verursacht Aufwand im Betrieb. Sie muss bedient, aktualisiert und gewartet werden. So muss Hardware gereinigt und ggf. repariert und Software bzw. Datenbanken und jeder Algorithmus gepflegt werden, damit eine Lösung aktuell und nutzbar bleibt. Hier wird ebenfalls der Aufwand auf Programmierungsseite mitbetrachtet, aber eben nach der Phase der Entwicklung und Einführung.
<b>Adaptivität</b>	Die Adaptivität beschreibt, wie gut sich der Ansatz auf neue Gegebenheiten anpassen lässt bzw. in sich verändernden Situationen genutzt werden kann. Ist die Lösung sehr spezifisch auf einen Anwendungsfall ausgerichtet und lässt sich dieser schwer aktualisieren, so wird die Adaptivität als sehr gering bewertet.
<b>Ressourceneffizienz</b>	Da die technische Unterstützung des inklusiven Refurbishment-Prozesses im Sinne einer ressourceneffizienten Kreislaufwirtschaft erfolgen soll, müssen die Auswirkungen jedes Ansatzes auch auf die Ressourceneffizienz betrachtet werden. Dabei sind insbesondere der Energieverbrauch und der Beitrag zu betrachten, den jeder Ansatz zur Steigerung der Refurbishment-Quote leistet. Die Dimension des Hardwareeinsatzes wird beim Aufwand (Infrastruktur) berücksichtigt und wird hier daher nicht erneut aufgeführt.
<i>Energieeinsatz</i>	Je komplexer ein Ansatz, also je mehr stromverbrauchende Geräte / Hardware eingesetzt werden und je intensiver der Energieverbrauch im Betrieb ist (bspw. durch Rechenleistungen, Zugriff auf Server etc.), desto höher der Energieverbrauch.
<i>Steigerung Refurbishment-Quote</i>	Hier wird der Beitrag abgeschätzt, den jeder Ansatz zur Steigerung der Refurbishment-Quote leistet.
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	Die Wirtschaftlichkeit setzt sich zusammen aus dem zu erwartenden Aufwand, den Kosten in der Anschaffung und dem Betrieb bzw. Pflege auf der einen Seite, sowie möglicher Steigerungen in der Refurbishmentquote und Kostensenkungen auf der anderen Seite. Hierzu zählt neben der Reduktion vermeidbarer Reklamationen auch ein effizienterer Personaleinsatz, beispielsweise durch eigenständigeres Anlernen in der Anlernphase oder einem reduzierten Personaleinsatz im Schredderraum. Die freiwerdenden Personalzeiten können somit in anderen Bereichen eingesetzt werden.

Per Punktesystem werden nun je Kriterium Punkte von Null bis Fünf vergeben. Dabei stehen null Punkte für „nicht gegeben,“ ein Punkt für „sehr gering“, zwei Punkte für „gering“, drei Punkte für „mittel“, vier Punkte für „hoch“ und fünf Punkte für „sehr hoch“:

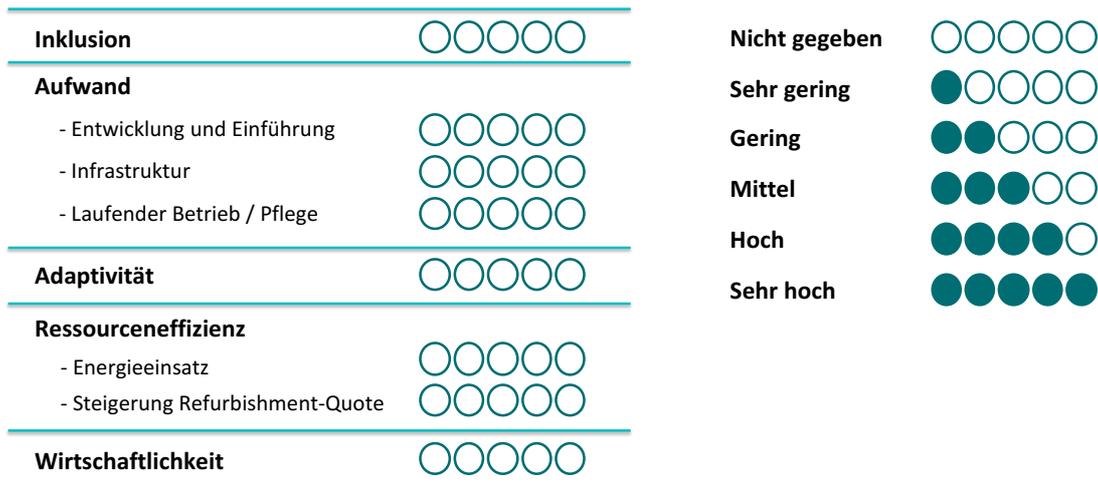
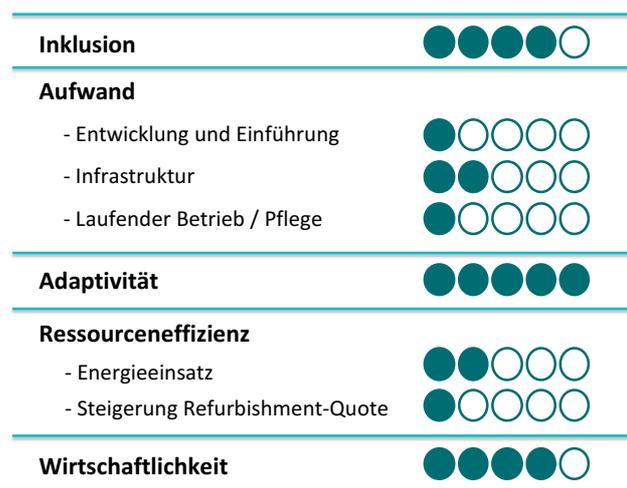


Abbildung 9 Bewertungsschema (eigene Darstellung)

Die Kriterien erhalten dabei die gleiche Gewichtung, da für den Erfolg eines Ansatzes alle Dimensionen relevant sind. Da kein bestehender Ansatz identifiziert wurde, in dem AR bereits im Bereich Refurbishment eingesetzt wird und da diese Kurzstudie keine detaillierten Parameter je Ansatz festlegt, handelt es sich hier um stark annahmenbasierte Abschätzungen. Nachfolgend werden die einzelnen Ansätze nach dem oben beschriebenen Schema bewertet.

## Bewertung

### Bewertung AR für Untertitel für Hörgeschädigte



Die Untertitelung der Worte des Gesprächspartners kann Hörgeschädigten eine deutliche Erleichterung im Arbeitsalltag und auch neue Beschäftigungsoptionen bieten. Der Ansatz wird als „hoch“ *inklusiv* bewertet, denn diese Lösung hilft Hörgeschädigten Gesprochenes besser zu verstehen, würden es Taubstummen

Personen jedoch nicht ermöglichen mit Hörenden zu kommunizieren. Daher wurde der letzte mögliche Punkt nicht vergeben. Die Nutzung von AR zur Einblendung von Untertiteln z. B. über AR-Brillen ist eine neue Kombination bereits etablierter Technologien. Die Installation der Anwendung sollte ohne weiteren Programmieraufwand möglich sein. Daher wird der *Aufwand für die Entwicklung und Einführung* dieses Ansatzes als „sehr gering“ eingeschätzt. Der Aufwand für die

*Infrastruktur* wird als „gering“ bewertet, da eine durchgängige Internetverbindung gewährleistet sein muss, allerdings nur an den Orten an denen die entsprechende Person typischerweise arbeitet. Die *Adaptivität* ist allerdings „sehr hoch“, da die Lösung ohne weiteren Anpassungsbedarf in den täglichen Situationen einsetzbar ist. Der *Energieverbrauch* ist als „gering“ zu bewerten. Der Beitrag zu *Steigerung der Refurbishment-Quote* wird als „sehr gering“ erwartet, da zwar bei der Kommunikation unter den Mitarbeitenden unterstützend eingegriffen wird, nicht aber in den direkten Refurbishment-Prozess. Die Hardware und Software für die Anwendung sind am Markt verfügbar und die Anschaffungskosten recht spezifisch kalkulierbar. In der Praxis spielen üblicherweise die Hardwarekosten eine untergeordnete Rolle, da die einzusetzende oder eingesparte Personalzeit in der Kommunikation deutlich höher anzusiedeln ist. Daher ist die *Wirtschaftlichkeit* als „hoch“ anzusehen.

### Bewertung Optische Mängel erkennen

<b>Inklusion</b>	●●●●●
<b>Aufwand</b>	
- Entwicklung und Einführung	●●●●●
- Infrastruktur	●●●●○
- Laufender Betrieb / Pflege	●●●○○
<b>Adaptivität</b>	●●●●○
<b>Ressourceneffizienz</b>	
- Energieeinsatz	●●●○○
- Steigerung Refurbishment-Quote	●●○○○
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	●●●●○

Die *Inklusion* ist bei dem Ansatz der Erkennung optischer Mängel als „sehr hoch“ bewertet, denn so könnten auch Menschen mit Sehschwäche sowie Menschen mit schwankender Wahrnehmung in den Prozess eingebunden werden. Der personelle und zeitliche *Aufwand für die Entwicklung und Einführung* der Lösung ist als

„sehr hoch“ zu erwarten. Eine solche Lösung aufzubauen bzw. zu programmieren, die Bilderkennung dahinter zu trainieren und den Aufbau der Hardware genau zu kalibrieren erfordert Zeit und sowohl internes Personal als auch externe Firmen. Zudem müssen viele Geräte erkannt werden. Eine Kombination des Ansatzes mit der Idee, Bilder für den weiteren Prozess zu speichern und zu verwenden oder bspw. per AR-Brille visuelle Hilfestellung zur korrekten Bedienung der Anwendung bereitzustellen, würde diesen Aufwand sogar noch erhöhen. Der Aufwand für die Infrastruktur wird ebenfalls mit „hoch“ eingeschätzt. Es muss Hardware in Form von Kameras aber auch die Infrastruktur im Sinne von Internetverfügbarkeit und Programmierung bzw. Datenbanken und Algorithmen installiert werden. Zudem muss die Bedienung durch die Mitarbeitenden und eine Feedback-Option von der Anwendung zur anwendenden Person (akustische oder visuelle Signale) möglich sein. Im *laufenden Betrieb* muss die Anwendung mit neuen Geräten weiter trainiert

werden, allerdings wird dies als weniger aufwändig erwartet, als die initiale Einführung und somit mit „mittel“ bewertet. Die *Adaptivität* ist als „hoch“ bewertet, da der Ansatz grundsätzlich alle Geräte erkennen sollte, für die die Anwendung trainiert wurde. Da hierfür jedoch ggf. die Kameras neu kalibriert werden müssen und die Anpassung auf neue, noch nicht bekannte Geräte, nicht automatisch erfolgt, wurde ein Punkt nicht vergeben. Der *Energieeinsatz* im Betrieb wird aufgrund der Rechenleistung als „mittel“ gesehen. Der Einfluss auf die *Steigerung der Refurbishment-Quote* als „gering“, denn die Erkennung optischer Mängel beeinflusst die Entscheidung ob wiederaufbereitet wird nur in Extremfällen, in denen ein Gerät sehr stark beschädigt ist. Die *Wirtschaftlichkeit* wird trotz des hohen Aufwandes als „hoch“ eingestuft, da die Reklamationen durch den Endkunden aufgrund abweichender Mängelbewertung vermieden werden kann. Auch wird eine homogenere Bewertung über Mitarbeitende und Zweigstellen hinweg erreicht, da durch eine so induzierte Standardisierung abweichende Bewertungen verhindert oder reduziert werden. All dies trägt zu guten Wirtschaftlichkeit bei, die dem gesamten Unternehmen zugutekommt.

### Bewertung Erfassung des Gerätetyps beim Wareneingang

<b>Inklusion</b>	●●●●●
<b>Aufwand</b>	
- Entwicklung und Einführung	●●●●●
- Infrastruktur	●●●●○
- Laufender Betrieb / Pflege	●●●●○
<b>Adaptivität</b>	●●●●○
<b>Ressourceneffizienz</b>	
- Energieeinsatz	●●●○○
- Steigerung Refurbishment-Quote	●●●●○
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	●●●●○

Das Kriterium *Inklusion* erhält erneut volle Punktzahl und ist somit als „sehr hoch“ bewertet. Denn durch die Unterstützung mittels Camera-Vision oder weiterer Schnittstellen bzw. Optionen ist zu erwarten, dass mehr Inklusionsmitarbeitende in die Lage versetzt werden, die Geräteerfassung am

Wareneingang durchzuführen. Gleichzeitig ist dieser Ansatz im Vergleich zu anderen identifizierten Ansätzen einer der aufwändigeren und damit auch kostenintensiveren Ansätze. Während der Entwicklungs- und Einführungsphase wird Unterstützung von externen Firmen oder Partnern gebraucht. Aufgrund der hohen Varianz und Menge von Gerätearten und -typen, die in das Refurbishment gehen, ist der zeitliche und personelle Aufwand für die Entwicklung und Einführung analog zur Erfassung optischer Mängel als „sehr hoch“ zu erwarten. Gleiches gilt für den Aufwand hinsichtlich der Infrastruktur, dies ist analog als „hoch“ zu bewerten. Im laufenden Betrieb werden sich jedoch im Gegensatz zur Mängelerkennung mehr Parameter an den Geräten ändern, weswegen ein höherer Pflege- bzw. Trainingsaufwand erwartet

wird, der allerdings weniger Zeit und personelle Ressourcen in Anspruch nehmen sollte als die Entwicklung und Einführung, da weniger neue Geräte auf einmal erfasst bzw. erlernt werden müssen. Daher ist der Aufwand im *laufenden Betrieb* mit „hoch“ und nicht „sehr hoch“ bewertet. Da die Lösung gut auf weitere Geräte trainiert werden kann, wird die *Adaptivität* als „hoch“ eingeschätzt, denn sich ändernde Inputströme (z. B. neuere Modelle oder neue Gerätetypen) nach erfolgter Anpassung der Lösung ebenfalls erkannt werden. Da dies voraussichtlich nicht automatisch erfolgen wird, wurde ein Punktweniger vergeben. Der *Energieeinsatz* im Betrieb wird als „mittel“ angesehen. Es ist allerdings eine deutliche Steigerung der Prozesseffizienz zu erwarten, die in eine *Steigerung der Refurbishment-Quote* mündet, denn zu alte Geräte können hier bereits für das Recycling vorgemerkt werden und müssen keiner Qualitätsprüfung mehr unterzogen werden. Das Kriterium ist daher mit „hoch“ bewertet. Da jedoch der Gerätezustand (Defekte) ebenfalls eine Rolle spielen, konnte hier nicht die volle Punktzahl vergeben werden. Die *Wirtschaftlichkeit* ist trotz der hohen zu erwartenden Anschaffungs- und Wartungskosten als „hoch“ anzusehen: Die Erfassung des Gerätetyps ist ein sehr kann deutlich zur Steigerung der Effizienz (korrekte Identifizierung in kürzerer Zeit) beitragen und bietet zudem noch die Option, die Transparenz ggü. den anliefernden Kunden noch weiter zu erhöhen, da die Erfassung des Gerätes und der Warenmenge direkt am Wareneingang erfolgen kann. Eine Kopplung des Ansatzes mit dem Warenwirtschaftssystem könnte zudem die Koordination der nachfolgenden Prozesse und Lagerbestände positiv beeinflussen.

### Bewertung Anlernen / Unterstützen im Prozess oder bei Prozessänderungen

<b>Inklusion</b>	●●●●●
<b>Aufwand</b>	
- Entwicklung und Einführung	●●●●●
- Infrastruktur	●●●●●
- Laufender Betrieb / Pflege	●●●●○
<b>Adaptivität</b>	●●●●○
<b>Ressourceneffizienz</b>	
- Energieeinsatz	●●●●○
- Steigerung Refurbishment-Quote	●●●●○
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	●●●●○

Die Unterstützung von (neuen) Mitarbeitenden bei der Anlernung und im alltäglichen Prozess sowie bei Prozessänderungen ist „sehr hoch“ *inklusiv*. In der optimalen Ausführung werden die Mitarbeitenden produktiver, ohne dass sich dieser Produktivitätszuwachs negativ auf ihr Wohlbefinden auswirkt

(Vermeidung von Stress). Der Ansatz verspricht zudem noch mehr Eigenständigkeit sowie eine gute Prozessqualität und ermöglicht es Mitarbeitenden, sich leichter an Prozessveränderungen zu gewöhnen. Zudem entlastet die Unterstützung die Mitarbeitenden, die sich mit entsprechender Anleitung die Prozessunterschiede und

Abweichungen in der Bearbeitung je Gerät nicht merken müssen. Da die Nutzung einer solchen technischen Unterstützung bei einigen Mitarbeitenden jedoch aufgrund der starken Veränderung des gewohnten Prozesses auf Ablehnung stoßen kann, gab es einen Punkt Abzug. Der Aufwand für die *Entwicklung und Einführung* und die *Infrastruktur* werden analog der letzten beiden Ansätze (Erfassung optischer Mängel und Gerätetyp) als „*sehr hoch*“ eingeschätzt. Neben dem Trainingsaufwand der Anwendung ist hier die Interaktion mit den Mitarbeitenden noch aufwändiger und muss entsprechend definiert, programmiert und getestet werden. Je nach Ausgestaltung der AR-Komponente muss die Anwendung die Aktionen des jeweiligen Mitarbeitenden erkennen, bewerten und darauf reagieren. Grundsätzlich ist der Bedarf an Unterstützung durch externe Dritte, nach Unterstützung durch interne Mitarbeitende sowie der Zeitbedarf für die *Entwicklung und Einführung* „*sehr hoch*“. Auch der Aufwand zum Aufbau der Infrastruktur in Form von verfügbarem, stabilem Internet, der Ausstattung der Arbeitsplätze mit den notwendigen festinstallierten und / oder mobilen Geräten sowie die aufwändige Programmierung der Software führen dazu, dass der Aufwand für die *Infrastruktur* ebenfalls als „*sehr hoch*“ bewertet wird. Im *laufenden Betrieb* wird ein „*hoher*“ Aufwand erwartet, da sich die zum Refurbishment eintreffenden Geräte und somit die Prozesse und Arbeitsanweisungen kontinuierlich verändern. In regelmäßigen Abständen muss die Anwendung somit aktualisiert werden. Die *Adaptivität* ist abermals als „*hoch*“ bewertet, da die Anwendung sich gut erweitern und aktualisieren lässt, sich aber eben nicht automatisch auf neue Geräte oder Prozesse einstellen wird. Gleichzeitig kann die Lösung auch umfangreicher oder auch spezifischer bereitgestellt werden. Sie kann nur einzelne Schritte für bestimmte Personen(-gruppen) oder auch mehrere Schritte beinhalten und stärker individualisierbar sein. Der *Energiebedarf* wird als „*hoch*“ erwartet, genau wie der Beitrag zur *Steigerung der Refurbishment-Quote*. Denn durch eine passgenauere Bereitstellung von Informationen, die den Refurbishment-Prozess unterstützen, werden Fehler vermieden und der Durchsatz gesteigert, wodurch mehr Geräte in gleicher Zeit wiederaufbereitet werden können. Es wird erwartet, dass die Entwicklungs- und Betriebskosten (Entwicklung und Einrichtung, Infrastruktur, laufender Betrieb) dem grundsätzlich zu erwartenden Produktivitätszuwachs, dem höherem Durchsatz und der eingesparten (Personal-) Zeit in der Anlernphase langfristig unterzuordnen sind. Daher wird die *Wirtschaftlichkeit* als „*hoch*“ eingeschätzt.

## Bewertung Remote Assistance

<b>Inklusion</b>	●●●○○
<b>Aufwand</b>	
- Entwicklung und Einführung	●○○○○
- Infrastruktur	●●○○○
- Laufender Betrieb / Pflege	●○○○○
<b>Adaptivität</b>	●●●●●
<b>Ressourceneffizienz</b>	
- Energieeinsatz	●○○○○
- Steigerung Refurbishment-Quote	●○○○○
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	●●●○○

Der Ansatz der Remote Assistance kann in vielerlei Hinsicht sehr ähnlich bewertet werden, wie der Ansatz der Untertitel. Der Effekt auf die *Inklusion* ist nur als „mittel“ bewertet, denn zwar kann flexibel auch bei größerer Entfernung auf Situationen reagiert und Hilfestellung geleistet werden, doch erfordert dieser

Ansatz in der Regel die Nutzung eines Head-Mounted-Displays, damit die genaue Arbeitssituation gezeigt werden kann. Wie in Kapitel 3 erwähnt, kann dies jedoch bei manchen Mitarbeitenden zu Problemen führen. Davon abgesehen schätzen die meisten Mitarbeitenden den persönlichen Kontakt. Da es sich bei den Head-Mounted-Displays um eine etablierte Technologie handelt, wird der *Aufwand für die Entwicklung und Einführung* und *den laufenden Betrieb* als „sehr gering“ bewertet. Der Aufwand für die Einrichtung der *Infrastruktur* ist „gering“. Es müssten einige Endgeräte angeschafft und Zugriff auf das Internet an den Einsatzpunkten gewährleistet werden. Da dieser Ansatz nur die Plattform bietet über die sich zwei Personen austauschen, ist die *Adaptivität* mit der vollen Punktzahl als „sehr hoch“ bewertet. Da der Energieverbrauch überwiegend während der Nutzung anfällt, ist er als „sehr gering“ bewertet. Gleiches gilt für die *Steigerung der Refurbishment-Quote*. Der sporadische Einsatz der Anwendung lässt keine nennenswerten Auswirkungen erwarten. Die *Wirtschaftlichkeit* ist als „mittel“ bewertet, da dem geringen Aufwand zur Einführung nur wenige Anwendungsfälle gegenüberstehen. Die Vermeidung von Dienstreisen und eine mögliche schnellere Problemlösung wirkt sich hier positiv aus.

## Bewertung Foto- / Videodokumentation von Schredder-Prozessen

<b>Inklusion</b>	●●●●○
<b>Aufwand</b>	
- Entwicklung und Einführung	●●○○○○
- Infrastruktur	●●○○○○
- Laufender Betrieb / Pflege	●○○○○○
<b>Adaptivität</b>	●●●○○
<b>Ressourceneffizienz</b>	
- Energieeinsatz	●●●○○
- Steigerung Refurbishment-Quote	○○○○○○
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	●●●●○

Zunächst können Mitarbeitende mit diesem Ansatz dem Lärm und dem Gefahrenbereich des Schredders entgehen. Hierdurch wird die Arbeit am Schredderprozess für mehr Mitarbeitende möglich und die Arbeit mit dem Schredder weniger laut, wenn die Bestückung außerhalb des Raumes erfolgt und

damit die Anwesenheit von Mitarbeitenden im Schredderraum während des Schredderprozess vermieden werden kann. Hierdurch verringert sich zudem das Arbeitsrisiko womit dieser Arbeitsschritt mehr Personen zugänglich gemacht werden kann. Die Auswirkungen auf die *Inklusion* sind daher mit „hoch“ bewertet. In der Entwicklung und Einführung und für die Infrastruktur müssten insbesondere Kameras angeschafft, installiert und Schnittstellen zu internen Programmen eingerichtet werden. Zudem würde sich der Prozess der Zertifizierung ändern. Der Aufwand für die *Entwicklung und Einführung* und die *Infrastruktur* (neben Hardware auch stabile Verbindungen zum Internet/Intranet) wird im Vergleich als „gering“ erwartet. Der Aufwand im *laufenden Betrieb und der Pflege* wird sogar als „sehr gering“ eingeschätzt, da keine umfangreichen Aktualisierungen und Prozessänderungen erwartet werden. Die *Adaptivität* ist aus dem Grund mit „gering“ bewertet, denn die Anwendung ist mit keiner Programmierung versehen, die situativ auf Änderungen reagieren muss. Eine Notwendigkeit für eine höhere Anpassungsfähigkeit wird hier jedoch auch nicht gesehen. Da je nach Qualität der aufgenommenen Fotos und Videos mit einem hohen zu verarbeitenden Datenvolumen gerechnet wird, wird ein verhältnismäßig „hoher“ *Energieeinsatz* erwartet, wobei die Auswirkungen auf den Refurbishmentprozess als „nicht gegeben“ anzusehen sind, denn der Schredderprozess ist dem Recyclingprozess zuzuordnen. Gleichzeitig muss kritisch hinterfragt werden, ob der Einsatz einer technischen Lösung hier im Sinne der Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft wirklich an sinnvoll ist. Denn die zu installierende Hardware beinhaltet Rohstoffe und wird irgendwann veralten. Die *Wirtschaftlichkeit* wird in Anbetracht dessen, dass weniger Personal eingesetzt werden könnte bzw. freierwerdendes Personal an anderer Stelle eingesetzt werden könnte, als „hoch“ bewertet.

## 6 Ableitung des weiteren Forschungsbedarfs

Alle identifizierten Ansätze bauen auf bereits existierenden Technologien auf. Sie wurden jedoch bisher weder in einem kombinierten Refurbishment- und Inklusionsumfeld noch einem reinen Refurbishmentumfeld eingesetzt. Die genaue Ausgestaltung der Ansätze im Hinblick auf Funktionen, Schnittstellen und Grade der Unterstützung, die Akzeptanz bei den Mitarbeitenden (insbesondere, aber nicht limitiert auf die Inklusionsmitarbeitenden) sowie die Auswirkungen auf die Refurbishment-Quote wären somit Gegenstand weiterer, angewandter Forschung. Der Forschungsbedarf liegt dabei insbesondere auf den realisierbaren Ressourceneinsparungen, die durch die Unterstützung des Prozesses generiert werden können. Aber auch, ob durch die Lösungen Inklusionsmitarbeitende noch einfacher in den Prozess integriert werden können, ohne dass der Einsatz der Unterstützungen beispielsweise zu Überforderungen oder psychischen Belastungen führt.

Insbesondere die Aspekte der Akzeptanz bei den Mitarbeitenden, Steigerung der Refurbishment-Quote unter Berücksichtigung von Ressourceneffizienz und die Vereinfachung der Inklusion sind wichtige Aspekte, die in einem praxisnahen Test der Ansätze überprüft werden sollten. Dazu wäre das folgende Vorgehen denkbar: Die Ansätze werden in einem geringen Umfang aufgebaut (z. B. mit Informationen zu nur einigen Produkten) und im Arbeitsalltag von verschiedenen Mitarbeitenden mit unterschiedlichen Bedürfnissen und Leistungsniveaus getestet. Dazu erhalten die Mitarbeitenden beispielsweise nur eine kleine Auswahl an Gerätetypen zur Bearbeitung, die in der Anwendung zu Testzwecken hinterlegt sind. Im Vergleich werden andere Geräte, die nicht in die Lösung integriert sind, ohne diese Unterstützung bearbeitet. Dabei können Prozessgeschwindigkeit, Qualität und Befinden der Mitarbeitenden erfasst und analysiert werden. Für die Erfassung optischer Mängel werden viele Geräte mit der entsprechenden Technik z. B. in einem Labor geprüft werden und die Ergebnisse mit denen einer Kontrollgruppe aus Mitarbeitenden und Teamleitern verglichen. Sind die einzelnen Lösungen vielversprechend im Sinne der Akzeptanz und Steigerung der Prozessgeschwindigkeit und Qualität und überfordern sie die Anwendenden nicht, so kann im nächsten Schritt an der Einführung in die Breite gearbeitet werden. Dabei gilt es, unterschiedliche Datenbedarfe und Möglichkeiten zur Interaktion miteinander zu verknüpfen und abzuwägen, ob jeweils alle oder nur ausgewählte Mitarbeitende mit spezifischen Bedürfnissen mit der jeweiligen Lösung arbeiten sollen.

Im nächsten Schritt sollten die priorisierten Ansätze somit in einem anwendungsnahen Forschungsprojekt weiter definiert, getestet und ggf. validiert werden. Eine Kombination verschiedener Lösungen scheint dabei besonders sinnvoll.

Dies könnte so aussehen, dass eine Art zentraler Hub im Unternehmen alle relevanten Informationen zur Verfügung stellt, sammelt und je nach Stelle im Prozess und Mitarbeitenden die Informationen in entsprechend benötigter Art und Menge ausgibt. So könnte am Wareneingang die Erfassung des Gerätetypen sowie des optischen Zustandes mittels einer Kameraschnittstelle, Computer-Vision und KI erfolgen und die Daten in das System gespielt werden. Die Informationen können dann an entsprechender Stelle im Refurbishment-Prozess wieder ausgespielt und um weitere Daten (z. B. ein weiteres Bild zum optischen Zustand des Gerätes kurz vor Verkauf) ergänzt und die Bewertung dadurch ggf. angepasst werden. Gleichzeitig könnte je nach Bedarf der einzelnen Mitarbeitenden die Informationen in unterschiedlicher Menge, Geschwindigkeit und Art (visuell, akustisch, einfache Sprache, technische Sprache) wiedergegeben werden. Eine Kombination mit Emotionserkennung und Anpassung der Prozessgeschwindigkeit wie bei KoBeLu sowie Gamificationelemente könnten gerade im Inklusionsumfeld in die Betrachtung aufgenommen werden. Wie bereits bei der Vorstellung der identifizierten Ansätze dargestellt, muss AR für das Ziel der Prozessunterstützung und Steigerung der Refurbishment-Quote in einem inklusiven Umfeld nicht die dominante Technologie sein, sondern sollte wo sinnvoll als Interaktionstechnologie unterstützend im Prozess eingesetzt werden.

Für die weitere Bearbeitung des Themas sollten verschiedene Expert\*innen aus dem Bereich Augmented Reality hinzugezogen werden. Insbesondere ein Austausch mit Expert\*innen, die Erfahrungen im Einsatz von AR im Inklusionsumfeld haben sowie mit Expert\*innen aus dem Bereich Technologieeinsatz (AR, KI, Camera Vision mit Erfahrungen) im Umfeld der Kreislaufwirtschaft wird als hoch relevant gesehen. Auch der Austausch mit identifizierten Anwendungen und Projekten im Inklusions- und Assembly Bereich ist zu bedenken.

## Literaturverzeichnis

AfB gemeinnützige GmbH. (o. J.-a). *IT-Refurbishment bei AfB - Unser Prozess*. Abgerufen 14.

Juni 2021, von <https://www.afb-group.de/it-remarketing/refurbishment>

AfB gemeinnützige GmbH. (o. J.-b). *Sichere Datenvernichtung*. Abgerufen 14. Juni 2021, von

<https://www.afb-group.de/it-remarketing/datenvernichtung>

AfB gemeinnützige GmbH. (2019). *Bemerkenswerte Ökobilanz der AfB gGmbH nach 15*

*Jahren IT-Remarketing*. <https://www.afb->

[group.de/service/presse/pressemitteilungen/detailansicht/bemerkenswerte-](https://www.afb-group.de/service/presse/pressemitteilungen/detailansicht/bemerkenswerte-oekobilanz-der-afb-ggmbh-nach-15-jahren-it-remarketing)

[oekobilanz-der-afb-ggmbh-nach-15-jahren-it-remarketing](https://www.afb-group.de/service/presse/pressemitteilungen/detailansicht/bemerkenswerte-oekobilanz-der-afb-ggmbh-nach-15-jahren-it-remarketing)

AfB gemeinnützige GmbH. (2021, Februar 25). *IT-Remarketing schont Umwelt und*

*Ressourcen*. <https://www.afb-group.de/verantwortung/oekobilanz>

*Assistenztechnologie für Menschen mit Leistungsminderung*. (o. J.). incluMOVE. Abgerufen

11. Juni 2021, von <http://includmove.de/>

Broll, W., Grimm, P., & Jung, B. (2013). *Virtual und augmented reality (VR/AR):*

*Grundlagen und Methoden der virtuellen und augmentierten Realität* (R. Dörner,

Hrsg.). Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-28903-3>

codecentric AG. (2019, April 25). *Augmented Reality in der Fertigung—AR Welding*

*Assistant*. <https://www.youtube.com/watch?v=7XRszDhDd-M&t=40s>

Europäisches Parlament. (2020, Dezember 23). *Elektroschrott in der EU: Zahlen und*

*Fakten*.

[https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20201208STO93325/el](https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20201208STO93325/elektroschrott-in-der-eu-zahlen-und-fakten-infografik)

[ektroschrott-in-der-eu-zahlen-und-fakten-infografik](https://www.europarl.europa.eu/news/de/headlines/society/20201208STO93325/elektroschrott-in-der-eu-zahlen-und-fakten-infografik)

eurostat. (2021). *Elektro- und Elektronikgeräte-Abfall (WEEE) nach*

*Abfallbewirtschaftungsmaßnahmen (online Datencode: ENV\_WASELEE;*

*Vorbereitung zur Wiederverwendung)*.

[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV\\_WASELEE\\_\\_custom\\_1059778/default/table](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_WASELEE__custom_1059778/default/table)

*KoBeLU – Kontextbewusste Lernumgebung.* (o. J.). Abgerufen 11. Juni 2021, von <http://www.kobelu.de/>

Lange, U. (2017). *Kurzanalyse Nr. 18: Ressourceneffizienz durch Remanufacturing – Industrielle Aufarbeitung von Altteilen.* [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/kurzanalysen/VDI\\_ZRE\\_Kurzanalyse\\_18\\_Remanufacturing\\_bf.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/downloads/kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_18_Remanufacturing_bf.pdf)

Löhle, S., King, M., & Weißenbacher, J. (2016). *Förderung der Vorbereitung zur Wiederverwendung von Elektro(nik)altgeräten.* Naturschutzbund Deutschland (NABU) e.V.

Maga, D., Hiebel, M., Banken, E., & Viehoff, P. (2018). Treibhausgas- und Ressourceneinsparungen durch Wiederverwendung von Smartphones und Tablets. *Müll und Abfall, 05.18*, 251–258.

Meloin, M., Souchet, F., & Sturges, D. (2018). *Circular Consumer Electronics: An Initial Exploration* (Ellen MacArthur Foundation, Hrsg.).

Nasr, N., Russell, J., Bringezu, S., Hellweg, S., Hilton, B., Kreiss, C., & Gries, N. von. (2018). *Re-defining Value – The Manufacturing Revolution. Remanufacturing, Refurbishment, Repair and Direct Reuse in the Circular Economy.* A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/31612>

OECD. (2019). *Business Models for the Circular Economy: Opportunities and Challenges for Policy, OECD Publishing.* <https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/g2g9dd62-en>

omnia360. (2020, November 7). Was ist Augmented Reality? *omnia360.* <https://omnia360.de/blog/was-ist-augmented-reality/>

- PACE Platform for Accelerating the Circular Economy (Hrsg.). (2021). *Circular Economy Action Agenda. Electronics*. <https://pacecircular.org/action-agenda/electronics>
- RE'FLEKT GmbH. (o. J.). *Augmentation for the Digital Industries Workforce*. Abgerufen 11. Juni 2021, von <https://www.re-flekt.com/>
- RK Rose + Krieger GmbH. (o. J.). *Das kognitive Assistenzsystem für manuelle Arbeitsplatzsysteme—Der Schlaue Klaus*. [https://www.rk-rose-krieger.com/deutsch/produkte/modul-technik/arbeitsplatzsysteme/kamerabasiertes-montage-assistenzsystem/?gclid=EAIaIQobChMIhsTlvJyK8QIVyYXVChoonwZIEAAYASAAEgJs5\\_D\\_BwE](https://www.rk-rose-krieger.com/deutsch/produkte/modul-technik/arbeitsplatzsysteme/kamerabasiertes-montage-assistenzsystem/?gclid=EAIaIQobChMIhsTlvJyK8QIVyYXVChoonwZIEAAYASAAEgJs5_D_BwE)
- Sander, K., Otto, S. J., Rödig, L., & Wagner, L. (2018). *Behandlung von Elektroaltgeräten (EAG) unter Ressourcen- und Schadstoffaspekten* (Nr. 31/2018; TEXTE). Umweltbundesamt. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-12\\_texte\\_31-2018\\_behandlung\\_eag.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-04-12_texte_31-2018_behandlung_eag.pdf)
- Sander, K., Wagner, L., Jepsen, D., & Zimmermann, T. (2019). *Gesamtkonzept zum Umgang mit Elektro(alt)geräten – Vorbereitung zur Wiederverwendung* (Nr. 17/2019; Texte). Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/gesamtkonzept-umgang-elektroaltgeraeten>
- Schmalstieg, D., & Höllerer, T. (2016). *Augmented reality: Principles and practice*. Addison-Wesley.
- Seyring, N., Kling, M., & Weißenbacher, J. (2015). *Study on WEEE recovery targets, preparation for re-use targets and on the method for calculation of the recovery targets*. Europäische Kommission.
- Statistisches Bundesamt Deutschland - GENESIS-Online. (2021, Juni 14). *Aufkommen an Haushaltsabfällen: Deutschland, Jahre, Abfallarten (32121-0001)*. Aufkommen an

Haushaltsabfällen: Deutschland, Jahre, Abfallarten (32121-0001). <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=32121-0001&bypass=true&levelindex=1&levelid=1623689045311#abreadcrumb>

Szombathy, M. (2019). 15 Jahre AfB – und das gemeinnützige Unternehmen hat noch so viel vor. *EU-Recycling – Das Fachmagazin für den europäischen Recyclingmarkt*, 11/2019, 14–18.