

VDI

Zentrum  
Ressourceneffizienz

VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 18

## Ressourceneffizienz durch Remanufacturing - Industrielle Aufarbeitung von Altteilen



© Fotolia.com/Tomasz Zajda

August 2017

Kurzanalyse Nr. 18: Ressourceneffizienz durch Remanufacturing - Industrielle Aufarbeitung von Altteilen

Autorin:

Dr.-Ing. Ulrike Lange, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Herrn Steffen Butzer, Fachgebietsleiter Regenerative und schlanke Produktion, Fraunhofer-Projektgruppe Prozessinnovation am Lehrstuhl Umweltgerechte Produktionstechnik und Herrn Fernand Weiland, FJW Consulting, Köln für die fachliche Unterstützung.

Die Kurzanalyse wurde im Rahmen der Nationalen Klimaschutzinitiative des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)  
Bertolt-Brecht-Platz 3  
10117 Berlin  
Tel. +49 30-2759506-0  
Fax +49 30-2759506-30  
zre-info@vdi.de  
www.ressource-deutschland.de

Titelbild: Tomasz Zajda/Fotolia.com

Druck: Bonifatius GmbH, Karl-Schurz-Straße 26, 33100 Paderborn

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:  
Kurzanalyse Nr. 18

Ressourceneffizienz durch  
Remanufacturing -  
Industrielle Aufarbeitung von Altteilen



---

## INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	9
2 REMANUFACTURING VON ALTEILEN	11
2.1 Definition und Abgrenzung	11
2.2 Einordnung in den gesetzlichen Rahmen	13
2.3 Relevante Akteure des Remanufacturing	16
2.4 Prozesskette des Remanufacturing	18
2.5 Ökologische Effekte und Ressourceneinsparungen durch Remanufacturing	21
2.6 Ökonomische Effekte des Remanufacturing	24
2.7 Design for Remanufacturing	29
3 MARKTSTÄRKE UND -ENTWICKLUNG DES REMANUFACTURING	32
3.1 Der europäische Markt	32
3.1.1 Charakterisierung nach Ländern	32
3.1.2 Charakterisierung nach Industriesektoren	36
3.2 Der deutsche Markt	38
3.3 Marktentwicklung	41
4 PRAXISBEISPIELE REMANUFACTURING	45
4.1 Aufgearbeitete Wasserzähler	45
4.2 Aufgearbeitete PCs und Notebooks	46
4.3 Aufgearbeitete Industrieroboter	48
4.4 Aufgearbeitete Drucker	49
4.5 Aufgearbeitete Laserkartuschen	50
4.6 Aufgearbeitete Anlasser und Lichtmaschinen	51
4.7 Aufgearbeitete Bremsanlagen	52

4.8	Aufgearbeitete carbonfaserverstärkte Kunststoffkomponenten	53
4.9	Aufgearbeitete Tunnelbohrsysteme	55
5	FAZIT	56
	LITERATURVERZEICHNIS	58
	ANHANG	70

---

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

Abbildung 1: Instrumente einer Kreislaufwirtschaft	9
Abbildung 2: Klassifizierung des Begriffs Altteil	13
Abbildung 3: Relevante Akteure im Remanufacturing	17
Abbildung 4: Prozesskette Remanufacturing	18
Abbildung 5: Einordnung des Remanufacturing in den Produktlebenszyklus	21
Abbildung 6: Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit des Remanufacturing	25
Abbildung 7: Umsatz der Remanufacturing-Branche in Mrd. Euro pro Jahr nach Ländern	32
Abbildung 8: Remanufacturing-Aktivitäten nach Ländern	33
Abbildung 9: Verteilung der Remanufacturing-Akteure nach Umsatz	35
Abbildung 10: Umsatz der Remanufacturing-Branche in Mrd. Euro nach Branchen in Europa	36
Abbildung 11: Umsatz nach Branchen in Deutschland	38
Abbildung 12: Prozesskette Wasserzähler	46
Abbildung 13: Prozesskette IT-Produkte	47
Abbildung 14: Prozesskette Industrieroboter	49
Abbildung 15: Prozesskette Drucker	50
Abbildung 16: Prozesskette Laserkartusche	51
Abbildung 17: Prozesskette Starter und Lichtmaschine	52
Abbildung 18: Prozesskette Bremsanlagen	53
Abbildung 19: Prozesskette kohlenstoffaserverstärkter Kunststoffkomponenten	54
Abbildung 20: Prozesskette Tunnelbohrmaschine	55

**TABELLENVERZEICHNIS**

Tabelle 1:	Anforderung an die Verbringung von Abfällen	15
Tabelle 2:	LCA-Ergebnisse neu- und refabrizierter Produktteile - Fallbeispiele	22
Tabelle 3:	Elemente des DfRem - Technische Ebene	29
Tabelle 4:	Elemente des DfRem - Strategische Ebene	31
Tabelle 5:	Verteilung der Unternehmensgröße gemessen am Umsatz	34
Tabelle 6:	Anzahl Unternehmen, Beschäftigte und aufgearbeitete Altteile je Branche	37
Tabelle 7:	Vergleich der Umsatzstärke zwischen Deutschland und dem zweiten Marktführenden	39
Tabelle 8:	Beschäftigte und refabrizierte Altteile je Branche und Jahr in Deutschland	40
Tabelle 9:	Aktuelle und zukünftige Stärken und Schwächen der Reman-Branche	42
Tabelle 10:	Aktuelle und zukünftige Chance und Barrieren der Reman-Branche	43
Tabelle 11:	In der Literatur erwähnte Elemente zur Produktgestaltung auf technischer Ebene	70
Tabelle 12:	Unternehmenshauptsitz von Reman- Unternehmen nach Ländern	71
Tabelle 13:	Branchenanteil von Gesamtumsatz	71
Tabelle 14:	Verteilung der Nennungen genutzter Rücknahmewege (44 Nennung von 30 Befragten)	71



---

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>APRA</b>	Automotive Parts Remanufacturers Association
<b>BS</b>	British Standard
<b>b2b</b>	Business to Business
<b>CFK</b>	Carbonfaserverstärkte Kunststoffe
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlenstoffdioxid
<b>CR</b>	Contracted Remanufacturer
<b>DfRem</b>	Design for Remanufacturing
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>EEE</b>	Elektrisches und elektronisches Equipment
<b>ElektroG</b>	Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten
<b>EoL</b>	End of Life
<b>ERN</b>	European Remanufacturing Network
<b>EU</b>	Europäische Union
<b>IPA</b>	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
<b>IPRI</b>	International Performance Research Institute GmbH
<b>IR</b>	Independent Remanufacturer
<b>IT</b>	Informationstechnik
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>kg CO<sub>2</sub>-eq</b>	Kilogramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente
<b>km</b>	Kilometer
<b>KrWG</b>	Kreislaufwirtschaftsgesetz

<b>LAGA</b>	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
<b>LCA</b>	Life Cycle Assessment
<b>MesseEV</b>	Verordnung über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt sowie über ihre Verwendung und Eichung (Mess- und Eichverordnung - MesseEV)
<b>MJ</b>	Megajoule
<b>MJ-e</b>	Megajoule-Äquivalente
<b>Mrd.</b>	Milliarde
<b>MRO</b>	Maintenance, Repair and Overhaul (Wartung, Reparatur und Remanufacturing)
<b>OECD</b>	Organisation for Economic Co-operation and Development
<b>OEM</b>	Original Equipment Manufacturer
<b>OER</b>	Original Equipment Remanufacturer
<b>P</b>	originales Produkt
<b>P<sub>R</sub></b>	refabriziertes Produkt
<b>PKW</b>	Personenkraftwagen
<b>PT</b>	originales Produktteil
<b>PT<sub>R</sub></b>	refabriziertes Produktteil
<b>Reman</b>	Remanufacturing
<b>SPS</b>	speicherprogrammierbare Steuerung
<b>t</b>	Tonnen
<b>tecXL</b>	Eigenmarke des Aufarbeiters bb-net
<b>US \$</b>	United States Dollar
<b>VVA</b>	Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 vom 14. Juni 2006 über die Verbringung von Abfällen

## 1 EINLEITUNG

Das Remanufacturing ist eine zentrale Maßnahme zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Der Material- und Energieaufwand zur Herstellung eines Produkts und die damit verbundenen Kosten werden gesenkt. Durch das Remanufacturing wird die ursprüngliche Wertschöpfung auf hoher Stufe erhalten und die Importabhängigkeit kritischer Rohstoffe verringert.

Definiert wird das Remanufacturing als Behandlung zur Wiederverwendung eines gebrauchten Produkts, das durch verschiedene Prozessschritte auf mindestens das Qualitätsniveau eines Neuprodukts gebracht wird.<sup>1</sup> Dazu werden die gesammelten Altteile demontiert, gereinigt, geprüft, aufgearbeitet und remontiert.

Das Remanufacturing als Schlüsselkomponente einer Kreislaufwirtschaft wird, insbesondere im Vergleich zum Recycling, als bevorzugte Option zur Stoffstromschließung gesehen und verfügt über ein hohes Ressourceneffizienzpotenzial (Abbildung 1).<sup>2</sup>

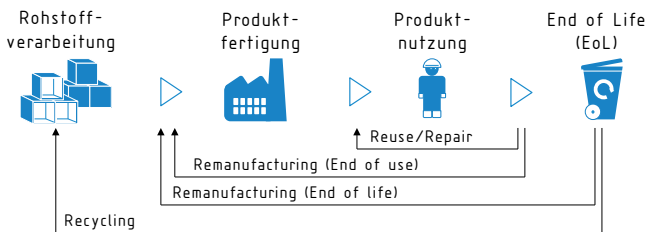


Abbildung 1: Instrumente einer Kreislaufwirtschaft

Bereits während des Zweiten Weltkriegs erfuhr die Remanufacturing-Branche einen rasanten Aufschwung. Sinkende Fertigungskapazitäten zugunsten der Militärproduktion führten zur Aufarbeitung gebrauchter Güter.<sup>3</sup> Heute hält die Remanufacturing-Branche einen Anteil von ca. 2 % am gesam-

<sup>1</sup> Vgl. BMUB (2016), S. 36 und 48.

<sup>2</sup> Vgl. Graedel und Allenby (1998), Ryding et al. (1995), Jacobssen (2000), Steinhilper (1998) in Lindahl et al. (2006), S. 448.

<sup>3</sup> Vgl. APRA (2016).

ten europäischen Fertigungssektor. In Deutschland generiert die Remanufacturing-Branche einen Umsatz von rund 8,7 Mrd. Euro pro Jahr. Dies entspricht bereits einem Drittel des gesamten europäischen Umsatzes.<sup>4</sup>

Konzerne nutzen die Vorteile des Remanufacturing und arbeiten eigene Produkte in Remanufacturing-Sparten des Unternehmens wieder auf (u. a. Bosch, Liebherr, Ricoh, Caterpillar). Aber auch für kleine und mittlere Unternehmen bietet der Markt des Remanufacturing vielfältige Optionen. Aufgearbeitete Produkte können entweder anstelle neuer Fabrikate eingesetzt werden oder eine Wiederaufarbeitung wird in die eigenen Unternehmensabläufe eingebunden. Für den Hersteller resultieren daraus geringere Produktionskosten, höhere Gewinnspannen und strategische Vorteile im Wettbewerb, während die Kunden von einer flexibleren Preispolitik profitieren können.

Die vorliegende Kurzanalyse liefert einen Branchenüberblick und soll insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen

- Ideen zur Implementierung von Remanufacturing-Prozessen geben,
- Anreize zum Einsatz aufgearbeiteter Produkte schaffen,
- das Bewusstsein für ökologische und ökonomische Effizienzpotenziale des Remanufacturing stärken sowie
- zu einer weiteren Auseinandersetzung mit der Thematik anregen.

Dazu werden in dieser Kurzanalyse der gesetzliche Rahmen abgesteckt, relevante Akteure in der Wertschöpfungskette vorgestellt und die notwendigen Prozessschritte erläutert. Ökologische, ökonomische Effekte sowie Effekte der zielgerichteten Produktgestaltung werden diskutiert und der europäische und deutsche Markt nach Ländern sowie nach Branchen charakterisiert. Abschließend werden über vorgestellte Praxisbeispiele Möglichkeiten aufgezeigt, wie Remanufacturing-Unternehmen agieren bzw. wie das Remanufacturing in Unternehmensabläufe von Originalgeräteherstellern integriert wurde.

---

<sup>4</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 1 und 50.

## 2 REMANUFACTURING VON ALTTEILEN

### 2.1 Definition und Abgrenzung

Das Remanufacturing (deutsch: Refabrikation)<sup>5</sup> ist die industrielle Aufarbeitung von gebrauchten Altteilen und wird in der Literatur in seinen wesentlichen Eigenschaften einheitlich definiert. Aufbauend auf den nachgestellten Definitionen und Abgrenzungen wird Remanufacturing in der vorliegenden Kurzanalyse wie folgt verstanden und verwendet:

#### Definition des Remanufacturing für die vorliegende Kurzanalyse:

- (1) Das Remanufacturing ist ein **industrieller Aufarbeitungsprozess von Altteilen**.
- (2) Ein Altteil wird über **standardisierte Prozessschritte** wieder aufgearbeitet und ihm dessen ursprüngliche Funktion wieder zugeführt.
- (3) Die dem Altteil wieder zugefügte **Produktleistung ist gleich- oder höherwertig** einer äquivalenten Neufertigung.
- (4) Über gleiche **Qualitätssicherungsmaßnahmen** wie in der Neuteilproduktion und eine **Garantie** wird sichergestellt, dass das refabrizierte Produkt oder die refabrizierte Produkteinheit<sup>6</sup> der Qualität einer Neufertigung entspricht.

Sundin fasst das Remanufacturing zusammen als industriellen Prozess, durch den Altteile für eine erneute Verwendung aufgearbeitet werden. Am Prozessende ist sicherzustellen, dass das refabrizierte Produkt den Standards der Originale entspricht.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Redaktioneller Hinweis: In der vorliegenden Kurzanalyse werden neben dem gängigen Begriff ‚Remanufacturing‘ zugunsten einer guten Lesbarkeit ebenso die deutsche Version ‚Refabrikation‘, die Verbformen ‚refabrizieren‘ und ‚aufarbeiten‘ sowie ‚industrielle Aufarbeitung‘ verwendet.

<sup>6</sup> Redaktioneller Hinweis: In der vorliegenden Kurzanalyse wird zugunsten einer guten Lesbarkeit die Wortgruppe ‚refabriziertes Produkt bzw. refabrizierte Produkteinheit‘ im Weiteren als ‚refabriziertes Produkt‘ zusammengefasst. Unter der Begriff ‚Produkt‘ fallen folglich auch Produkteinheiten, wie Produktbaugruppen bzw. Produktteilsysteme.

<sup>7</sup> Vgl. Sundin (2004), S. 2.

Der Britische Standard BS 8887-2:2009 legt Remanufacturing als Wiederherstellung der Produktleistung fest, die gleich- oder höherwertig der eines neu gefertigten Produkts ist. Zusätzlich fordert der Standard, dass eine Garantie auf das refabrizierte Produkt die wiederhergestellte Leistungsfähigkeit gewährleistet.<sup>8</sup>

Dieser Definition folgen auch das Centre for Remanufacturing & Reuse<sup>9</sup> sowie die Automotive Parts Remanufacturers Association (APRA), die sich zusammen mit vier weiteren europäischen Verbänden der Automobil- und Zuliefererbranche auf eine gemeinsame Definition einigte. Diese bestimmt zusätzlich, dass die Altteile unter Anwendung standardisierter Industrieprozesse aufgearbeitet und sichtbar als refabrizierte Produkte gekennzeichnet werden.<sup>10, 11</sup>

Einige Unternehmen halten fest, dass die Refabrikation die industrielle Instandsetzung von Produkten nach deren Nutzungszyklus ist.<sup>12, 13</sup> Der Begriff der Instandsetzung wird gemäß DIN 31051:2012-09 als physische Maßnahme beschrieben, die die Funktion einer fehlerhaften Einheit (Bauelement, Gerät, Teilsystem etc.) wiederherstellt. Der Abnutzungsvorrat wird dabei, im Vergleich zum Remanufacturing, nicht erneuert. Der Begriff „fehlerhafte Einheit“ beschreibt den Zustand, in dem eine Einheit unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen.<sup>14</sup> Der generelle Prozess des Remanufacturing ist jedoch nicht begrenzt auf fehlerhafte Einheiten. Es werden alle Altteile, funktionsfähig oder fehlerhaft, mit eingeschlossen (Abbildung 2).<sup>15</sup> Dies deckt sich mit der Definition der Technischen Leitlinien der Baseler Konvention, die den Prozess des Refurbishment als Modifikation von gebrauchtem Equipment zur Wiederherstellung der Funktion definieren. Eine Festlegung auf einen funktionsfähigen oder fehlerhaften Zustand bzw. eine

---

<sup>8</sup> Vgl. BS 8887-2:2009 (2009).

<sup>9</sup> Vgl. Parker und Butler (2007), S. 3.

<sup>10</sup> Vgl. APRA (2014).

<sup>11</sup> Vgl. Weiland (2014), S. 13.

<sup>12</sup> Vgl. Buecker+Essing (2009).

<sup>13</sup> Vgl. Knorr-Bremse (2015).

<sup>14</sup> Vgl. DIN 31051, (2012-09), S. 4.

<sup>15</sup> Vgl. Lindahl et al. (2006), S. 447.

Einstufung als Abfall erfolgt nicht.<sup>16</sup> Dabei wird der Begriff des Refurbishment mit dem des Remanufacturing gleichgesetzt.<sup>17</sup> Die Instandsetzung wird folglich für die Bestimmung des Remanufacturing im Rahmen der vorliegenden Kurzanalyse als Beschreibung ausgeschlossen.

## 2.2 Einordnung in den gesetzlichen Rahmen

Ein Altteil kann je nach Anwendungsfall als gebrauchtes Produkt oder als Abfall nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) eingestuft werden. Die Klassifizierung ist unabhängig vom funktionstüchtigen oder fehlerhaften Zustand des Produkts (Abbildung 2).

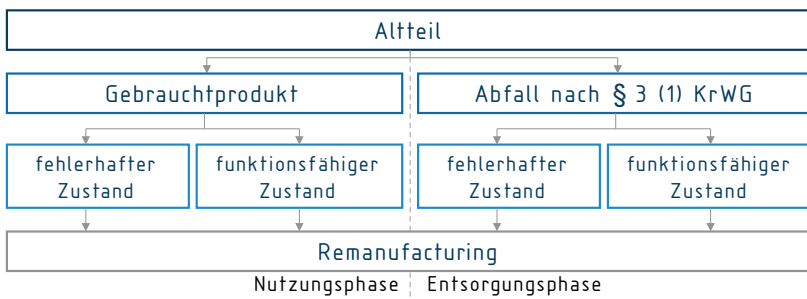


Abbildung 2: Klassifizierung des Begriffs Altteil

Der Abfallbegriff spielt für die Einstufung eine entscheidende Rolle: Gemäß § 3 (1) KrWG sind „Abfälle [...] alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss“. Folglich entscheidet der Entledigungswille des Besitzers über den Abfallstatus, wenn eine Aufarbeitung des Produkts noch möglich ist.

Ein zu refabrikierendes Produkt, das nicht unter die Abfalldefinition fällt - ein Entledigungswille also nicht vorliegt- verbleibt in der Nutzungsphase bzw. wird der Herstellungsphase wieder zugeführt. Der abfallrechtliche Gesetzesrahmen greift in diesem Fall nicht. Die Produktverantwortung und Produkthaftung verbleiben beim Hersteller. Gemäß § 3 (1), Satz 2 des Produkthaftungsgesetzes kann als Hersteller dabei auch jeder gelten, „der sich

<sup>16</sup> Vgl. Basel Convention (2015), S. 18.

<sup>17</sup> Vgl. Ernst (2016).

durch das Anbringen seines Namens, seiner Marke oder eines anderen unterscheidungskräftigen Kennzeichens als Hersteller ausgibt“.

Produkte, die unter die Definition des Abfalls gemäß Kreislaufwirtschaftsgesetz fallen, können nur unter bestimmten Bedingungen ihren Abfallstatus wieder verlieren. Gemäß § 5 KrWG endet die Abfalleigenschaft, wenn ein Stoff oder Gegenstand ein Verwertungsverfahren durchlaufen hat und so beschaffen ist, dass

- (1) er üblicherweise für bestimmte Zwecke verwendet wird,
- (2) ein Markt für ihn oder eine Nachfrage nach ihm besteht,
- (3) er alle für seine jeweilige Zweckbestimmung geltenden technischen Anforderungen sowie alle Rechtsvorschriften und anwendbaren Normen für Erzeugnisse erfüllt (z. B. DIN EN 62309 und VDI 2343) sowie
- (4) seine Verwendung insgesamt nicht zu schädlichen Auswirkungen auf Mensch oder Umwelt führt.

Das Remanufacturing ist in diesem Fall ein Verwertungsverfahren und kann gemäß § 6 (1) KrWG, der zweiten Ebene der Abfallhierarchie, der Vorbereitung zur Wiederverwendung, zugeordnet werden.

Hersteller, die z. B. Elektrogeräte auf den Markt bringen, sind gemäß der gesetzlich verankerten Produktverantwortung (§ 23, KrWG) verpflichtet, eine ordnungsgemäße Rücknahme und Verwertung ihrer Produkte zu gewährleisten. Führt der Originalgerätehersteller die Aufarbeitung durch oder lässt diese durchführen, verbleibt die Produktverantwortung bei ihm. Diese kann übergehen zu einem vom Originalgerätehersteller unabhängigen Unternehmen, wenn dieses das jeweilige Produkt aufarbeitet und z. B. unter eigenem Namen vermarktet.<sup>18</sup>

Das Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) stellt spezifische Anforderungen an Akteure, die auf eine Vorbereitung zur Wiederverwendung direkt oder indirekt Einfluss nehmen:

---

<sup>18</sup> Vgl. Arbeitskreis Elektrogeräte und Ressourceneffizienz (2016), S. 46.



- Hersteller sollen gemäß § 4 (1) ElektroG „ihre Elektro- und Elektronikgeräte *möglichst* so gestalten, dass die Wiederverwendung und die Demontage [...] berücksichtigt und erleichtert werden“.
- Erstbehandlungsanlagen für Elektro(nik)altgeräte sind nach § 20 (1) ElektroG verpflichtet, durch Sicht- und Funktionsprüfung zu kontrollieren, ob die Altgeräte einer Vorbereitung zur Wiederverwendung zugeführt werden können - soweit es technisch möglich und wirtschaftlich zumutbar ist.
- Erstbehandlungsanlagen, also Remanufacturing-Unternehmen, die Elektro(nik)altgeräte aufarbeiten, müssen zudem gemäß § 21 ElektroG durch einen Sachverständigen zertifiziert werden.<sup>19</sup>

Abfälle, die für ein Remanufacturing vorgesehen sind, werden oftmals international gehandelt und unterliegen dann der Abfallverbringungsverordnung (VVA) bzw. den Vorgaben der Baseler Konvention. Diese sind sehr strikt, um illegale Verbringungen zu unterbinden. Abfälle können somit, abhängig vom Gefährlichkeitsgrad und Empfängerstaat, genehmigungsfrei oder genehmigungspflichtig verbracht werden - wenn kein generelles Ausfuhrverbot besteht (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Anforderung an die Verbringung von Abfällen<sup>20</sup>**

	Ausfuhr in EU-Staaten	Ausfuhr in OECD-Staaten	Ausfuhr in Nicht-OECD-Staaten
Nicht-gefährliche Abfälle <sup>21</sup>	genehmigungsfrei aber informationspflichtig nach § 18 VVA*	genehmigungsfrei aber informationspflichtig nach § 18 VVA*	Je nach Mitteilung des Empfängerstaats genehmigungsfrei, genehmigungspflichtig oder verboten
Gefährliche Abfälle <sup>21</sup>	genehmigungspflichtig	genehmigungspflichtig	genehmigungspflichtig wenn kein Ausfuhrverbot besteht

\*VVA= Verordnung (EG) Nr. 1013/2006 vom 14.06.2006 über die Verbringung von Abfällen

<sup>19</sup> Vgl. LAGA M31 (Entwurf 2016), S. 77f.

<sup>20</sup> Vgl. Aiblinger-Madersbacher (2016), S. 331 ff.

<sup>21</sup> Gefährliche Abfälle sind Abfälle, die Gefährlichkeitsmerkmale aufweisen und eine potentielle Gefahr für die Umwelt darstellen. Nicht gefährliche Abfälle sind alle übrigen Abfälle.

### 2.3 Relevante Akteure des Remanufacturing

In der Remanufacturing-Branche können drei Akteure unterschieden werden, die den Aufarbeitungsprozess von Altteilen durchführen.<sup>22</sup>

- Originalgerätehersteller und -aufarbeiter (Original Equipment Manufacturer/ Remanufacturer)
- vertragsgebundene Aufarbeiter (Contracted Remanufacturer)
- unabhängige Aufarbeiter (Independent Remanufacturer)

**Originalgerätehersteller und -aufarbeiter (OEM/OER)** nehmen ihre eigenen Produkte über eine sogenannten Reverse Supply Chain, eine rückwärts gerichtete Logistikkette z. B. durch Service-Center, Leasing Verträge, Pfandsysteme oder Inzahlungnahmen von Händlern zurück. Die Altteile werden betriebsintern zerlegt, aufgearbeitet und entweder auf den gleichen Fertigungslinien der Neuproduktionen oder an separaten Produktionsstandorten remontiert.<sup>23</sup> Das Remanufacturing eröffnet den Originalgeräteherstellern die Möglichkeit, ihren Kunden eine breitere Produktpalette mit einer größeren Preisflexibilität anzubieten. Von Vorteil ist zudem ein bereits vorhandenes Wissen um das Produktdesign und die Vorrätigkeit der Bauteile, sodass der Aufarbeitungsprozess kosten- sowie materialeffizient abgewickelt werden kann.<sup>24</sup>

**Externe Remanufacturing-Unternehmen (CR)** können durch Originalgerätehersteller und -aufarbeiter vertragsbasiert beauftragt werden, die Aufarbeitung der Altteile durchzuführen. Der Besitz der Altteile bleibt beim Originalgerätehersteller, während der Prozess ausgelagert wird. Auch bei dieser Variante kann der Originalgerätehersteller eine breitere Produktpalette anbieten und ist flexibel bei der Preisgestaltung. Für den vertragsgebundenen Remanufacturer sind die konstante Auftragslage über den Vertragszeitraum

---

<sup>22</sup> Vgl. Sundin et al. (2016), S. 12.

<sup>23</sup> Vgl. Knorr-Bremse (2015).

<sup>24</sup> Vgl. Sundin et al. (2008), S. 538.



kann ein Sortiment seiner Produkte auch betriebsintern aufarbeiten, während die Aufarbeitung eines anderen Produktsortiments gleichzeitig an einen externen, vertragsgebundenen Remanufacturer abgegeben wird.

**Der Corebroker** ist ein weiterer Akteur, der vor dem Aufarbeitungsprozess agiert.<sup>27</sup> Dieser handelt als professioneller Dienstleister mit Altteilen und übernimmt auf Kundenwunsch bereits vor der Lieferung eine Vorsortierung, sodass die Altteile sortenrein angeliefert werden können.

## 2.4 Prozesskette des Remanufacturing

Das Remanufacturing findet in Produktionsbetrieben statt, die wie Industriebetriebe organisiert sind. Das schließt eine Serienfertigung bzw. standardisierte Industrieprozesse sowie ein einheitliches Qualitätsniveau der aufgearbeiteten Produkte ein.<sup>28</sup>

Der Prozess des Remanufacturing unterteilt sich in fünf Hauptprozessketten-schritte sowie mögliche vor- und nachgelagerte Prozessschritte (Abbildung 4).

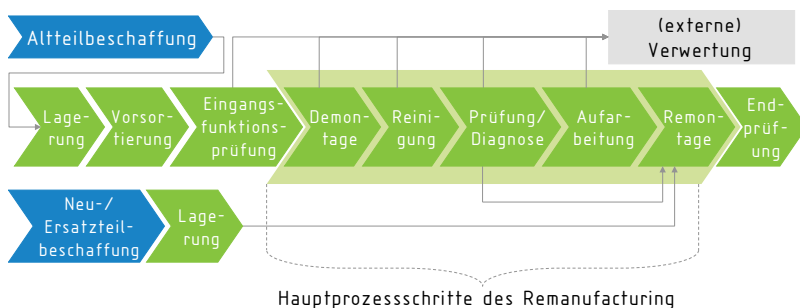


Abbildung 4: Prozesskette Remanufacturing<sup>29, 30</sup>

Die Abfolge der Prozessketten-schritte ist u. a. abhängig von den aufzuarbeitenden Altteilen. Mechanische, elektrische, elektromechanische und hydraulische Systeme (z. B. Kupplungen, Starter oder Lichtmaschinen) werden

<sup>27</sup> Core (engl.) = Altteil; Corebroker (engl.) = Altteihändler

<sup>28</sup> Vgl. Bullinger et al. (2009).

<sup>29</sup> In Anlehnung an Steinhilper (1998) in Butzer (2016a).

<sup>30</sup> In Anlehnung an Bullinger et al. (2009), S. 287.

meist sofort demontiert und folgen den weiteren Prozessschritten der Reinigung, Prüfung, Aufarbeitung und Remontage.<sup>31</sup>

Die vorgelagerte Eingangsfunktionsprüfung findet hauptsächlich bei mechatronischen, elektronischen und hybriden Systemen statt. In Fahrzeugen sind beispielsweise bis zu 100 Elektronikbaugruppen verbaut, für die eine sichere Prüfung und Fehlerdiagnose erfolgen müssen. Dazu dienen beispielsweise ein Verhaltenstest anhand einer Kennlinienanalyse<sup>32</sup>, eine anschließende thermografische Diagnose und eine manuelle optische Diagnose, bevor das Produkt im aufarbeitbaren Zustand in die Demontage gegeben wird.<sup>33</sup>

Über die Demontage werden die Altteile in ihre Einzelbestandteile zerlegt und sortiert. Nicht wiederverwendbare und nicht refabrikierbare Bestandteile werden entfernt und einer adäquaten Verwertung zugeführt. Die Demontage erfordert zumeist eine manuelle Zerlegung, da unterschiedliche Korrosions- sowie Verschmutzungsgrade und die damit verbundene Aufarbeitung oder Verwertung nur durch geschultes Personal eingeschätzt werden können, eine große Vielfalt mit unterschiedlichen, zum Teil demontageunfreundlichen Altgerätestrukturen besteht und das Mengenaufkommen nur schwer kalkulierbar ist.<sup>34, 35</sup>

In der folgenden Reinigungsstufe werden die demontierten und für eine Aufarbeitung aussortierten Altteile entfettet, entölt, entrostet oder entlackt. Dies erfolgt durch Nassreinigung (z. B. Waschplatzsysteme, Kammerwaschanlagen mit Spritz-Flut-Tauch-Technik) oder durch Trockenreinigungssysteme (z. B. Brennöfen zur Lackschichtentfernung, Trockenstrahlanlagen mit Strahlmitteln gängiger Art, wie Sand, Glasperlen oder Korund).<sup>36</sup> Es besteht

---

<sup>31</sup> Vgl. Steinhilper (1998) in Butzer (2016a).

<sup>32</sup> Kennlinie = für ein Bauteil oder eine Baugruppe charakteristische, mehrdimensionale Darstellung von zwei voneinander abhängigen physikalischen Größen. Die Kennlinienanalyse eines mechatronischen Systems prüft über Signalmessungen dessen Leistungsfähigkeit, die in einem bereits bestimmten Leistungskorridor liegen sollte.

<sup>33</sup> Vgl. Steinhilper und Freiberger (2010), S. 95 f.

<sup>34</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 4.

<sup>35</sup> Vgl. VDI 2343, Blatt 3, S. 3.

<sup>36</sup> Vgl. Universität Bayreuth (2017).

Entwicklungsbedarf bei produkt- und werkstoffspezifischen Reinigungstechnologien, damit Oberflächen weniger angegriffen werden und die funktionalen Eigenschaften der Altteile besser geschützt werden können.<sup>37</sup> Gleichzeitig sollen dabei Ressourceneffizienz-Aspekte Beachtung finden, wie die Aufbereitung und Kreislaufführung der Reinigungsmedien oder der Einsatz speicherprogrammierbarer Steuerungen (SPS), die eine auf die Bauteilverschmutzungstiefe abgestimmte Reinigung (z. B. einstellbare Strahlstärke) ermöglichen.<sup>38</sup>

Die gereinigten Bauteile unterliegen einer weiteren Zustandsprüfung und werden entsprechend den festgestellten Mängeln in folgende Kategorien eingeteilt:<sup>39</sup>

- wiederverwendbar ohne Aufarbeitung,
- wiederverwendbar nach Aufarbeitung,
- nicht wiederverwendbar.

Altteile, die keiner Aufarbeitung bedürfen, werden direkt in die Remontage gegeben. Altteile, die aufgearbeitet werden müssen, werden durch typische Verfahren wie Bohren, Fräsen, Honen, Schleifen oder Schweißen aufgearbeitet, geprüft und dann in der Remontage zum Ausgangsprodukt zusammengesetzt. Die Methode der mechanischen Aufarbeitung hängt vom Altteil ab und wird bereits während der Prozessgestaltung festgelegt. Nicht wiederverwendbare Teile werden einer adäquaten Verwertung zugeführt und können durch neue Bau- bzw. Ersatzteile ausgetauscht werden.<sup>40</sup> Die Remontage kann nach der Aufarbeitung der Komponenten teilweise auf den Fertigungslinien der Neuteile erfolgen, wenn die Altteile durch den Originalgerätehersteller refabriziert werden.<sup>41</sup>

---

<sup>37</sup> Vgl. Bullinger et al. (2009), S. 287.

<sup>38</sup> Vgl. Universität Bayreuth, (2017).

<sup>39</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 4.

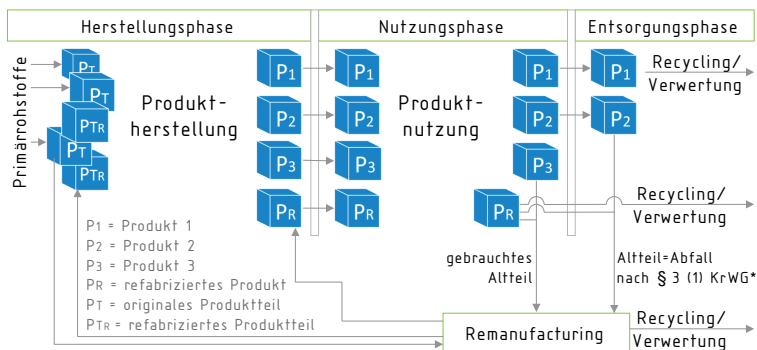
<sup>40</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 4.

<sup>41</sup> Vgl. Knorr-Bremse (2015).

Nach der Fertigung des aufgearbeiteten Produkts aber auch entlang dem gesamten Aufarbeitungsprozess werden intensiv und kontinuierlich Qualitäts-sicherungsmaßnahmen betrieben.<sup>42</sup> Die Endprüfung dient letztlich der Kontrolle der Leistungs- bzw. Funktionsfähigkeit und stellt sicher, dass sich diese auf gleichem oder höherem Niveau eines Neuprodukts bewegt. Qualitätssicherungsmaßnahmen werden – anders als bei Neuproduktionen – bei jedem refabrizierten Altteil durchgeführt.<sup>43</sup>

### 2.5 Ökologische Effekte und Ressourceneinsparungen durch Remanufacturing

Das Remanufacturing führt Produkte im Kreislauf. Ein Altteil wird entweder am Ende der Nutzungsphase oder zu Beginn der Entsorgungsphase in eine Aufarbeitung gegeben. Die Nutzung von Primärrohstoffen und der Einsatz von u. a. Energie, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen für eine Neuproduktion entfallen folglich für mindestens einen Lebenszyklus (Abbildung 5).



\* § 3 (1) KrWG: Abfälle im Sinne dieses Gesetzes sind alle Stoffe oder Gegenstände, derer sich ihr Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss.

Abbildung 5: Einordnung des Remanufacturing in den Produktlebenszyklus

Die Frage, ob das Remanufacturing tatsächlich weniger Materialien und Energie benötigt als eine Neuproduktion, wurde bereits in mehreren Studien durch die Methode des Life Cycle Assessment (LCA) untersucht. Die vergleichende Bewertung von ökologischen Auswirkungen über den gesamten Lebensweg ermittelt dabei die aus Umweltsicht zu favorisierende Alternative.

<sup>42</sup> Vgl. Bullinger et al. (2009), S. 287.

<sup>43</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 4.

Ausgewählte Ergebnisse von fünf durchgeführten LCA-Analysen verschiedener Remanufacturing-Fallbeispiele sind in Tabelle 2 gelistet.

**Tabelle 2: LCA-Ergebnisse neu- und refabrizierter Produktteile - Fallbeispiele<sup>44</sup>**

	Neuferti- gung	Refabri- kation	Einspa- rung in %
<b>Fallbeispiel 1: DIESELMOTOR<sup>45</sup></b>			
Energieverbrauch in Megajoule	6.016,68 MJ	3.620,16 MJ	40 %
Ressourcenverbrauch von Kohle in Kilogramm	2.200 kg	590 kg	73 %
Ressourcenverbrauch von Erdöl in Kilogramm	59,5 kg	48,5 kg	18 %
CO <sub>2</sub> -Emissionen in Tonnen	3,9 t	1,02 t	74 %
<b>Fallbeispiel 2: ZYLINDERKOPF<sup>46</sup></b>			
Ressourcenverbrauch von Kohle in Kilogramm	320.175 kg	71.182 kg	78 %
Ressourcenverbrauch von Erdöl in Kilogramm	6.468 kg	9.237 kg	- 43 %
CO <sub>2</sub> -Emissionen in Tonnen	534 t	126 t	76 %
<b>Fallbeispiel 3: KOMPRESSOR<sup>47</sup></b>			
Emissionen in Kilogramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente	1,590 kg CO <sub>2</sub> -eq	168 kg CO <sub>2</sub> -eq	89 %
<b>Fallbeispiel 4: SCHALTGETRIEBE<sup>48</sup></b>			
Energieverbrauch	Keine Angabe	Keine Angabe	33 %
<b>Fallbeispiel 5: STARTER<sup>49</sup></b>			
Energieverbrauch in Megajoule-Äquivalente	281,03 MJ-e	122,73 MJ-e	56 %
Materialverbrauch in Kilogramm	3,49 kg	0,43 kg	88 %
Emissionen in Kilogramm CO <sub>2</sub> -Äquivalente	17,01 kg CO <sub>2</sub> -eq	8,03 kg CO <sub>2</sub> -eq	53 %

Bis zu knapp 90 % weniger Emissionen und Material sowie bis zu 56 % weniger Energie werden in den vorgestellten Beispielen durch die Refabrikation von Altteilen verbraucht. Im Fall „Zylinderkopf“ werden etwa die Prozessschritte der Gusseisenerzeugung sowie das Gießen des Zylinderkopfs vermieden. Zudem benötigt die Aufarbeitung eines gebrauchten Zylinderkopfs weniger energetische Ressourcen und erzeugt geringere Emissionen als die Bearbeitung eines neuen Zylinderkopfs.<sup>50</sup>

<sup>44</sup> Die Fallbeispiele besitzen unterschiedliche Systemgrenzen und sind untereinander nicht vergleichbar.

<sup>45</sup> Vgl. Dias et al. (2013), S. 676.

<sup>46</sup> Vgl. Liu et al. (2013), S. 1031.

<sup>47</sup> Vgl. Biswas et al. (2013), S. 7.

<sup>48</sup> Vgl. Warsen et al. (2011), S. 67 in Peters (2016), S. 33.

<sup>49</sup> Vgl. Bartel (2015), S. 7.

<sup>50</sup> Vgl. Liu et al. (2016), S. 1031.



Dieses Fallbeispiel zeigt auch, dass die Betrachtung des gesamten Lebenswegs unabdingbar ist. So erhöht sich der Erdölverbrauch für die gebrauchten Zylinderköpfe um 2.800 kg. Dies liegt einerseits am Transportweg zum Aufarbeitungsort (Remanufacturing-Zentrum), der sich um mehr als 750 km verlängert. Andererseits werden ca. 4,5 kg Erdöl je Zylinderkopf für die Pyrolyse zur Lackschichtentfernung während des Reinigungsprozesses eingesetzt. Die Refabrikation des Zylinderkopfs erhöht somit den Erdöleinsatz um insgesamt 43 %. Dennoch substituieren die übrigen Einsparungen den erhöhten Transportweg und den Erdöleinsatz im Reinigungsprozess und verringern die gesamte Umweltbelastung um rund 40 %.<sup>51</sup>

Das Remanufacturing wird daher als Kreislaufführungsoption mit einem der höchsten Ressourceneffizienzpotenziale bewertet und besitzt beispielsweise auch im Vergleich zum Recycling eine geringere Umweltbelastung.<sup>52, 53</sup> Die eingesetzte Energie, die für die Aufarbeitung eines Altteils genutzt wird, liegt meist unter der genutzten Energie zum Recyceln des Produkts und zur erneuten Produktherstellung aus den resultierenden Sekundärrohstoffen.<sup>54, 55</sup> Beide Varianten sind Kreislaufschließungsstrategien, die eine Unabhängigkeit von kritischen Rohstoffen fördern.<sup>56</sup>

Zusammenfassend besitzt der Einsatz refabrizierter Produkte klare Vorteile aus Umweltsicht.<sup>57</sup> Die Bewertung sollte jedoch alle Kriterien und Lebensphasen einbeziehen.

---

<sup>51</sup> Vgl. Liu et al. (2016), S. 1031.

<sup>52</sup> Vgl. Graedel und Allenby (1998), Ryding et al. (1995), Jacobssen (2000), Steinhilper (1998) in Lindahl et al. (2006), S. 448.

<sup>53</sup> Vgl. Dando (2016).

<sup>54</sup> Vgl. Lund (1996) in Lindahl (2006), S. 448.

<sup>55</sup> Vgl. Nasr und Thurston (2006), S. 16.

<sup>56</sup> Vgl. BMUB (2016), S. 36 und 48.

<sup>57</sup> Vgl. Sundin und Lee (2016).

**Ökologische Vorteile des Remanufacturing:**

- Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten
- Nachhaltige Option zur Kreislaufschließung von Materialströmen
- Geringerer Material- und Energieeinsatz im Vergleich zur Neuteileproduktion trägt zur Ressourcen- bzw. Energieeffizienz bei
- Ressourceneffiziente Alternative zum Recycling (Vorbereitung zur Wiederverwendung)
- Fördert Unabhängigkeit von kritischen Rohstoffen

## 2.6 Ökonomische Effekte des Remanufacturing

Durch die Aufarbeitung von Altteilen bleiben die in die Herstellung eingebrachten Ressourcen und die aufgewendete Energie - also die ursprüngliche Wertschöpfung - erhalten.<sup>58</sup>

Im verarbeitenden Gewerbe rechnen die Hersteller im Schnitt mit Materialkosten von mehr als 40 %, die den größten Kostenblock im Unternehmen ausmachen.<sup>59</sup> Durch das Remanufacturing können Material- sowie Energieaufwendungen eingespart werden. Dies führt folglich zu Kosteneinsparungen bzw. höheren Gewinnspannen, die nach Möglichkeit über reduzierte Verkaufspreise an den Kunden weitergegeben werden können. Das Remanufacturing resultiert in diesem Fall in einer Win-win-Situation sowohl für den Hersteller als auch den Kunden.

Am Beispiel mechatronischer Systeme konnte ermittelt werden, dass Altteile unter adäquaten Voraussetzungen (Abbildung 6, Tabelle 3, Tabelle 4) teilweise zu Kosten von weniger als 50 % im Vergleich zum Originalneupreis aufarbeitbar sind. Die Gewinnschwelle ist dabei bereits bei geringen Stückzahlen erreichbar.<sup>60</sup> Folglich können refabrizierte Produkte fallweise für

---

<sup>58</sup> Vgl. Walther (2010), S. 189.

<sup>59</sup> Vgl. VDI ZRE (2017).

<sup>60</sup> Vgl. Steinhilper und Freiberger (2010), S. 92.

rund 40 % bis 80 % des Beschaffungspreises eines äquivalenten Originalprodukts angeboten werden und bedeuten für den Kunden einen nicht zu vernachlässigenden Kostenvorteil.<sup>61</sup>

Die resultierenden Einsparungen für Hersteller und Kunden stellen sich jedoch nur unter bestimmten Markt Voraussetzungen ein. In den Vereinigten Staaten hat sich die Remanufacturing-Branche, die 2011 eine Marktgröße von ca. US \$ 43 Milliarden besaß, nicht aus ökologischen Motiven oder gesetzlichen Auflagen etabliert, sondern aus rein wirtschaftlichen Anreizen.<sup>62, 63</sup> Die notwendigen Voraussetzungen dazu sind in Abbildung 6 gelistet und können drei Bereichen zugeordnet werden: dem Rücknahmesystem für Altteile (a), dem Remanufacturing-Prozess (b) und der Vermarktung der Refabrikate (c).

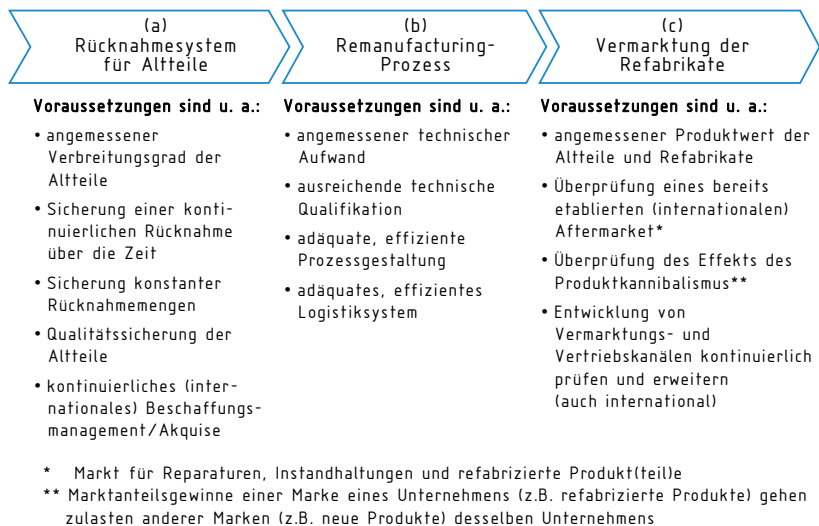


Abbildung 6: Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit des Remanufacturing<sup>64</sup>

<sup>61</sup> Vgl. Sahni et al. (2010) in Xing und Gao (2014), S. xiii.

<sup>62</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 23.

<sup>63</sup> Vgl. Nasr and Thurston (2006), S. 16.

<sup>64</sup> In Anlehnung an Guide und Wassenhove (2009), S. 12.

## (a) Rücknahmesystem für Altteile

Ein adäquates Rücknahmesystem ist eine der Grundvoraussetzungen für ein wirtschaftlich funktionierendes Remanufacturing-Unternehmen bzw. eine Remanufacturing-Sparte in einem Unternehmen.<sup>65</sup> Über das Beschaffungsmanagement bzw. die Akquise muss die kontinuierliche Bereitstellung konstanter Altteilmengen über die Zeit in möglichst gleichbleibender Qualität und für angemessene Preise gesichert werden.<sup>66</sup> Das ist entscheidend davon abhängig, wie hoch der Verbreitungsgrad des Originalprodukts auf dem Markt ist. Eine geringe Marktmenge an Produkten erschwert die Rücknahmelogistik, während eine Markt(über)sättigung die Nachfrage nach refabrizierten Produkten in der Vermarktungsphase sinken lässt. Potenzielle Rücknahmewege oder -systeme von Altteilen lassen sich wie folgt unterteilen:<sup>67</sup>

- *Eigentumsbasierte Rücknahme:* Während der Nutzung des Produkts durch den Kunden liegt der Besitz durchgängig beim Hersteller (u. a. Leasing- und Mietmodelle).
- *Rücknahme auf Basis eines Servicevertrags:* Die Rücknahme basiert auf einem Servicevertrag zwischen Hersteller und Kunden, der die Aufarbeitung inkludiert.
- *Auftragsinstandsetzung:* Ein Kunde transferiert das gebrauchte Altteil an den Remanufacturer mit einem direkten Aufarbeitungsauftrag. Er bekommt das gleiche, aufgearbeitete Produkt wieder zurück.
- *1:1-Rücknahme:* Beim Kauf eines aufgearbeiteten Produkts ist der Kunde verpflichtet, ein gleiches, gebrauchtes Altteil zurück zugeben.
- *Rücknahme über Rabatte auf refabrizierte Produkte:* Bei der Rückgabe eines gebrauchten Altteils bekommt der Kunde einen Rabatt, den er als Preisnachlass auf den Kauf von refabrizierten Produkten erhält.

---

<sup>65</sup> Vgl. Nasr und Thurston (2006), S. 16.

<sup>66</sup> Vgl. Guide und Wassenhove (2009), S. 12.

<sup>67</sup> Vgl. Östlin (2009) in Sundin et al. (2016), S. 18.

- *Rücknahme über Kauf von gebrauchten Altteilen:* Der Aufarbeiter kauft gebrauchte Altteile von Anbietern (u. a. Schrotthöfe, Altteilhändler, Endverbraucher).
- *Freiwillige Rückgabe:* Der Anbieter (u. a. Schrotthöfe, Altteilhändler, Endverbraucher oder auch Kunden) gibt das gebrauchte Altteil freiwillig an den Aufarbeiter zurück.

Eine Studie befragte 30 europäische Remanufacturing-Unternehmen zu deren Rücknahmewegen. Von 44 Nennungen war die am häufigsten erwähnte Rücknahmeart der Kauf von gebrauchten Altteilen (34 %, Tabelle 14 im Anhang).<sup>68</sup>

#### (b) Der Remanufacturing-Prozess

Die Prozessgestaltung der Aufarbeitung ist der Art und Variantenvielfalt der Altteile anzupassen<sup>69</sup> und muss wirtschaftlich ausgerichtet sein, d. h., die Kosten des technischen Aufwands sollten die Einnahmen durch die Refabrikate nicht übersteigen. Insbesondere die Überprüfung der Altteile kann aktuell noch nicht bzw. kaum über automatisierte Prozessschritte erfolgen, sondern bedarf einer manuellen Sichtdiagnose und erfordert spezifisches Know-how, also eine ausreichende Qualifikation der Mitarbeiter. Zudem müssen das Logistiksystem und die damit einhergehenden Transportaufwendungen die Rücknahmekanäle, die Remanufacturing-Standorte und die verfügbaren Vermarktungskanäle effizient vernetzen.

#### (c) Vermarktung der Refabrikate

Die Refabrikate müssen einen angemessenen Produktwert besitzen, d. h., es sollte eine konstante Nachfrage bestehen. Es ist dahingehend schwieriger, schnelllebige Elektronikartikel zu refabrikieren als beispielsweise über längere Zeitphasen benötigte Automobilprodukte wie Starter oder Lichtmaschinen.<sup>70</sup> Hilfreich ist zudem ein bereits etablierter Aftermarket - ein Markt, auf

---

<sup>68</sup> Vgl. Sundin et al. (2016), S. 18.

<sup>69</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016a), S. 7 ff.

<sup>70</sup> Vgl. Allwood et al. (2011), Chapman et al. (2009) und Lundmark et al. (2009) in Brüning et al. (2014), S. 27.

dem reparierte, wiederverwendbare und aufgearbeitete Produkte gehandelt werden.

Die Vertriebskanäle, über die die refabrizierten Produkte angeboten werden, sind immer wieder neu zu justieren und an die Anforderungen der Kunden und die aktuellen Marktentwicklungen anzupassen. Ein Beispiel ist das Prinzip „Nutzen statt Besitzen“, das für refabrizierte Produkte einen neuen Vermarktungsweg darstellt. Die Skepsis des Kunden gegenüber refabrizierten Produkten kann gehemmt werden, indem dieser die Produktleistung erkauft, ohne in Besitz des Produktes zu sein.

Innerhalb des Unternehmens können weitere Effekte wie die des Produktkannibalismus auftreten. Dabei gehen refabrizierte Produkte zulasten von Marktanteilsgewinnen anderer im Unternehmen angebotener neugefertigter Produkte. Um diesem Effekt vorzubeugen, trennte beispielsweise Dell auf dem amerikanischen Markt die Internetauftritte für Neuprodukte und refabrizierte Produkte.<sup>71, 72</sup>

Die ökonomischen Effekte des Remanufacturing können sich somit positiv auf die Bilanz eines Unternehmens auswirken, wenn die Markt Voraussetzungen gegeben sind und beachtet werden.

### **Ökonomische Vorteile des Remanufacturing:**

- ursprüngliche Ressourcen und Energie – also die ursprüngliche Wertschöpfung – bleiben zum Großteil erhalten
- i. d. R. geringere Herstellkosten im Vergleich zur Neuproduktion eines äquivalenten Produkts
- Kostenvorteile für Nutzer: Beschaffungskosten von Refabrikaten liegen ca. 40 % bis 80 % unter denen äquivalenter Neuprodukte
- Wettbewerbsvorteile durch höhere Gewinnspannen und strategische Vorteile

---

<sup>71</sup> Vgl. Ovchinnikov (2010), S. 824.

<sup>72</sup> Vgl. Dell (2016).

## 2.7 Design for Remanufacturing

Die ökonomischen und ökologischen Vorteile des Remanufacturing können verstärkt werden, indem bereits die Produktgestaltung an die Refabrikation angepasst wird. Das sogenannte „Design for Remanufacturing“ (DfRem) ist eine Komponente des Ökodesigns, das die Umweltbelastungen über den gesamten Lebensweg eines Produktes senken kann.<sup>73, 74</sup>

Design for Remanufacturing (DfRem) kann an zwei Stellschrauben angewandt werden: einerseits durch das strategische Design, z. B. den Verkauf, das Marketing, den Service-Support, das Rücknahmesystem oder die Analyse des Aftermarket, und andererseits auf der technischen Ebene.<sup>75</sup> Der Fokus lag in den letzten Jahren fast ausschließlich auf der Analyse und Entwicklung der technischen Ebene, d. h. der physischen Produktgestaltung zugunsten des Remanufacturing.<sup>76</sup> Dazu gehören z. B. eine einfache Zerlegbarkeit, ein modularer Aufbau oder eine Verschleißfestigkeit von Komponenten (Tabelle 3, Ableitung in Tabelle 11 im Anhang).<sup>77</sup>

**Tabelle 3: Elemente des DfRem – Technische Ebene**

DESIGN FOR REMANUFACTURING – TECHNISCHE EBENE		
PRODUKTGESTALTUNG unter Beachtung adaptiver bzw. adäquater		
TECHNOLOGIE	MATERIALIEN	KONSTRUKTION
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einsatz dauerhafter Technologie über einen Lebenszyklus hinaus</li> <li>• Austauschbarer Technologieeinsatz bei gleichbleibender Produktgestalt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Korrosionsresistenz</li> <li>• Verschleißfestigkeit</li> <li>• Dauerhaftigkeit</li> <li>• Oberflächenbeständigkeit (funktionelle u. Deckschichten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Zerlegbarkeit</li> <li>• Einfache Reinigung</li> <li>• Modularer Produktaufbau mit geringer Komplexität</li> <li>• Adäquate Fügeverfahren (Stecken, Schrauben etc.)</li> <li>• Standardisierung des Aufbaus u. a. bei Produktfamilien</li> </ul>

<sup>73</sup> Vgl. Sundin et al. (2008), S. 46.

<sup>74</sup> Vgl. UBA (2016).

<sup>75</sup> Vgl. Nasr und Thurston (2006), S. 17.

<sup>76</sup> Vgl. Prendeville et al. (2016), S. 3.

<sup>77</sup> Vgl. Nasr und Thurston (2006), S. 17; Yang et al. (2016), S. 149; Gray und Charter (2006), S. 25 ff.; Prendeville, S. und Bocken, N.; S. 5.; Prendeville et al. (2016), S. 40.

Das geplante Produkt ist entsprechend Abbildung 6 unter den Aspekten einer adaptiven Technologie, adäquater Materialien und einer effizienten Konstruktion zu gestalten. Die Hersteller/-Designer erzielen dabei den größten Nutzen einer nachhaltigen Produktgestaltung, wenn die Produktverantwortung, also der Produktbesitz, über den gesamten Lebensweg beim Hersteller verbleibt.<sup>78</sup> Es können sich dabei unter Umständen Zielkonflikte in der Produktentwicklung einstellen. Im Leichtbau kann beispielsweise die Einsparung von möglichst viel Gewicht (u. a. im Automobilsektor zur Reduktion des Benzin- bzw. Dieserverbrauchs) die Haltbarkeit eingesetzter Materialien beeinflussen und einer Produktnutzung über mehrere Lebenszyklen und damit dem Remanufacturing entgegenstehen. Eine umfassende Betrachtung des Produktlebenszyklus und eine genaue Zieldefinition sind somit unabdingbar.

Neben dem Lebenszyklus-Gedanken als Schlüsselempfehlung wird angeraten, dass das strategische Design, also die Auslegung der operativen und organisatorischen Faktoren zugunsten des Remanufacturing, eine größere Rolle spielen sollten.<sup>79</sup> Dies beinhaltet die Definition der Strategie hinsichtlich u. a. der Kundenbedürfnisse bzw. des Verbraucherverhaltens, einer angemessenen Kommunikations- und Öffentlichkeitsarbeit, optimaler Preisstrategien, effizienter Rücknahmesysteme oder der Analyse existenter Märkte für aufgearbeitete Altteile (Tabelle 4).<sup>80, 81</sup>

---

<sup>78</sup> Vgl. Nasr und Thurston (2006), S. 17.

<sup>79</sup> Vgl. Hatcher et al. (2011), S. 2004.

<sup>80</sup> Vgl. Prendeville und Bocken (2016), S. 4.

<sup>81</sup> Vgl. Prendeville et al. (2016), S. 8.



Tabelle 4: Elemente des DfRem – Strategische Ebene<sup>82</sup>

DESIGN FOR REMANUFACTURING – STRATEGISCHE EBENE			
BETRIEBSWIRTSCHAFTLICHE GESTALTUNG unter Beachtung der Faktoren			
MARKTANALYSE	VERBRAUCHERVERHALTEN /-KUNDENSTRUKTUR	MARKETING- STRATEGIE	LOGISTIK
u. a. Analyse <ul style="list-style-type: none"> <li>• existenter Aftermarkets</li> <li>• von Marktvolumen und Marktpotenzial</li> <li>• von Marktwachstum und Dynamik</li> <li>• von Marktanteilen</li> <li>• des gesetzlichen Rahmens</li> </ul>	u. a. Analyse der/-des <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verbrauchergruppen (Geschlecht, Einkommen etc.)</li> <li>• hauptsächlichsten Kaufmotive/ Kaufabsichten v. Verbrauchergruppen</li> <li>• Einflussnehmenden Faktoren auf bestehende Kaufmotive/absichten</li> <li>• Einflusses der Produktkategorie auf die Zahlungsbereitschaft</li> <li>• Einflusses der Art und Weise der Informationsbereitstellung auf die Zahlungsbereitschaft</li> </ul>	u. a. Festlegen der <ul style="list-style-type: none"> <li>• Preispolitik</li> <li>• Produktpolitik</li> <li>• Vertriebspolitik</li> <li>• Werbepolitik</li> </ul>	u. a. Analyse der <ul style="list-style-type: none"> <li>• effizienten Gestaltung von Rücknahmesystemen</li> <li>• effizienten Gestaltung von Transport und Infrastruktur</li> <li>• Lieferanten</li> </ul>

Die organisatorische und operative Gestaltung beeinflusst ein erfolgreiches Remanufacturing maßgeblich. Die VDI Richtlinie 2343, Blatt 2 präzisiert z. B. die Sammel- und Entsorgungslogistik, dennoch sind Untersuchungen dazu aktuell noch rar und bedürfen einer Intensivierung, um das Design for Remanufacturing auf strategischer Ebene voranzutreiben.<sup>83, 84</sup>

**Wesentliche Aspekte des Design for Remanufacturing:**

- Technische Ebene: Einsatz dauerhafter und adaptionsfähiger Technologien, Verarbeitung langlebiger und belastbarer Materialien und zerlegbarer, modularer, teilweise standardisierter Produktaufbau
- Strategische Ebene: umfassende Analyse des Markts und des Verbraucherverhaltens in Bezug auf die zu refabrikierenden Produkte sowie die Festlegung einer Marketingstrategie und eines effizienten Rücknahmesystems

<sup>82</sup> Vgl. Govindan (2016).

<sup>83</sup> Vgl. VDI 2343, Blatt 2, (2010).

<sup>84</sup> Vgl. Govindan (2016).

## 3 MARKTSTÄRKE UND -ENTWICKLUNG DES REMANUFACTURING

### 3.1 Der europäische Markt

#### 3.1.1 Charakterisierung nach Ländern

Die Remanufacturing-Branche hält einen Anteil von ca. 2 % am gesamten europäischen Fertigungssektor und generiert einen Umsatz von rund 30 Mrd. Euro pro Jahr.<sup>85</sup>

Im europaweiten Vergleich sind die Länder Deutschland, Vereinigtes Königreich Großbritannien (UK) und Irland sowie Frankreich und Italien marktführend und erwirtschaften über zwei Drittel des gesamten Umsatzes. In deutschen Unternehmen wird rund ein Drittel der gesamten Bruttoeinnahmen der Remanufacturing-Branche umgesetzt (Abbildung 7).

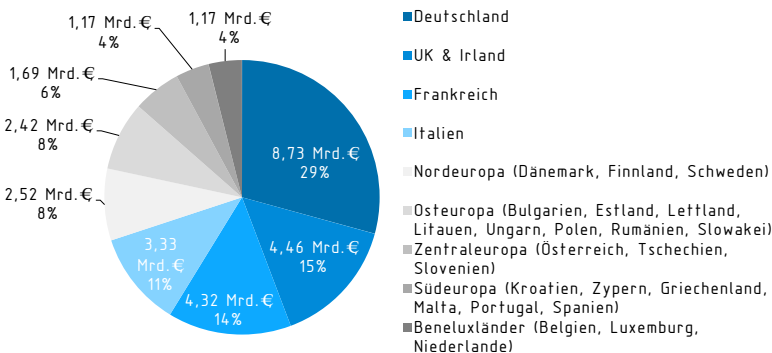


Abbildung 7: Umsatz der Remanufacturing-Branche in Mrd. Euro pro Jahr nach Ländern<sup>86</sup>

Einhergehend mit der Umsatzstärke Deutschlands finden die Remanufacturing-Aktivitäten ebenfalls zu einem Großteil in Deutschland statt. Das European Remanufacturing Network (ERN) befragte dazu europaweit agierende Unternehmen der Remanufacturing-Branche nach ihren Aufarbei-

<sup>85</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 1.

<sup>86</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 1.

tungsstandorten. Von 188 verwertbaren Antworten mit insgesamt 506 Nennungen gaben 73 Befragte an, einen deutschen Produktionsstandort zu betreiben. Das entspricht einem Anteil von 14 % (Abbildung 8).<sup>87</sup>

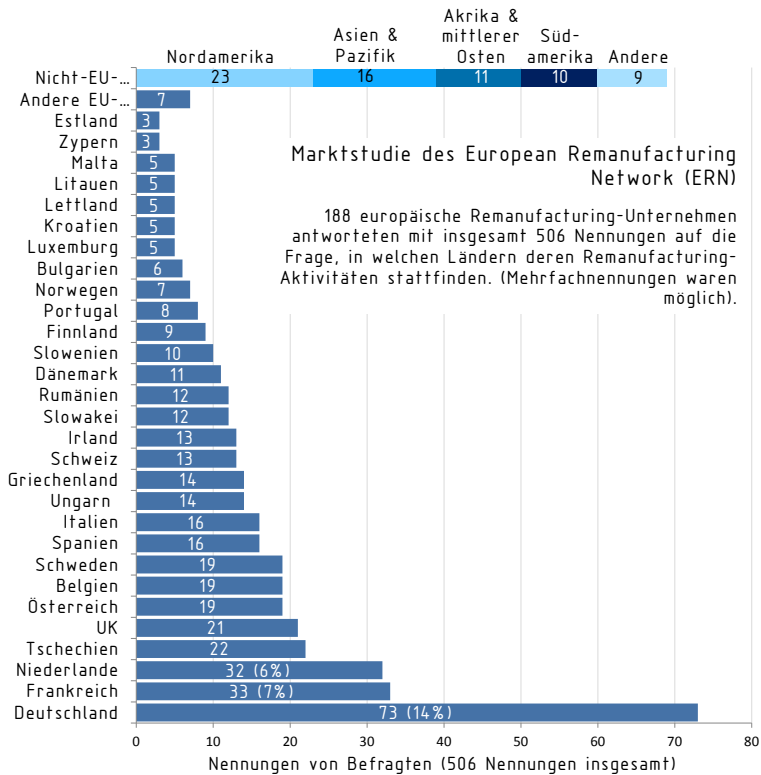


Abbildung 8: Remanufacturing-Aktivitäten nach Ländern<sup>88</sup>

Knapp 50 % der europäischen Remanufacturing-Aktivitäten erfolgen in den Ländern Deutschland, Frankreich, den Niederlanden, Tschechien, UK, Österreich, Belgien und Schweden. Der Hauptsitz der befragten Unternehmen befindet sich dabei in 61 Fällen in Deutschland, in 37 Fällen im UK, in 24 Fällen in den Niederlanden und in zwölf Fällen in Frankreich. In den restlichen

<sup>87</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 32.

<sup>88</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 32.

in 24 Fällen in den Niederlanden und in zwölf Fällen in Frankreich. In den restlichen Ländern ist entweder kein oder es sind maximal sieben Hauptsitze von Remanufacturing-Unternehmen angesiedelt (Tabelle 12 im Anhang).<sup>89</sup>

Der länderspezifische Umsatz (Abbildung 7) korrespondiert in einigen Fällen nicht mit der länderspezifischen Unternehmensanzahl (Abbildung 8). Dies trifft beispielsweise auf die Niederlande zu. Zusammen mit Belgien und Luxemburg setzen die Niederlande jährlich rund 1,2 Mrd. Euro um, haben im Ländervergleich jedoch mit die höchste Anzahl von 32 Unternehmensstandorten. Dies kann u. a. auf eine unterschiedliche Unternehmensgröße zurückgeführt werden, welche in der Marktstudie des European Remanufacturing Network ebenfalls erhoben und anhand des Unternehmensumsatzes gemessen wurde (Tabelle 5).

**Tabelle 5: Verteilung der Unternehmensgröße gemessen am Umsatz<sup>90</sup>**

Unternehmensgröße	Nennungen	In Prozent	
< 2 Millionen Euro	59	32,4 %	71 %
2 - 10 Millionen Euro	55	30,2 %	
10 - 50 Millionen Euro	15	8,2 %	
50 - 100 Millionen Euro	11	6,0 %	
100 - 500 Millionen Euro	10	5,5 %	
> 500 Millionen Euro	32	17,6 %	
<b>Nennungen</b>	<b>182</b>	<b>100 %</b>	

Rund 71 % der Befragten (insgesamt 182 Nennungen) sind kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit einem jährlichen Umsatz von bis zu 50 Millionen Euro. An den gesamten Nennungen haben die Mikrounternehmen (<2 Mio. Euro) sowie die kleinen Unternehmen (2 - 10 Mio. Euro) den größten Anteil mit jeweils ca. 30 %.<sup>91, 92</sup> Rund 18 % der Unternehmen generieren einem Umsatz von mehr als 500 Millionen Euro pro Jahr, während in den mittleren Umsatzsegmenten 5,5 %, 6 % bzw. 8 % der Unternehmen agieren. Die

<sup>89</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 27.

<sup>90</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 28.

<sup>91</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 28

<sup>92</sup> Einteilung der Unternehmensklassen nach Empfehlung der Kommission 2003/361/EG in Parker et al. (2015), S. 28.

Remanufacturing-Branche kann somit mit einer Tendenz zu Mikro- und kleinen Unternehmen als auch einem Anteil Großkonzernen mit eigener Remanufacturing-Sparte charakterisiert werden.<sup>93</sup>

Bezogen auf die Akteure des Remanufacturing konnte festgestellt werden, dass die kleinen und Mikro-Unternehmen in bis zu 80 % der Fälle als unabhängige Aufarbeiter agieren, sogenannte Independent Remanufacturer (IR). Großkonzerne mit Umsätzen von mehr als 100 Millionen Euro sind in mehr als knapp 80 % der Fälle Originalgerätehersteller, sogenannte Original Equipment Manufacturer/-Remanufacturer (OEM/ OER), die eine eigene Aufarbeitung ihrer Produkte betreiben (Abbildung 9).<sup>94</sup>

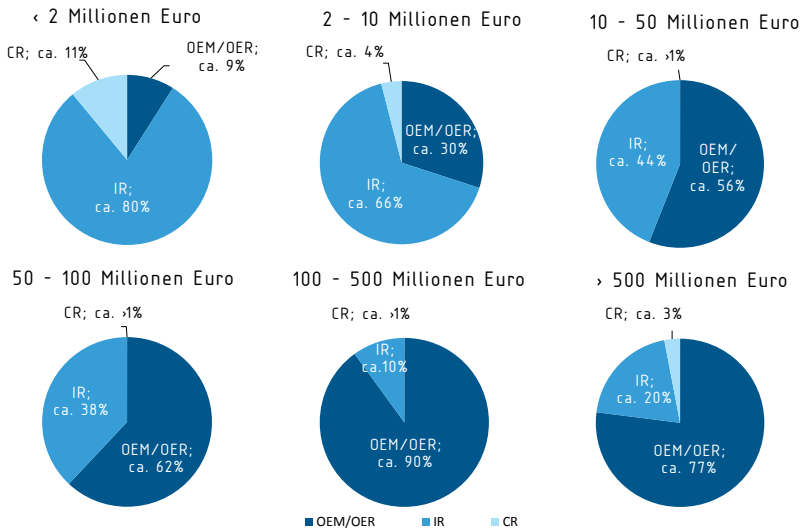


Abbildung 9: Verteilung der Remanufacturing-Akteure nach Umsatz<sup>95</sup>

Im Vergleich spielen vertragsgebundene Aufarbeiter, sogenannte Contracted Remanufacturer (CR), kaum eine Rolle bzw. als Unternehmen mit Umsätzen von weniger als zehn Millionen Euro eine untergeordnete Rolle.

<sup>93</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 27.

<sup>94</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 30.

<sup>95</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 30.

### 3.1.2 Charakterisierung nach Industriesektoren

Der größte Anteil am gesamten europäischen Umsatz von ca. 30 Mrd. Euro wird durch die Industriesektoren Luftfahrt (42 %) und Automobile (25 %) erzielt. Zusammen produzieren sie mehr als zwei Drittel des gesamten europäischen Umsatzes der Remanufacturing-Branche (Abbildung 10).

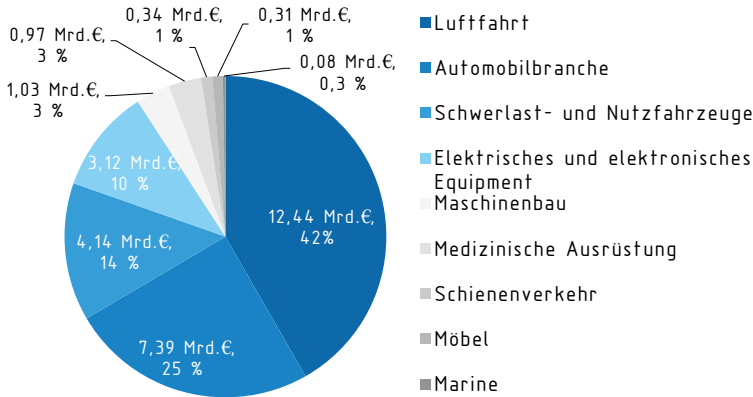


Abbildung 10: Umsatz der Remanufacturing-Branche in Mrd. Euro nach Branchen in Europa<sup>96</sup>

Zwischen jährlich einer und vier Milliarden Euro werden in den Industriesektoren Schwerlast- und Nutzfahrzeuge, Elektr(on)isches Equipment (EEE), Maschinenbau und Medizinische Ausrüstung umgesetzt. Die Industriesektoren Schienenverkehr, Möbel und Marine spielen mit einem Anteil von zusammen 2,5 % am Gesamtumsatz der Remanufacturing-Branche eine vergleichsweise untergeordnete Rolle.

Über zwei Drittel der europäischen Unternehmen sind dabei in der Automobilbranche und in der Branche zur Aufarbeitung von elektrischem und elektronischem Equipment tätig. Das sind gleichzeitig die Branchen, die die meisten Altteile, angegeben in Stückzahlen, aufarbeiten (Tabelle 6).

<sup>96</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 44.

Tabelle 6: Anzahl Unternehmen, Beschäftigte und aufgearbeitete Altteile je Branche<sup>97</sup>

Branche	Unternehmen		Beschäftigte		Aufgearbeitete Altteile	
Luftfahrt	1.000	13,9 %	71.000	37,0 %	5.160.000	3,9 %
Automobil	2.363	32,8 %	43.000	22,4 %	27.286.000	20,6 %
Schwerlast- u. Nutzfahrzeuge	581	8,1 %	31.000	16,1 %	7.390.000	5,6 %
EEE	2.502	34,7 %	28.000	14,6 %	87.925.000	66,4 %
Maschinenbau	513	7,1 %	6.000	3,1 %	1.010.000	0,8 %
Medizintechnik	60	0,8 %	7.000	3,6 %	1.005.000	0,8 %
Schienenverkehr	30	0,4 %	3.000	1,6 %	374.000	0,3 %
Möbel	147	2,0 %	4.000	2,1 %	2.173.000	1,6 %
Marine	7	0,1 %	1.000	0,5 %	83.000	0,1 %
<b>Gesamt</b>	<b>7.204</b>	<b>100 %</b>	<b>192.000</b>	<b>100 %</b>	<b>132.405.000</b>	<b>100 %</b>

Dem entgegen finden sich die meisten Arbeitsplätze in der Luftfahrt, mehr als doppelt so viele wie in der Branche des elektrischen und elektronischen Equipments. Die geringere Anzahl aufgearbeiteter Altteile bei gleichzeitig mehr als doppelter Beschäftigungsanzahl in der Luftfahrt erklärt sich u. a. über die Dimension der Altteile, die erwartungsgemäß in der Luftfahrt größer sind als z. B. in der Branche elektr(on)ischen Equipments.

Zusammenfassend kann der europäische Markt anhand der Länder- sowie Branchenauswertung wie folgt resümiert werden.

### Der europäische Remanufacturing-Markt:

- Die Reman-Branche hält 2 % am europäischen Fertigungssektor und setzt einen jährlichen Umsatz von rund 30 Mrd. Euro um.
- Umsatzstärkste Industriezweige sind Luftfahrt, Automobilbranche, elektr(on)isches Equipment (EEE) und Last- und Nutzfahrzeuge
- Im EU-Vergleich ist Deutschland umsatzstärkstes Land mit den meisten Unternehmenshauptsitzen und Aufarbeitungsstandorten
- Eine Mehrheit an Mikro- und kleinen Unternehmen, die größtenteils als unabhängige Remanufacturer agieren, charakterisiert den Remanufacturing-Markt.

<sup>97</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 0.

### 3.2 Der deutsche Markt

In Deutschland wird jährlich ein Umsatz von ca. 8,7 Mrd. Euro in der Remanufacturing-Branche erzeugt. Den größten Anteil davon mit 44 % erzielt die Luftfahrt, gefolgt von der Automobilbranche mit einem Umsatzanteil von 27 % (Abbildung 11).<sup>98</sup>

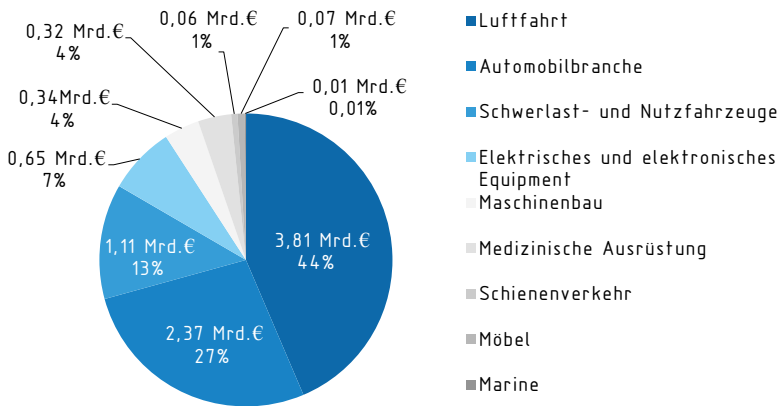


Abbildung 11: Umsatz nach Branchen in Deutschland<sup>99</sup>

Die Branchen Schienenverkehr, Möbel und Marine spielen mit insgesamt ca. 2 % eine untergeordnete Rolle. Die Branchen Schwerlast- und Nutzfahrzeuge (13%), elektrisches und elektronisches Equipment (7%), Maschinenbau (4%) und medizinische Ausrüstung (4%) tragen zu knapp einem Drittel zum jährlichen Umsatz bei.

Bis auf die Sparten Möbel und Marine sind die deutschen Remanufacturing-Branchen im europäischen Vergleich umsatzführend (Tabelle 7).

<sup>98</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S.58, 64, 73, 81, 87, 92, 98, 104, 109.

<sup>99</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S.58, 64, 73, 81, 87, 92, 98, 104, 109.



Tabelle 7: Vergleich der Umsatzstärke zwischen Deutschland und dem zweiten Marktführenden<sup>100</sup>

Branche	Umsatz EU (1)		Umsatz BRD (2)		Umsatz zweiter Marktführender (3)		Differenz (2)-(3)	
	Gesamt in Mrd. Euro	in Mrd. Euro	% von Gesamt	in Mrd. Euro	% von Gesamt	In Mrd. Euro	Prozentpunkte	
Luftfahrt	12,44	3,81	31 %	2,7 (UK & Irland)	22 %	1,11	9	
Automobil	7,39	2,37	32 %	0,79 (Südeuropa*)	11 %	1,58	21	
Schwerlast- u. Nutzfahrzeuge	4,14	1,11	27 %	0,63 (Frankreich)	15 %	0,48	12	
EEE	3,12	0,65	21 %	0,59 (Italien)	19 %	0,06	2	
Maschinenbau	1,03	0,34	33 %	0,2 (Italien)	19 %	0,14	14	
Medizintechnik	0,97	0,32	33 %	0,12 (UK & Irland)	12 %	0,2	21	
Schieneverkehr	0,35	0,06	17 %	0,05 (u.a. UK & Irland)	14 %	0,01	3	

\*Südeuropa = Kroatien, Zypern, Griechenland, Malta, Portugal, Spanien

Insbesondere im Automobilsektor und in der Branche der Medizintechnik hat Deutschland einen um mehr als 20 Prozentpunkte höheren Anteil am gesamteuropäischen Umsatz im Vergleich zum zweiten Marktführenden. In den restlichen Branchen liegen die erzielten Umsätze zwischen zwei und 14 Prozentpunkte höher.

Die beschäftigungsreichste Branche in Deutschland ist der Luftfahrtsektor mit insgesamt 17.400 Mitarbeitern, gefolgt von der Automobilbranche mit rund 10.400 Arbeitsplätzen (Tabelle 8).

<sup>100</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 58, 64, 73, 81, 87, 92, 98, 104 und 109.

Tabelle 8: Beschäftigte und refabrizierte Altteile je Branche und Jahr in Deutschland<sup>101</sup>

Branche	Beschäftigte	Aufgearbeitete Altteile	Altteile pro Beschäftigtem
Luftfahrt	17.400	1.580.000	91
Automobil	10.400	8.510.000	818
Schwerlast- u. Nutzfahrzeuge	6.400	1.550.000	242
EEE	4.000	10.420.000	2605
Maschinenbau	1.600	330.000	206
Medizintechnik	2.000	330.000	165
Schienenverkehr	400	70.000	175
Möbel	500	470.000	940
Marine	70	12.400	177
<b>Gesamt</b>	<b>42.770</b>	<b>23.272.400</b>	

Die höchste Anzahl an Altteilen wird bei einer Beschäftigungszahl von 4.000 Mitarbeitern in der Branche der elektrischen und elektronischen Altteile refabriziert. Das entspricht einer Quote von 2.600 aufgearbeiteten Altteilen je Mitarbeiter pro Jahr. Im Vergleich liegt in der Luftfahrtbranche die Quote der refabrizierten Altteile je Mitarbeiter bei ca. 90.

Zusammenfassend kann der deutsche Remanufacturing-Markt wie folgt charakterisiert werden.

#### Der deutsche Remanufacturing-Markt:

- In Deutschland wird in der Remanufacturing-Branche ein Umsatz von rund 8,7 Mrd. Euro pro Jahr erzeugt.
- Mehr als zwei Drittel des Umsatzes werden durch die Sektoren Luftfahrt und Automobile erzielt, ca. 98 % durch die Sektoren Luftfahrt, Automobile, elektrisches und elektronisches Equipment, Schwerlast- und Nutzfahrzeuge, Maschinenbau und Medizintechnik.
- Das Remanufacturing in Deutschland ist im europäischen Vergleich in allen Sektoren, ausgenommen Möbel und Marine, umsatzführend.
- Die Remanufacturing-Branche beschäftigt ca. 43.000 Arbeitnehmer und bereitet pro Jahr rund 23 Mio. Altteile auf.

<sup>101</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 58, 64, 73, 81, 87, 92, 98, 104 und 109.

### 3.3 Marktentwicklung

Das Remanufacturing bietet hohe Ressourceneffizienzpotenziale. Es erfährt eine breite Förderung und ein umfassendes Interesse insbesondere im Bereich Forschung und Entwicklung<sup>102, 103</sup> und wird zunehmend in politischen Instrumenten verankert, so etwa direkt über die Fortschreibung des Ressourceneffizienzprogramms oder indirekt über die Ökodesign-Richtlinie.

Die Evaluierung des Remanufacturing-Markts prognostiziert für die kommenden Jahre ein stetiges Wachstum bis auf mindestens 43 Mrd. Euro in 2030.<sup>104</sup> In der Luftfahrt wird für Europa beispielsweise eine jährliche Wachstumsrate von 2,9 % für den Sektor Wartung, Reparatur und Remanufacturing (Maintenance, Repair and Overhaul<sup>105</sup> [MRO]) erwartet. Für Osteuropa wird die jährliche Wachstumsrate sogar auf 6,2 % geschätzt, da vornehmlich ältere, wartungsintensive Flotten im Einsatz sind.<sup>106</sup>

Dabei gelten als die größten, das Wachstum beeinflussende bzw. zu überwindenden Herausforderungen:

- die voranschreitende Elektrisierung der Produkte,
- die Verfügbarkeit von (qualitativ hochwertigen) Ersatzteilen bzw. dem Altteilmanagement,
- das Image des Remanufacturing und
- die Verfügbarkeit von gut ausgebildetem Personal.<sup>107, 108</sup>

---

<sup>102</sup> Vgl. Matsumoto et al. (2016), S. 131.

<sup>103</sup> Vgl. Govindan (2016).

<sup>104</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 1.

<sup>105</sup> ‚Overhaul‘ wird in der Flugbranche als Fachausdruck für den Remanufacturing-Prozess verwendet, vgl. Parker et al. (2015), S. 55.

<sup>106</sup> Vgl. European Commission (2015), S. 194.

<sup>107</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 36.

<sup>108</sup> Vgl. Sundin et al. (2016), S. 24.

Weitere aktuelle und zukünftige Stärken, Schwächen, Chancen und Barrieren wurden durch 42 Remanufacturing-Akteure während eines Workshops festgehalten (Tabelle 9, Tabelle 10).<sup>109</sup>

**Tabelle 9: Aktuelle und zukünftige Stärken und Schwächen der Reman-Branche<sup>110</sup>**

Stärken		Schwächen	
Aktuell	Zukünftig	Aktuell	Zukünftig
<ul style="list-style-type: none"> <li>• technisches Fachwissen</li> <li>• erzielte Ressourceneffizienz</li> <li>• gutes Preis-Leistungs-Verhältnis refabrizierter Produkte</li> <li>• gut ausgebildetes Personal</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• technisches Fachwissen</li> <li>• etablierte Netzwerke</li> <li>• stabile und effiziente Prozesse</li> <li>• teilweise etabliertes Design for Remanufacturing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Image-Probleme</li> <li>• Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen Ersatzteilen</li> <li>• gesetzlicher Rahmen</li> <li>• Variantenvielfalt bei Produkten und Bauteilen</li> <li>• Zugang zu Produktinformationen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verfügbarkeit von gut ausgebildetem Personal</li> <li>• steigende Produktkomplexität</li> <li>• Wissen im Bereich der Aufarbeitung von Elektronik</li> <li>• Digitalisierung</li> </ul>

Das technische Fachwissen wird durch die Akteure als eine konstante Stärke der Remanufacturing-Branche bewertet, während beispielsweise die Verfügbarkeit von gut ausgebildetem Personal in Zukunft als problematisch eingeschätzt wird. Ursache dafür kann der viel diskutierte Fachkräftemangel sein, der insbesondere technische Wirtschaftssektoren trifft.<sup>111</sup> Dies kann zusätzlich hohe Personalkosten verursachen (Tabelle 10), da die Remanufacturing-Prozesse oftmals einer manuellen Demontage und eines technischen Know-hows bedürfen.

Eine steigende Produktkomplexität erfordert eine kontinuierliche Anpassung und Spezialisierung der Remanufacturing-Prozesse, was einer Wirtschaftlichkeit abträglich ist. Dem kann ein auf eine Refabrikation abgestimmtes Produktdesign (DfRem) entgegenwirken, was zukünftig durch die Akteure als eine Stärke der Remanufacturing-Branche eingeschätzt und gleichzeitig als aktuelle Chance begriffen wird (Tabelle 10). So liegt beispielsweise einer der zukünftigen Megatrends im deutschen Maschinenbau

<sup>109</sup> Vgl. Butzer (2016b).

<sup>110</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 36.

<sup>111</sup> Vgl. DIHK (2016), S. 7.

in der Etablierung bzw. Intensivierung nichtpreislicher Wettbewerbsfaktoren wie Qualität, Zuverlässigkeit und insbesondere Nachhaltigkeit.<sup>112</sup>

**Tabelle 10: Aktuelle und zukünftige Chance und Barrieren der Reman-Branche<sup>113</sup>**

Chancen		Barrieren	
Aktuell	Zukünftig	Aktuell	Zukünftig
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Design for Remanufacturing</li> <li>• steigende Wahrnehmung/verbessertes Image</li> <li>• neue Produkte</li> <li>• wachsender Markt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-D-Druck</li> <li>• Digitalisierung/Big Data</li> <li>• Technologieentwicklungen</li> <li>• steigende Wahrnehmung, verbessertes Image</li> <li>• neue Produkte</li> <li>• wachsender Markt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gesetzlicher Rahmen</li> <li>• kein Zugang zu Software</li> <li>• Elektrifizierung</li> <li>• Wettbewerb zu niedrigpreisigen Neuteilen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Markteingriff von OEMs</li> <li>• gesetzlicher Rahmen</li> <li>• kein Zugang zu Software</li> <li>• hohe Personalkosten</li> </ul>

Die Digitalisierung bzw. Elektrifizierung von Produkten erfordert spezialisierte Kompetenzen und stellt die Remanufacturing-Branche aktuell sowie künftig vor Herausforderungen. Gleichzeitig ergibt sich daraus ein signifikantes Wachstumspotenzial, wenn diesen Herausforderungen u. a. durch einen modularen Produktaufbau bzw. durch einen austauschbaren Technologieinsatz bei gleichbleibender Produktgestalt entgegengewirkt wird (Tabelle 10).

Der 3-D-Druck bildet in Zukunft eine vielversprechende Möglichkeit zur Produktion von Ersatzbauteilen, deren Verfügbarkeit aktuell als problematisch eingeschätzt wird. Forschungsprojekte befassen sich bereits mit der Verbindung der Technologie und der Ersatzteilproduktion<sup>114</sup>, die u. a. für Remanufacturing-Betriebe, aber auch für Werkstätten oder Reparatur-Cafés an Bedeutung gewinnen kann.

Als konstante Barriere sieht die Fachwelt den legislativen Rahmen an, der durch die fallbezogene Definition der Altteile als Abfall einen hohen admi-

<sup>112</sup> Vgl. Auer (2014), S. 3.

<sup>113</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 36.

<sup>114</sup> Vgl. IPRI (2015).

nistrativen Aufwand verursacht. Beispielsweise sind die Mindestanforderungen an die Verbringung von gebrauchtem elektr(on)ischen Equipment besonders stringent durch das ElektroG und die Abfallverbringungsverordnung geregelt, um illegale Verbringungen zu unterbinden. Dies wird jedoch als Gefährdung weltweiter Remanufacturing-Prozesse bewertet<sup>115</sup>, da eine wirtschaftliche Bereitstellung des notwendigen Know-hows bzw. der Ersatzteile auf nationaler Ebene oftmals schwer zu gewährleisten ist, zumal die Remanufacturing-Zentren teilweise nahe den Herstellerwerken, z. B. in China oder Malaysia, liegen.<sup>116</sup> Wird die Konkurrenzfähigkeit des Remanufacturing dadurch eingeschränkt, steigt die Wettbewerbsfähigkeit von (niedrigpreisigen) Neuteilen.

Abschließend kann die Marktentwicklung der Remanufacturing-Branche wie folgt zusammengefasst werden:

#### **Wesentliche Aspekte der Marktentwicklung des Remanufacturing:**

- Der Markt des Remanufacturing wächst in den kommenden Jahren.
- Hauptsächlich zu bewältigende Herausforderungen der Reman-Branche sind
  - eine voranschreitende Elektrisierung der Produkte,
  - die Verfügbarkeit von (qualitativ hochwertigen) Ersatzteilen,
  - das Image des Sektors und
  - die Verfügbarkeit von gut ausgebildetem Personal.
- Die zukünftigen Chancen für das Remanufacturing werden u. a. in den Bereichen 3-D-Druck und in der Digitalisierung gesehen.

---

<sup>115</sup> Vgl. Hieronymi (2016).

<sup>116</sup> Vgl. ZVEI/Bitkom (2015), S. 14.

## 4 PRAXISBEISPIELE REMANUFACTURING

### 4.1 Aufgearbeitete Wasserzähler

Wasserzähler bestehen grundsätzlich aus einem Kunststoffzählwerk und einer durchflossenen Hydraulik aus Messing. In den letzten Jahren waren die Rohstoffpreise u. a. für Messing starken Schwankungen unterworfen, wodurch in der Produktion von Wasserzählern das Messing durch Kunststoffe ersetzt wurde. Die Nachteile liegen dabei in der energieintensiven Herstellung des Kunststoffs und in seiner im Vergleich geringeren Haltbarkeit.<sup>117</sup>

Die Mess- und Eichverordnung legt nach Anlage 7, Punkt 5.5. Eichfristen für Messgeräte für strömendes Wasser zwischen fünf und acht Jahren fest.<sup>118</sup> Für Kaltwasserzähler mit mechanischer Zusatzeinrichtung wird beispielsweise eine erneute Eichung nach sechs Jahren erforderlich. Dies bedingt aus wirtschaftlichen Gründen den Tausch der gesamten Wasserzähler.

Aufgrund dieser relativ verlässlichen Rücklaufquote der Wasserzähler hat die Lorenz GmbH, ein mittelständischer Hersteller von Wasserzählern, ein Rücknahmekonzept entwickelt: Durch Messdienste und Wasserversorger ausgewechselte Wasserzähler werden durch die Lorenz GmbH wieder zurückgenommen bzw. gekauft und einer eigenen Aufarbeitung zugeführt. Diese beinhaltet eine effiziente Demontage der Wasserzähler, wobei verschlissene, verbrauchte oder verschmutzte Komponenten, z. B. Batterien und Siebe, teilweise ausgetauscht werden. Die Hydraulikkomponente aus Messing mit oftmals geringen Verschleißerscheinungen wird wieder aufgearbeitet und teilweise mit Neumaterial zu einem refabrizierten Wasserzähler remontiert (Abbildung 12).<sup>119, 120</sup>

---

<sup>117</sup> Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 182.

<sup>118</sup> Die Verordnung über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt sowie ihre Verwendung und Eichung (Mess- und Eichverordnung – MessEV).

<sup>119</sup> Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 184.

<sup>120</sup> Vgl. Mauß (2016).

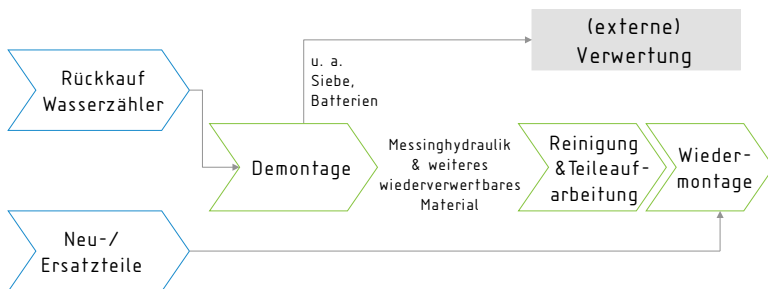


Abbildung 12: Prozesskette Wasserzähler<sup>121</sup>

Da u. a. der gesamte Schmiedeprozess der Herstellung der Hydraulikkomponente entfällt, spart die Lorenz GmbH rund 30 % an Neumaterial, insbesondere an Messing, und reduziert den jährlichen Energieverbrauch um rund 150.000 kWh. Derzeit werden rund 75 % der rückläufigen Wasserzähler wiederverwertet, wobei rund 25 % der hergestellten Wasserzähler aus aufgearbeitetem Material bestehen.

Der reduzierte Materialaufwand schlägt sich in sinkenden Materialkosten nieder, die die zusätzlichen Personalkosten für den Aufarbeitungsprozess nicht übersteigen. Durch eine rund 30%ige Entlastung der Hydraulik-Fertigung kann zusätzlich eine gleiche Produktionsmenge bei geringerem Aufwand produziert und ein Produktionswachstum ohne zusätzliche Investitionen erreicht werden.<sup>122, 123</sup>

## 4.2 Aufgearbeitete PCs und Notebooks

Im b2b-Bereich fielen im Jahr 2013 rund 40.700 Tonnen IT- und Telekommunikationsgeräte als Abfall an, die zu 97 % verwertet wurden.<sup>124</sup> Gemäß Kapitel 2.2 ist das Remanufacturing von Abfall ein Verwertungsverfahren und darf nur in zertifizierten Entsorgungs- bzw. Erstbehandlungsbetrieben durchgeführt werden. Ein KMU hat sich auf die Aufarbeitung von IT-

<sup>121</sup> In Anlehnung an Mauß (2016).

<sup>122</sup> Vgl. Schmidt et al. (2017), S. 184 f.

<sup>123</sup> Vgl. Mauß (2016).

<sup>124</sup> Vgl. Wagner et al. (2016), S. 31.



Produkten, speziell PCs und Notebooks, spezialisiert und bereitet als zertifizierter Erstbehandlungsbetrieb rund 65.000 IT-Einheiten für eine Wiederverwendung auf (Abbildung 13).<sup>125</sup>

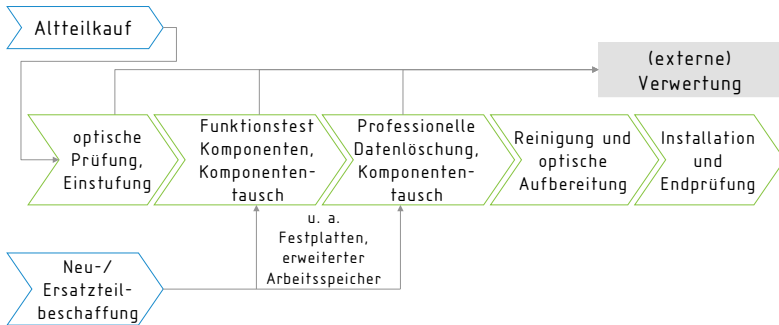


Abbildung 13: Prozesskette IT-Produkte<sup>126</sup>

Die meist über einen IT-Ankauf gesammelten Produkte unterliegen im ersten Schritt des Aufarbeitungsprozesses einer optischen Prüfung und einer Einstufung. Entsprechend den festgestellten Beschädigungen und Abnutzungsspuren werden die Geräte in Klassen unterteilt. Die erste Klasse umfasst optisch makellose Produkte, während Produkte zweiter Klasse für einen Weiterverkauf unter der Eigenmarke nicht mehr eingesetzt werden.<sup>127</sup>

Im zweiten Schritt unterliegen die Produkte einem technischen Check. Ist die Funktionstüchtigkeit beeinträchtigt und kann durch den Ersatz von Hardwarekomponenten nicht wiederhergestellt werden, wird das Produkt aus dem Aufarbeitungsprozess ausgeschleust. Funktionierende Geräte werden zusätzlich mit neuen SSD-Festplatten oder einem erweiterten Arbeitsspeicher ausgerüstet, um dem Stand der Technik zu entsprechen.<sup>128</sup>

Anschließend wird eine professionelle Datenlöschung mit speziellen Softwaretools durchgeführt. Auch in diesem Schritt werden zur Sicherstellung des

<sup>125</sup> Vgl. bb-net (2017).

<sup>126</sup> Vgl. tecXL (2017).

<sup>127</sup> Vgl. tecXL (2017).

<sup>128</sup> Vgl. tecXL (2017).

technischen Status quo beispielsweise größere Festplatten (Neuware) eingesetzt.<sup>129</sup>

Nach der technischen Prüfung und Ausrüstung wird das Produkt durch Reinigung und optische Aufarbeitung für den Verkauf vorbereitet. Eine intensive Reinigung findet statt, kaputte oder fehlende Teile wie beispielsweise Tasten werden ersetzt und Abnutzungserscheinungen behandelt. Entspricht das Gerät dem Credo des KMU „Technik wie neu“, erfolgt eine Neuinstallation des Betriebssystems und weiterer Software. Das Produkt wird verpackt und unter der Eigenmarke des Unternehmens über Händler vertrieben.<sup>130</sup>

Durch die Aufarbeitung der IT-Produkte verringert das Unternehmen den Bedarf an natürlichen Ressourcen um 80 % und reduziert somit den CO<sub>2</sub>-Ausstoß um 70 %. Zusätzlich werden ökologisch abbaubare Reinigungsmittel eingesetzt, umweltfreundliche Verpackungslösungen gewählt und ein CO<sub>2</sub>-neutraler Paketversand genutzt.<sup>131</sup>

### 4.3 Aufgearbeitete Industrieroboter

Die Nutzungsdauer von Industrierobotern beträgt im Durchschnitt fünf Jahre.<sup>132</sup> Um die Lebensdauer zu verlängern und kostenintensive Neuinvestitionen zu vermeiden, bietet ein KMU individuelle Aufarbeitungsservices für Industrieroboter an. In 90 % der Fälle erfolgt eine Aufarbeitung auf Abruf der Kunden, in nur 10 % der Fälle werden die Industrieroboter durch das KMU angekauft.<sup>133</sup> Der generelle Ablauf wird in Abbildung 14 gezeigt.<sup>134</sup>

---

<sup>129</sup> Vgl. tecXL (2017).

<sup>130</sup> Vgl. tecXL (2017).

<sup>131</sup> Vgl. bb-net (2017).

<sup>132</sup> Vgl. Meister (2012).

<sup>133</sup> Vgl. ERN (2015).

<sup>134</sup> Vgl. robotif GmbH (2017).

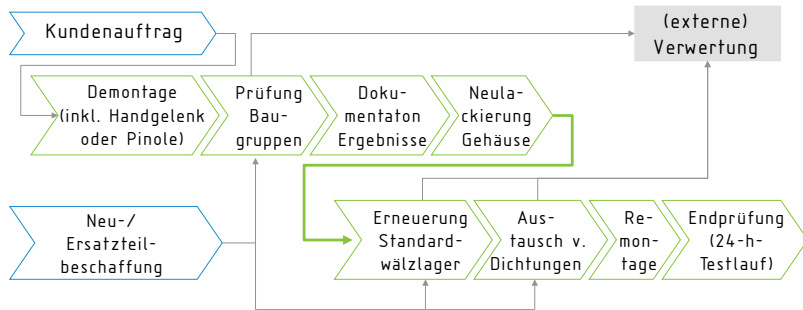


Abbildung 14: Prozesskette Industrieroboter<sup>135</sup>

Die größten Herausforderungen für den Aufarbeiter liegen in der Ersatzteilbeschaffung. Insbesondere für Industrieroboter, die regulär nicht mehr gefertigt werden, müssen Ersatzteile von bereits existierenden Robotern verwendet werden.<sup>136</sup> Hier könnte der 3-D-Druck eine zukünftig interessante Option bieten.

#### 4.4 Aufgearbeitete Drucker

Die Wiederaufarbeitung von Druckern und Druckermodulen stellt einen gängigen Prozess in der Branche dar. Über Leasing-Verträge, speziell für Unternehmen, erhalten die Hersteller ihre Drucker nach Ablauf der Nutzungszeit zurück und können diese nach einer erfolgten Aufarbeitung einer erneuten Wiederverwendung zuführen.

Ein KMU führt eine Aufarbeitung von Druckern durch, die speziell für den Unternehmensbedarf ausgelegt sind. Nach Ende des Leasingzeitraums erreichen die Drucker häufig nicht die ausgelegten Druckvolumina und die veranschlagte Lebensdauer. Das Unternehmen kauft die zurückgenommenen Geräte von den Herstellern ab, arbeitet sie auf und verkauft sie weiter an andere Unternehmen (Abbildung 15).<sup>137</sup>

<sup>135</sup> Vgl. robotif GmbH (2017).

<sup>136</sup> Vgl. ERN (2015).

<sup>137</sup> Vgl. ERN (2015a).

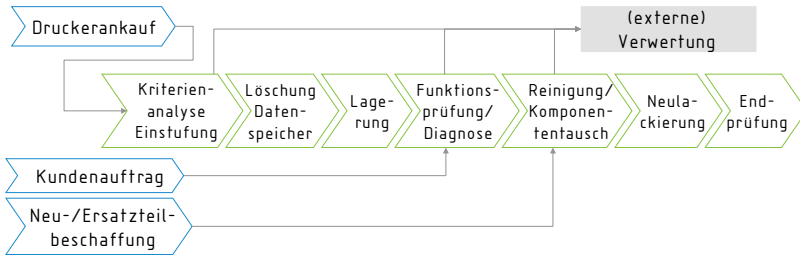


Abbildung 15: Prozesskette Drucker<sup>138</sup>

Im ersten Schritt des Aufarbeitungsprozesses wird das Produkt anhand verschiedener Kriterien analysiert. Werden die Kriterien eingehalten, erfolgt eine Löschung des Datenspeichers und das Produkt wird gelagert. Erst nach Auftragseingang durch einen Kunden wird das Produkt auf seine Funktionalität getestet und intensiv gereinigt. Verschleißteile werden ausgetauscht und optional kann eine neue Lackierung des Druckers erfolgen.<sup>139</sup> Die Firma bietet darüber hinaus auch ungetestete Geräte für externe Remanufacturer an.

#### 4.5 Aufgearbeitete Laserkartuschen

Die Clover Technologies Group bietet die Aufarbeitung von Laserkartuschen für Drucksysteme an. Gesammelte leere Laserkartuschen werden inspiziert und entsprechend strengen Kriterien sortiert und klassifiziert. Nur den festgelegten Standards der Firma entsprechende Kartuschen gelangen in den weiteren Aufarbeitungsprozess. Die verbleibenden Kartuschen werden einem adäquaten Recycling zugeführt.<sup>140</sup>

Die für die Aufarbeitung vorgesehenen Kartuschen werden mit einem teilweise automatisierten System aufgetrennt, demontiert und gereinigt, bevor eine digitale Befüllung bis auf das genau berechnete Tonergewicht erfolgt. Die Kartusche wird mit einem Siegel versehen und mit Originalherstellerelementen montiert (Abbildung 16).

<sup>138</sup> Vgl. Büroservice Hübner (2017).

<sup>139</sup> Vgl. Büroservice Hübner (2017).

<sup>140</sup> Vgl. Clover Technologies Group (2017).

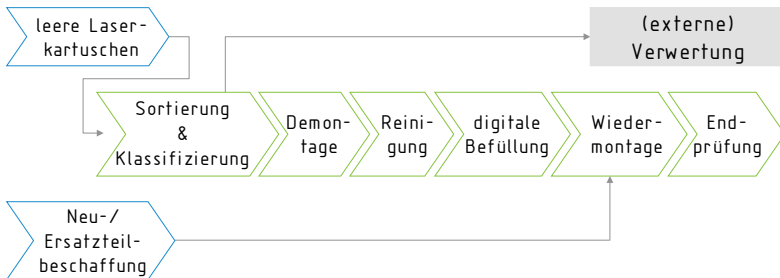


Abbildung 16: Prozesskette Laserkartusche<sup>141</sup>

Am Ende des Prozesses besteht die Kartusche zu 75 % aus neuen Komponenten. Jede Kartusche unterliegt einem finalen Test und steht nach erfolgreichem Bestehen für einen erneuten Einsatz bereit.

#### 4.6 Aufgearbeitete Anlasser und Lichtmaschinen

Das Durchschnittsalter von Personenkraftwagen (Pkw) steigt seit einigen Jahren. Betrug die Lebensdauer der Pkws 2004 noch sieben Jahre, waren es 2014 bereits knapp neun Jahre. Mit steigendem Alter erhöhen sich somit auch die Mängel- und damit die Reparaturquote.<sup>142</sup>

Die Aufarbeitung von Pkw-Ersatzteilen, z. B. Anlasser und Lichtmaschinen, ist bereits seit Jahren ein etablierter Prozess in der Automobilbranche. Ein Beispielunternehmen arbeitet täglich bis zu 300 bis 450 Anlasser und Lichtmaschinen auf. Dabei durchläuft jedes Altteil den gleichen standardisierten Prozess (Abbildung 17).

<sup>141</sup> Vgl. Clover Technologies Group (2017).

<sup>142</sup> Vgl. Deutschlandfunk zum TÜV Report (2014).

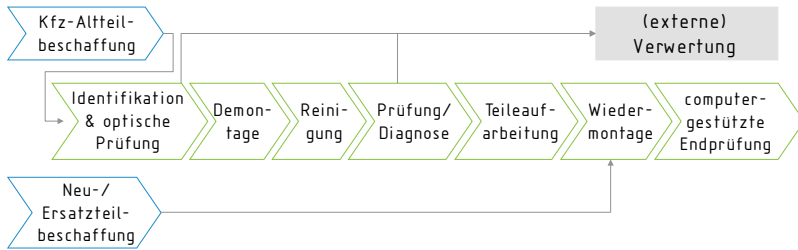


Abbildung 17: Prozesskette Starter und Lichtmaschine<sup>143</sup>

Die Altteile werden identifiziert, optisch geprüft und unterliegen dann einer kompletten Demontage. Nach der intensiven Reinigung, u. a. durch Heißwaschmaschinen und Sandstrahler<sup>144</sup>, werden die demontierten Teile kontrolliert. Die refabrizierbaren Teile werden von den nicht refabrizierbaren Teilen getrennt und aufgearbeitet. Anschließend erfolgen die Montage zum fertigen Aggregat und eine computergestützte Überprüfung der Leistungsfähigkeit.<sup>145</sup>

Das Remanufacturing von Startern kann dabei im Vergleich zur Neuproduktion bis zu 88 % Material einsparen, die CO<sub>2</sub>-Emissionen um bis zu 53 % senken und den Energieverbrauch um mehr als die Hälfte reduzieren.<sup>146</sup>

## 4.7 Aufgearbeitete Bremsanlagen

Ein Bremssystem-Hersteller arbeitet seit 60 Jahren Bauteile auf und schätzt das Remanufacturing als einen in seiner Relevanz steigenden Bereich im Automobilssektor ein, insbesondere da sich die Nachfrage nach zeitwertgerechten Reparaturen erhöht.<sup>147</sup>

Das Unternehmen erhält über ein Pfandsystem die gebrauchten Altteile zurück. Diese werden manuell demontiert, wobei die Demontage von beispielsweise Kompressoren rund 20 Minuten dauert. Anschließend werden die Bauteile gründlich gereinigt, u. a. durch Spritz-Waschanlagen, Pyrolyseöfen,

<sup>143</sup> Vgl. Andre Niermann (2017).

<sup>144</sup> Vgl. Niermann (2014), S. 73.

<sup>145</sup> Vgl. Andre Niermann (2017).

<sup>146</sup> Vgl. Bartel (2015).

<sup>147</sup> Vgl. Heerwagen (2015).

Strahlanlagen und Ultraschallbäder. Die Aufarbeitung der gereinigten Bauteile schließt den Austausch von Ersatzteilen ein, wie beispielsweise Dichtungen und Lager. Die aufgearbeiteten Ersatzteile werden wieder montiert, wobei die Arbeitsschritte denen der Originalteile entsprechen. Teilweise werden die aufgearbeiteten Komponenten auf den Produktionslinien der Neuteile montiert. Jedes aufgearbeitete Produkt unterliegt mehr als 100 Prüf- und Messschritten, damit die Qualität und die Funktionalität gewährleistet sind (Abbildung 18).<sup>148</sup>

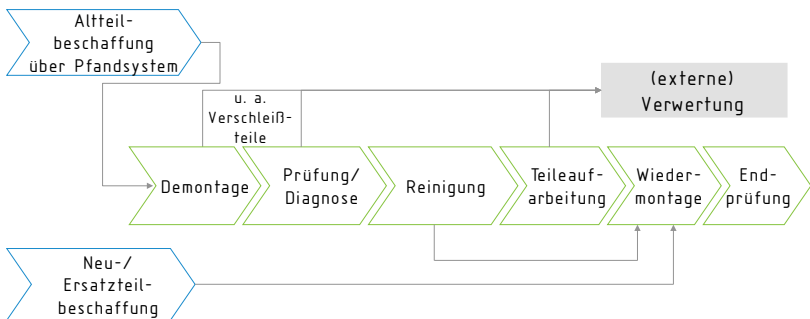


Abbildung 18: Prozesskette Bremsanlagen<sup>149</sup>

Durch den Aufarbeitungsprozess der gebrauchten Altteile können bis zu 75 % des Kohlendioxidausstoßes im Vergleich zur Herstellung eines Neuprodukts eingespart werden. Zusätzlich können die refabrizierten Produkte zu einem bis zu 20 % geringeren Verkaufspreis angeboten werden.

#### 4.8 Aufgearbeitete carbonfaserverstärkte Kunststoffkomponenten

Die Herstellung von kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) bedarf eines hohen energetischen Aufwands, der über eine Rück- bzw. Kreislauf-führung des CFK gerechtfertigt werden kann.<sup>150</sup> Die aktuellen Recycling-technologien für CFK (z. B. Pyrolyse) sind jedoch weder wirtschaftlich noch

<sup>148</sup> Vgl. Heerwagen (2015).

<sup>149</sup> Vgl. Knorr-Bremse (2015).

<sup>150</sup> Vgl. Meiners und Eversmann (2014), S. 374.

ressourceneffizient und verkürzen die zurückgewonnenen Fasern. Recycelte CFK haben so eine verminderte Qualität und werden nur noch für Bauteile geringerer Anforderungen verwendet.<sup>151</sup> Somit stellt das Remanufacturing eine wirtschaftliche Variante dar, um die hochwertige Qualität der CFK-Komponenten zu erhalten.

Ein Unternehmen stellt CFK-Komponenten für Fahrräder, den Motorsport und die Medizintechnik her. Da die Firma einen Nischenmarkt bedient, besteht ein enges Kundenverhältnis, über das gebrauchte oder defekte Produkte zum Unternehmen zurückgelangen. Die zurückgegebenen Produkte werden demontiert und unterliegen einer Prüfung. Häufig wird der defekte CFK-Bereich, meist Röhren oder CFK-Oberflächen, vom Rest des Produkts entfernt und durch ein neues CFK-Teil ersetzt. Die Herausforderung liegt in der erneuten Verbindung des vorhandenen und neu eingesetzten CFK-Bereichs, die viel Know-how und technischer Erfahrung bedarf (Abbildung 19).<sup>152</sup>

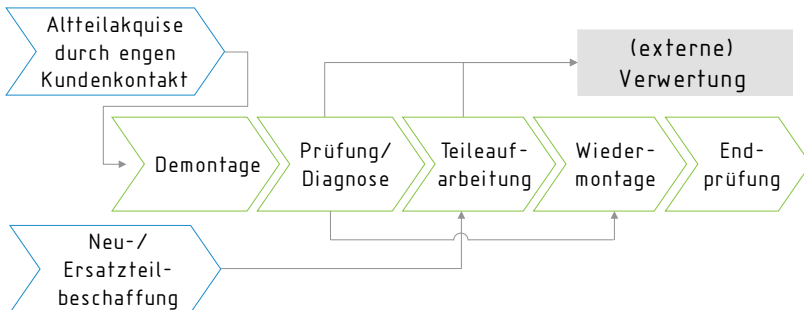


Abbildung 19: Prozesskette kohlenstofffaserverstärkter Kunststoffkomponenten

Während des Remanufacturing-Prozesses werden die aufgearbeiteten Komponenten permanent geprüft. Am Prozessende unterliegen die Komponenten einer finalen Prüfung, um die Funktion und die Leistungsfähigkeit des aufgearbeiteten Produkts zu gewährleisten, wobei die Herstellungskosten in einigen Fällen um 70 % bis 80 % gesenkt werden können.<sup>153</sup>

<sup>151</sup> Vgl. Kaiser et al. (2016), S. 95.

<sup>152</sup> Vgl. ERN (2015c).

<sup>153</sup> Vgl. ERN (2015c).



## 4.9 Aufgearbeitete Tunnelbohrsysteme

Tunnelbohrmaschinen sind oftmals Unikate, die entsprechend den Projektanforderungen ausgelegt sind. Dennoch ist eine weitere Verwendung in anderen Projekten unter erforderlichen Anpassungen nicht ausgeschlossen.<sup>154</sup>

Ein Unternehmen zerlegt – nach Anlieferung und Identifikation – die Tunnelbohrmaschine in ihre Komponenten und nimmt eine erste Analyse des technischen Zustands vor. Die wiedereinsatzbaren Komponenten werden für eine Lagerung vorbereitet, gelagert und erst bei Kundenauftrag für eine Aufarbeitung und Remontage in Betracht gezogen. Das Unternehmen kalkuliert den Preis für die durch den Kunden geforderte Tunnelbohrmaschine unter Beachtung gelagerter, aufarbeitbarer Komponenten und kann damit in der Preisgestaltung flexibel auf den Kunden eingehen (Abbildung 20).<sup>155</sup>

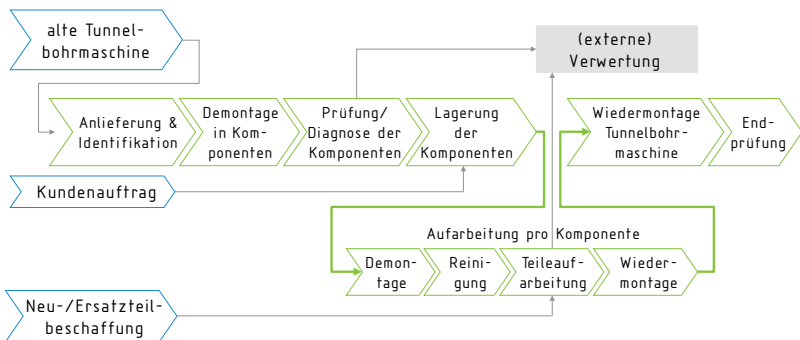


Abbildung 20: Prozesskette Tunnelbohrmaschine<sup>156</sup>

Wenn der Kunde den Auftrag erteilt, wird die Tunnelbohrmaschine inklusive der aufzuarbeitenden Komponenten geplant. Diese werden dem Remanufacturing-Prozess (weitere Zerlegung, Reinigung, Aufarbeitung, Sandstrahlung, Lackierung und Montage) und anschließend der finalen Montage der Tunnelbohrmaschine zugeführt. Nach Fertigstellung erfolgen ein Prüfprozess und eine Zertifizierung der Tunnelbohrmaschine, bevor sie für den Einsatz bereitsteht.<sup>157</sup>

<sup>154</sup> Vgl. Herrenknecht AG (2017).

<sup>155</sup> Vgl. ERN (2015b).

<sup>156</sup> Vgl. Herrenknecht AG (2017).

<sup>157</sup> Vgl. ERN (2015b).

## 5 FAZIT

Die Kurzanalyse zeigt, dass das Remanufacturing von Produkten unter adäquaten Voraussetzungen enorme Ressourceneffizienzpotenziale birgt und in kleinen und mittleren Unternehmen – als Beschaffer sowie Anbieter von refabrizierten Produkten – zu verminderten Materialverbräuchen und Kosteneinsparungen und damit zu Wettbewerbsvorteilen führen kann.

Das Remanufacturing beschreibt einen standardisierten industriellen Aufarbeitungsprozess. Im Vergleich zu einer Neufertigung erbringen die aufgearbeiteten Produkte eine äquivalente oder höherwertige Produktleistung. Eine Garantie wird durch den Remanufacturer gewährleistet.

Durch die Vermeidung einer Neufertigung werden Material- und Energieaufwendungen in der Werkstoffherstellung, der Bauteilherstellung sowie im End-of-life eingespart. Beispiele und Analysen zeigen, dass durch die Refabrikation von Altteilen in Einzelfällen bis zu 80 % der Herstellungskosten<sup>158</sup> eingespart und die Materialverbräuche bis zu knapp 90 %<sup>159</sup> reduziert werden konnten. Dies ermöglicht es den Herstellern, die resultierenden Gewinnspannen teilweise an die Kunden weiterzugeben. Refabrizierte Produkte können somit für ca. 40 % bis 80 % des Beschaffungspreises eines Neuprodukts angeboten werden. Dies resultiert in einer erhöhten Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen durch eine variabelere Preispolitik bei gleichzeitig größerer Produktpalette.

Die positiven ökonomischen und ökologischen Effekte können noch verstärkt werden, indem bereits bei der Produktgestaltung auf ein Remanufacturing-gerechtes Design geachtet wird. Dazu zählen beispielsweise ein modularer Aufbau sowie eine einfache Zerlegbarkeit, hohe Korrosionsresistenz und Verschleißfestigkeit eingesetzter Materialien oder das Vorsehen von Möglichkeiten zu Technologiesprüngen.

Gerade der zunehmende Anteil an Elektronik in Produkten und die steigende Komplexität stellen die Remanufacturing-Branche jedoch vor Herausforderungen. Auch die Verfügbarkeit von qualitativ hochwertigen Ersatzteilen,

---

<sup>158</sup> Vgl. ERN (2015c).

<sup>159</sup> Vgl. Bartel (2015), S. 7.

das Image des Remanufacturing-Sektors und die Verfügbarkeit von gut ausgebildetem Personal werden als aktuelle und teilweise als zukünftige Schwächen eingeschätzt.<sup>160</sup> Gleichzeitig begreift die Remanufacturing-Branche beispielsweise den 3-D-Druck als Chance, um auf eine beschränkte Verfügbarkeit von Ersatzteilen zu reagieren. Auch die steigende positive Wahrnehmung der Branche wird bereits als Chance erkannt, die dem Markt u. a. zum Wachstum verhilft. So erfährt die Remanufacturing-Branche gerade im Bereich Forschung und Entwicklung ein erhöhtes Interesse.<sup>161, 162</sup> Beispielsweise legt das Deutsche Ressourceneffizienzprogramm II die konzeptionelle Berücksichtigung der Thematik in der Substitutionsforschung fest.<sup>163</sup>

Bis zum Jahr 2030 wird unter aktuellen Konditionen mit einem Wachstum der europaweiten Remanufacturing-Branche um mehr als 50 % auf 46 Mrd. Euro gerechnet. Vergünstigen sich politische sowie wirtschaftliche Konditionen, wird sogar ein Wachstum auf mehr als das Dreifache prognostiziert.<sup>164</sup> Dies unterstreicht die steigende Bedeutung des Remanufacturing für die industrielle Produktion und eröffnet weitere Ressourceneffizienzpotenziale.

---

<sup>160</sup> Vgl. Butzer und Schötz (2016), S. 36.

<sup>161</sup> Vgl. Matsumoto et al. (2016), S. 131.

<sup>162</sup> Vgl. Govindan (2016).

<sup>163</sup> Vgl. BMUB (2016), S. 36 und 48.

<sup>164</sup> Vgl. Parker et al. (2015), S. 50.

## LITERATURVERZEICHNIS

**Aiblinger-Madersbacher, K. (2016):** Grenzüberschreitende Verbringung von Elektro- und Elektronikgeräten [online]. In: Recycling und Rohstoffe, Band 9, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.vivis.de/phocadownload/2016\\_rur/2016\\_RuR\\_327-344\\_Aiblinger\\_Madersbacher.pdf](http://www.vivis.de/phocadownload/2016_rur/2016_RuR_327-344_Aiblinger_Madersbacher.pdf)

**Allwood, J. M., Ashby, M. F.; Gutowski, T. G. und Worell, E. (2011):** Material Efficiency: A white paper. In: Resources, Conservation and Recycling, 55 (3), Elsevier Verlag, S. 362-381.

**Andre Niermann (2017):** Research, Development & Remanufacturing [online]. Andre Niermann - automotive electrical products GmbH & Co. KG. [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.niermann-electric.com/index.php?id=43>

**APRA (2014):** Common Definition of Remanufacturing [online]. Automotive Parts Remanufacturers Association, 11. Feb. 2014, [abgerufen am: 26. Sept. 2016], verfügbar unter: [http://www.apra-europe.org/dateien/RemanufacturingDefinition/APRA\\_Definition\\_Division.pdf](http://www.apra-europe.org/dateien/RemanufacturingDefinition/APRA_Definition_Division.pdf)

**APRA (2016):** Design for Remanufacturing [online]. Automotive Parts Remanufacturers Association [abgerufen am: 17. Jan. 2017], verfügbar unter: <https://apra.org/?page=Remanufacturing>

**Arbeitskreis Elektrogeräte und Ressourceneffizienz (2016):** Abschlussbericht des Arbeitskreises Elektrogeräte und Ressourceneffizienz [online]. Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz, November 2016, [abgerufen am: 28. Feb. 2017], verfügbar unter: [www.umwelt.niedersachsen.de/download/112456/Abschlussbericht\\_des\\_Arbeitskreises\\_Elektro-Altgeraete\\_und\\_Ressourceneffizienz.pdf](http://www.umwelt.niedersachsen.de/download/112456/Abschlussbericht_des_Arbeitskreises_Elektro-Altgeraete_und_Ressourceneffizienz.pdf)

**Auer, J. (2014):** Neue Wachstumschancen für den deutschen Maschinenbau - Technologieführerschaft & Auslandsinvestitionen [online]. tti Technologietransfer und Innovationsförderung Magdeburg GmbH. [abgerufen am: 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.cluster-smab.de/de/component/phocadownload/category/13-branche.html#>

**Bartel, P. (2015)** Aktuelle Herausforderungen und Strategien des Remanufacturing von Automobilteilen [online]. In: Spieth, H: Vom Jetzt in die Zukunft. Remanufacturing - Ein zweites Leben für Investitionsgüter. Ressourceneffizienz- und Kreislaufwirtschaftskongress 2015. [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.ressourceneffizienzkongress.de/sites/default/files/2016-07/151007\\_ressourcen\\_forum\\_4.pdf](http://www.ressourceneffizienzkongress.de/sites/default/files/2016-07/151007_ressourcen_forum_4.pdf)

**Basel Convention (2015):** Technical guidelines on transboundary movements of electrical and electronic waste and used electrical and electronic equipment, in particular regarding the distinction between waste and non-waste under the Basel Convention (adopted by COP.12, May 2015) [online]. Baseler Konvention [abgerufen am: 27. Jan. 2017], verfügbar unter: <http://www.basel.int/Implementation/Publications/TechnicalGuidelines/tabid/2362/Default.aspx>

**bb-net (2017):** Ein Unternehmen stellt sich vor [online]. bb-net - The IT Lifecycle Company, [abgerufen am: 20. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.bb-net.de/unternehmen/>

**Biswas, K. W.; Duong, V.; Frey, P. und Islam, M. N. (2013):** A comparison of repaired remanufactured and new compressors used in Western Australian small- and medium-sized enterprises in terms of global warming. In: Journal of Remanufacturing 3 (4), Springer Open Journal, 2013.

**BMUB (2016):** Deutsches Ressourceneffizienzprogramm II. Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen. 1. Auflage, BMUB, Berlin, [abgerufen am: 12. Jan. 2017] verfügbar als PDF unter: [http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Pool/Broschueren/progress\\_ii\\_broschuere\\_bf.pdf](http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf)

**Brüning, R.; Ebelt, S. und Regenfelder, M. (2014):** Solide Grundlage. Das Blatt ReUse der VDI-Richtlinie 2343 zeigt Potentiale und Erfolgsfaktoren der Wiederverwendung von elektr(on)ischen Geräten auf. In: ReSource, Jan. 2014, Rhombos-Verlag, S. 25 - 31.

**BS 8887-2:2009:** Design for manufacture, assembly, disassembly and end-of-life processing (MADE) - Terms and definitions. British Standard Institute, 30. Apr. 2009.

**Bücker + Essing (2009):** Gemeinsame Forschung mit Fraunhofer-Projektgruppe [online]. Bücker + Essing GmbH, Pressemitteilung, 22. April 2009 [abgerufen am: 26. Jan. 2017], verfügbar unter: [http://www.buecker-essing.de/index.php?module=viewer&index\[viewer\]\[page\]=about\\_us\\_management](http://www.buecker-essing.de/index.php?module=viewer&index[viewer][page]=about_us_management)

**Bullinger, H.-J.; Spath, D.; Warnecke, H.-J. und Westkämper, E. (2009):** Handbuch Unternehmensorganisation - Strategien, Planung, Umsetzung. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-72136-9.

**Büroservice Hübner (2017):** Druck & Kopie - Aufarbeitung [online]. Büroservice Hübner GmbH, [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.druckerboerse.com/impressum>

**Butzer, S. (2015):** Remanufacturing und Remanufacturing-Beispiel aus der Praxis [online]. Rohstoffdialog Baden-Württemberg, Fraunhofer IPA, 1. Dez. 2015, [abgerufen am: 26. Sept. 2016], verfügbar unter: [http://download.steinbeis-europa.de/2015-11-30\\_cluster\\_ws\\_rohstoffdialog/01\\_marktchancen\\_remanufacturing\\_butzer.pdf](http://download.steinbeis-europa.de/2015-11-30_cluster_ws_rohstoffdialog/01_marktchancen_remanufacturing_butzer.pdf)

**Butzer, S. (2016a):** Remanufacturing - Ein wichtiger Beitrag zur Circular Economy [online]. Ressourceneffizienz Kongress BW Kreislaufwirtschaft, 6. Okt. 2017, ZKM Karlsruhe [abgerufen am: 21. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.ressourceneffizienzkongress.de/sites/default/files/2016-10/ReKo-16\\_Forum\\_8.pdf](http://www.ressourceneffizienzkongress.de/sites/default/files/2016-10/ReKo-16_Forum_8.pdf)

**Butzer, S. (2016b):** Networking Event: Challenges and Perspectives in Remanufacturing [online]. Workshop-Agenda, European Remanufacturing Network, Bayreuth, 21. Jan. 2016 [abgerufen am: 21. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.lup.uni-bayreuth.de/documents/universitaere\\_forschung/Event-Agenda.pdf](http://www.lup.uni-bayreuth.de/documents/universitaere_forschung/Event-Agenda.pdf)

**Butzer, S. und Schötz, S. (2016):** D3.3 - D3.4 Map of Remanufacturing Processes Landscape [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am: 26. Jan. 2017], verfügbar unter: [https://www.remanufacturing.eu/wp-content/uploads/2016/07/ERN\\_DeliverableReport\\_WP3\\_Processes\\_final\\_for\\_upload.pdf](https://www.remanufacturing.eu/wp-content/uploads/2016/07/ERN_DeliverableReport_WP3_Processes_final_for_upload.pdf)

**Butzer, S. und Schötz, S. (2016a):** Industry Sector Specific Remanufacturing Processes [online]. The European Conference on Sustainability, Energy & the Environment 2016, Conference Proceedings, International Academic Forum, [abgerufen am 10. März 2017], verfügbar unter: [http://papers.ia-for.org/papers/ecsee2016/ECSEE2016\\_30698.pdf](http://papers.ia-for.org/papers/ecsee2016/ECSEE2016_30698.pdf).

**Chapman, A.; Bartlett, C.; McGill, I.; Parker, D. und Walsh, B. (2009):** Remanufacturing in the UK - A snapshot of the remanufacturing industry in the UK [online]. Centre for Remanufacturing and Reuse, Oakdene Hollins, Aylesbury, United Kingdom, Aug. 2010 [abgerufen am: 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.remanufacturing.org.uk/pdf/story/1p342.pdf>

**Clover Technologies Group (2017):** Wiederaufbereitungsprozess für Laserkartuschen. [online]. Clover Germany GmbH, [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.clovertech.de/ten-step-laser-toner-remanufacturing-process>

**Dando, R. (2016):** Remanufacturing Opportunities for Home Appliances. In: Make-New-Again by Remanufacturing, Rebuilding or Refurbishing, Fernand J. Weiland (2016).

**Dell (2016):** US-Internetauftritt für neugefertigte Produkte: [www.dell.com](http://www.dell.com); US-Internetauftritt für refabrizierte Produkte: [www.delloutlet.com](http://www.delloutlet.com).

**Deutschlandfunk (2014):** Autos werden immer älter – und anfälliger [online]. Deutschlandfunk zum TÜV-Report 2014 [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.deutschlandfunk.de/tuev-report-2014-autos-werden-aelter-und-anfaelliger.697.de.html?dram:article\\_id=271110](http://www.deutschlandfunk.de/tuev-report-2014-autos-werden-aelter-und-anfaelliger.697.de.html?dram:article_id=271110)

**Dias, A. S.; Kim, H.; Sivakumar, P. K.; Liu, Z.-C. und Zhang, H.-C. (2013):** Life Cycle Assessment: A Comparison of Manufacturing and Remanufacturing Processes of a Diesel Engine. In: Re-engineering Manufacturing for Sustainability, Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Singapore 17-19 April, 2013, Springer Singapore, S. 675 – 678.

**DIHK (2016):** Digitalisierung der Arbeitswelt – Unternehmen vor neuen Herausforderungen [online]. DIHK-Arbeitsmarktreport 2016. DIHK, Berlin, [abgerufen am: 22. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.dihk.de/resources/downloads/dihk-arbeitsmarktsreport-2016/at\\_download/file?mdate=1474963698219](http://www.dihk.de/resources/downloads/dihk-arbeitsmarktsreport-2016/at_download/file?mdate=1474963698219)

**DIN 31051 (2012-09):** Grundlagen der Instandhaltung. Deutsches Institut für Normung, September 2012, Beuth Verlag, Berlin.

**Empfehlung der Kommission 2003/361/EG (2003):** Empfehlung der Kommission vom 6. Mai, 2003 betreffend die Definitionen der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen. In: Amtsblatt der Europäischen Union, L 124/36, 20.05.2003.

**ERN (2015):** robotIF (Case study) [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am: 20. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/case-studies/robotif-gmbh/>

**ERN (2015a):** Büroservice Hübner GmbH (Case study) [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am: 20. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/case-studies/bu%CC%88roservice-hu%CC%88bner-gmbh/>

**ERN (2015b):** Herrenknecht AG (Case study). European Remanufacturing Network, [online] [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/case-studies/herrenknecht-ag/>

**ERN (2015c):** ax-lightness composites GmbH & Co.KG (Case study) [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/case-studies/ax-lightness-composites-gmbh-co-kg/>

**Ernst, M. (2016):** Recent developments at the level of the Basel Convention. Vortrag zum UNEP International Resource Panel Stakeholder Workshop: Assessment of Resource Efficiency and Innovation in Circular Economy through Remanufacturing, Refurbishment, Repair and Direct Reuse, 10. Okt. 2016, Berlin.



**European Commission (2015):** Annual Analyses of the EU Air Transport Market 2013 [online]. European Commission, Mott MacDonald, 24. Apr. 2015, [abgerufen am: 22. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/internal\\_market/observatory\\_market/doc/annual-2013.pdf](http://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/internal_market/observatory_market/doc/annual-2013.pdf)

**Gray, C. und Charter, M. (2009):** Remanufacturing and Product Design – Designing for the 7<sup>th</sup> Generation. The Centre for Sustainable Design, University College for the Creative Arts, Farnham UK, 2009.

**Guide, V. D. R. und Wassenhove, L. N. V. (2009):** The Evolution of Closed-Loop Supply Chain Research. In: Operation Research, 57(1), S.10-18.

**Govindan, K. (2016):** Marketing issues for remanufactured products (Call for Paper) [online]. Elsevier [abgerufen am 27. Jan. 2017], verfügbar unter: <https://www.journals.elsevier.com/journal-of-cleaner-production/call-for-papers/marketing-issues-for-remanufactured-products>

**Hatcher, G. D.; Iljomah, W.L. und Windmill, J.F.C. (2011):** Design for re-manufacture: a literature review. In: Journal of Cleaner Production, 19 (17-18), Elsevier, Nov.-Dez. 2011, S. 2004-2014.

**Heerwagen, M. (2015):** Remanufacturing von Teilen der Bremsanlage - Ersatzteile fürs zweite Leben[online]. Eurotransport.de, 15. Dez. 2015 [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.eurotransport.de/news/remanufacturing-von-teilen-der-bremsanlage-ersatzteile-fuers-zweite-leben-6817464.html>

**Herrenknecht AG (2017):** Sanierung – In Rekordzeit fit für den nächsten Einsatz [online]. Herrenknecht AG, [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.herrenknecht.com/de/services/tbm-dienstleistungen/sanierungen.html>

**Hieronymi, K. (2016):** Remanufacturing and Circular Economy on the IT Industry. In: Make-New-Again by Remanufacturing, Rebuilding or Refurbishing. Fernand J. Weiland, (2016).

**IPRI (2015):** Ersatzteil 3D [online]. International Performance Research Institute IPRI [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.ipri-institute.com/ersatzteil3d/>

**Kaiser, O.; Krauss, O.; Seitz., H. und Kirmes, S. (2016):** Ressourceneffizienz im Leichtbau. VDI Zentrum Ressourceneffizienz (Hrsg.), Berlin, November 2016.

**Knorr-Bremse (2015):** Genuine Remanufacturing [online]. Knorr-Bremse Group, [abgerufen am: 26. Jan. 2017], verfügbar unter: [http://www.knorr-bremse.com/media/documents/press/press\\_releases/2015/06\\_09\\_kb\\_remanufacturing\\_eac1/Remanufacturing\\_Broschuere\\_d\\_2015.pdf](http://www.knorr-bremse.com/media/documents/press/press_releases/2015/06_09_kb_remanufacturing_eac1/Remanufacturing_Broschuere_d_2015.pdf)

**LAGA M31 (Entwurf 2016):** Umsetzung des Elektro- und Elektronikgerätegesetzes – Entwurf [online]. Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall 31, 9. Juni 2016 [abgerufen am: 27. Jan. 2017], verfügbar unter: [http://www.laga-online.de/servlet/is/29187/M31\\_Entwurf\\_9\\_06\\_16.pdf?command=downloadContent&filename=M31\\_Entwurf\\_9\\_06\\_16.pdf](http://www.laga-online.de/servlet/is/29187/M31_Entwurf_9_06_16.pdf?command=downloadContent&filename=M31_Entwurf_9_06_16.pdf)

**Lindahl, M.; Sundin, E. und Östlin, J. (2006):** Environmental Issues within the Remanufacturing Industry [online]. In: Proceedings of LCE2006. 13<sup>th</sup> CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, S. 447-452.

**Liu, Z. Jiang, Q.; Li, T.; Dong, S.; Yan, S.; Zhang, H. und Xu, B. (2016):** Environmental benefits of remanufacturing: A case study of cylinder heads remanufactured through laser cladding. In: Journal of Cleaner Production, Elsevier, 1. Okt. 2016, Volume 133, S. 1027-1033.

**Lund, R. (1996):** The remanufacturing Industry: Hidden Giant. Boston Massachusetts: Boston University, 1996.

**Lundmark, P.; Sundin, E. und Björkman, M. (2009):** Industrial Challenges within the Remanufacturing System [online]. In: Proceedings of Swedish Production Symposiums. Stockholm, S. 132-139, 2009, [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:375722/FULLTEXT01.pdf>

**Matsumoto, M.; Yang, S.; Martinsen, K. und Kainuma, Y. (2016):** Trends and Research Challenges in Remanufacturing. In International Journal of Precision engineering and manufacturing - Green Technology, 3 (1), Springer Verlag, Jan. 2016, S. 129-142.

**Mauß, W. (2016):** Wiederaufbereitung von Wasserzählern - von der Einzelmaßnahme zum ganzheitlichen Unternehmenskonzept [online]. In: Ressourceneffizienz- und Kreislaufwirtschaftskongress Baden-Württemberg [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://www.ressourceneffizienz-kongress.de/sites/default/files/2016-10/ReKo-16\\_Forum\\_8.pdf](http://www.ressourceneffizienz-kongress.de/sites/default/files/2016-10/ReKo-16_Forum_8.pdf)

**Meiners, D. und Eversmann, B. (2014):** Recycling von Carbonfasern. Thomé-Kozmiensky, K. J.; Goldmann, D. (Hrsg.): Recycling und Rohstoffe, Band 7. Neuruppin: TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, 2014, S. 371-378.

**Meister, A. (2012):** Auch Roboter werden alt [online]. Die Welt, Veröffentlicht am 14. Okt. 2012. [abgerufen am: 20. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.welt.de/print/wams/muenchen/article109822136/Auch-Roboter-werden-alt.html>

**Nasr, N. und Thurston, M. (2006):** Remanufacturing: A Key Enabler to Sustainable Product Systems [online]. In: Proceedings of the 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering (LCE), 2006, Leuven, Belgien, [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.mech.kuleuven.be/lce2006/key4.pdf>

**Niermann, A. (2014):** Heavy Duty Remanufacturing a Book with seven seals? In: Remanufacturing of Heavy Duty Vehicle Components - A Hidden Giant. Fernand J. Weiland, (2014).

**Östlin, J.; Sundin, E. und Björkmann, M. (2009):** Product life-cycle implications for remanufacturing strategies. In: Cleaner Production, 17 (11), Elsevier, Jul. 2009. S. 999-1009.

**Ovchinnikov, A. (2010):** Revenue and Cost Management for Remanufactured Products. In: Production and Operations Management, 20(6), Nov.-Dez. 2011, School of Business University of Baltimore, S. 824-840.

**Parker, D. und Butler, P. (2007):** An Introduction to Remanufacturing [online], Centre for Remanufacturing & Reuse, [abgerufen am: 26. Sept. 2016], verfügbar unter: <http://www.remanufacturing.org.uk/pdf/story/1p76.pdf>

**Parker, D.; Riley, P.; Robinson, S.; Symington, H.; Tewson, J.; Jansson, K.; Ramkumar, S. und Peck, D. (2015):** Remanufacturing Market Study [online]. European Remanufacturing Network, Okt. 2015, [abgerufen am 22. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/wp-content/uploads/2016/01/study.pdf>

**Peters, K. (2016):** Methodological issues in life cycle assessment for remanufactured products: a critical review of existing studies and an illustrative case study. In: Journal of Cleaner Production, 10. Jul. 2016, Volume 126, S. 21-37.

**Prendeville, S. und Bocken, N. (2016):** Design for Remanufacturing and Circular Business Models. In: Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design, Part III, Springer Singapore, S. 269 – 283.

**Prendeville, S.; Peck, D; Balkenende, R.; Cor, E., Jansson, K. und Karvonen, I. (2016):** Map of Remanufacturing Product Design Landscape [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am: 22. Feb. 2017], verfügbar unter: [https://www.remanufacturing.eu/wp-content/uploads/2016/11/D3.2\\_FINAL.pdf](https://www.remanufacturing.eu/wp-content/uploads/2016/11/D3.2_FINAL.pdf)

**robotif GmbH (2017):** Reparatur Pakete, [online], robotif GmbH [abgerufen am: 20. Feb. 2017], verfügbar unter: <http://www.robotif.de/cms/werkstatt-reparatur/reparatur-pakete.php>

**Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017):** 100 Betriebe für Ressourceneffizienz, Band 1 – Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft. Springer Spektrum, Berlin Heidelberg, 2017.

**Steinhilper, R. (1998):** Remanufacturing: The Ultimate Form of Recycling. Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart, 1998.

**Steinhilper, R. und Freiburger, S. (2010):** Neue Qualifikation zur Kfz-Ersatzteilversorgung durch Austauschteileproduktion (Remanufacturing) von mechatronischen Baugruppen [online]. Berufsbildungswissenschaftliche Schriften, Leuphana-Seminar-Schriften zur Wirtschaftspädagogik, Band 4: Die BBS Friedenstraße auf dem Weg zu einer nachhaltigen Entwicklung, [abgerufen am 21. Feb. 2017], verfügbar unter: [http://bwp-schriften.uni-vera.de/Band4\\_10/steinhilper\\_freiburger\\_Band4\\_10.pdf](http://bwp-schriften.uni-vera.de/Band4_10/steinhilper_freiburger_Band4_10.pdf)

**Sundin, E. (2004):** Product and Process Design for Successful Remanufacturing [online]. Dissertation, Linköpings Universitet, ISBN 91-85295-73-6, [abgerufen am: 14. Dez. 2016], verfügbar unter: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:20932/FULLTEXT01.pdf>

**Sundin, E.; Östlin, J.; Öhrwall Rönnbäck, A.; Lindahl, M. und Sandström G. (2008):** Remanufacturing of Products used in Product Service System Offerings. In: Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier: The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems, 26 - 28. Mai 2008, Tokyo, S. 537 - 542.

**Sundin, E. und Lee, H. M. (2016):** Remanufacturing and the Environment. In: Make-New-Again by Remanufacturing, Rebuilding or Refurbishing. Ferdinand J. Weiland (2016).

**Sundin, E.; Sakao, T.; Lindahl, M.; Kao, C. und Joungerious, B. (2016):** Map of Remanufacturing Business Model Landscape [online]. European Remanufacturing Network, [abgerufen am 11. Jan. 2017], verfügbar unter: <https://www.remanufacturing.eu/wp-content/uploads/2016/05/ERN-D-3-1-Map-of-Remanufacturing-Business-Model-Landscape.pdf>

**tecXL (2017):** tecXL Aufbereitung - So wird „gebraucht“ zu Technik wie neu [online]. bb-net media GmbH, [abgerufen am: 20. Feb 2017], verfügbar unter: <http://www.tecxl.de/ueber-tecxl/tecxl-aufbereitung/>

**UBA (2016):** Mit Produktdesign Umweltbelastungen reduzieren [online]. Umweltbundesamt, 18. Aug. 2016 [abgerufen am: 26. Jan. 2017], verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign>

**Universität Bayreuth (2017):** Reinigungstechnik [online]. Universität Bayreuth [abgerufen am: 26. Jan. 2017], verfügbar unter: [http://www.lup.uni-bayreuth.de/de/fhg/01\\_arbeitsgebiete/reinigungstechnik/index.html](http://www.lup.uni-bayreuth.de/de/fhg/01_arbeitsgebiete/reinigungstechnik/index.html)

**VDI 2343, Blatt 2 (2010):** Recycling elektrischer und elektronischer Geräte - Logistik. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

**VDI 2343, Blatt 3 (2009):** Recycling elektrischer und elektronischer Geräte - Demontage. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

**VDI ZRE (2017):** Kostenlose Service-Hotline hilft Unternehmen [online]. VDI Zentrum Ressourceneffizienz [abgerufen am: 8. Feb. 2017], verfügbar unter: <https://www.vdi.de/artikel/vdi-zre-neue-servicestelle-ressourceneffizienz/>

**Wagner, J.; Lange, U. und Günther, M. (2016):** Analyse der Datenerhebung nach ElektroG über das Berichtsjahr 2013 zur Vorbereitung der EU-Berichtspflicht 2016 [online]. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau [abgerufen am: 13. Feb. 2017], verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte\\_24\\_2016\\_analyse\\_der\\_datenerhebung\\_nach\\_elektrog.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_24_2016_analyse_der_datenerhebung_nach_elektrog.pdf)

**Walther, G. (2010):** Nachhaltige Wertschöpfungsnetzwerke - Überbetriebliche Planung und Steuerung von Stoffströmen entlang des Produktlebenszyklus. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.

**Warsen, J.; Laumer, M. und Momberg, W. (2011):** Comparative life cycle assessment of remanufacturing and new manufacturing of a manual transmission. In Hesselbach, J.; Herrmann, C.: Proceedings of the 18<sup>th</sup> CIRP International Conference on Life Cycle Engineering. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, S.67-72.

**Weiland, F.J. (2014):** European Remanufacturing of Heavy Duty vehicle components - A Hidden Giant? In Remanufacturing of Heavy Duty Vehicle Components - A Hidden Giant! Fernand J. Weiland, (2014).

**Xing, B. und Gao, W. (2014):** Computational Intelligence in Remanufacturing. Information science Reference (an imprint of IGI Global) Hershey, USA, 2014.

**Yang, S. S.; Ong, S. K. und Nee, A.Y.C. (2016):** A Decision Support Tool for Product Design for Remanufacturing. In: Procedia CIRP 40 (2016), 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use. Elsevier, S. 144 - 149.

**ZVEI / BITKOM (2015):** Stellungnahme von ZVEI und BITKOM zum Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Neuordnung des Gesetzes über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten (Elektro- und Elektronikgerätegesetz - ElektroG) [online]. Auf Homepage Deutscher Bundestag, 12. Juni 2015, [abgerufen am: 06. Dez. 2016], verfügbar unter: [https://www.bundestag.de/blob/378300/5c7f12c1e4abb4185ba3ff6efa62f4c9/18-16-227-b\\_anhoerung\\_elektro\\_elektronikgeraete\\_stellungnahme\\_zvei\\_bitkom-data.pdf](https://www.bundestag.de/blob/378300/5c7f12c1e4abb4185ba3ff6efa62f4c9/18-16-227-b_anhoerung_elektro_elektronikgeraete_stellungnahme_zvei_bitkom-data.pdf)

## ANHANG

Tabelle 11: In der Literatur erwähnte Elemente zur Produktgestaltung auf technischer Ebene

Quelle	Erwähnte Elemente (Gestaltung zugunsten von...)	Klasse
Nasr und Thurston (2006): „Remanufacturing: A Key Enabler to Sustainable Product Systems“ S. 17	• Design for disassembly (Zerlegbarkeit)	Konstruktion
	• Design for product reliability (Belastbarkeit)	Material
	• Design for product durability (Dauerhaftigkeit)	Material
	• Design for restoration (Aufarbeitbarkeit)	Technologie
	• Design for cleaning (Reinigung)	Konstruktion
	• Modular design (modulare Gestaltung)	Konstruktion
Yang et al. (2016): „A Decision Support Tool for Product Design for Remanufacturing“, S. 146	• Used material (verwendetes Material)	Material
	• Material joining method (Fügeverfahren)	Konstruktion
	• Structure Design (Struktur der Produktgestalt)	Konstruktion
	• Functional and decorative Surface Coating (funktionelle Schichten und Dekorschichten)	Material
	• Durability (Dauerhaftigkeit)	Material
	• Disassemblability and assemblability (Zerlegbarkeit und Montierbarkeit)	Konstruktion
	• Cleanability (Reinigung)	Konstruktion
	• Restorability/Upgradeability (Aufarbeitbarkeit, Möglichkeit der Erweiterung)	Technologie
	• Reduced Complexity (verringerte Komplexität)	Konstruktion
	• Design for Technology Integration (Technologieadaptation)	Technologie
Prendeville und Bocken (2016): „Design for Remanufacturing and Circular Business Models“, S. 5	• Detailed Design & Materials Selection (Produktgestaltung und Materialauswahl)	Konstruktion & Material
	• Design for Standardisation & Reducing Complexity (Standardisierung und verringerte Komplexität)	Konstruktion
	• Design for Technology Integration (Technologieadaptation)	Technologie
Gray und Charter (2006): „Remanufacturing and Product Design“, S. 25 ff.	• Design for Disassembly (Zerlegbarkeit)	Konstruktion
	• Design for Cleaning (Reinigung)	Konstruktion
	• Design for Product reliability (Belastbarkeit)	Material
	• Design for Product durability (Dauerhaftigkeit)	Material
	• Design for Remediation (Aufarbeitbarkeit)	Technologie
	• Design for Upgrade (Technologieadaptation)	Technologie
	• Modular Design (modulare Gestaltung)	Konstruktion
Prendeville et al. (2016): „Map of Remanufacturing Product Design Landscape“, S. 40	• Ease of Disassembly (Zerlegbarkeit)	Konstruktion
	• Material selection (Materialauswahl)	Material
	• Durable materials /parts; reliability (Dauerhaftigkeit/Belastbarkeit)	Material
	• Upgradeability/adaptability (Technologieadaptation)	Technologie
	• Modular Design (modulare Gestaltung)	Konstruktion
	• Easy serviceability (Brauchbarkeit)	Konstruktion
	• Design for rapid repair (Reparierbarkeit)	Konstruktion
	• Design for milling and machining (Aufarbeitbarkeit)	Konstruktion
	• Standardisation (Standardisierung)	Konstruktion
	• Easy access to vulnerable/valuable parts (Zerlegbarkeit)	Konstruktion
	• Small number of parts/designing layouts that segregate recyclable and remanufacturable Components (Zerlegbarkeit und modularer Aufbau)	Konstruktion



**Tabelle 12: Unternehmenshauptsitz von Reman-Unternehmen nach Ländern**<sup>165</sup>

Land	Anzahl Hauptsitze	Land	Anzahl Hauptsitze
Deutschland	61	Finnland	3
UK	37	Österreich	2
Niederlande	24	Dänemark	2
Frankreich	12	Tschechien	1
Griechenland	7	Ungarn	1
Polen	7	Lettland	1
Schweden	7	Luxemburg	1
Italien	5	Rumänien	1
Spanien	5	Andere EU-Länder	1
Belgien	4	Nordamerika	4
Irland	4	Asien/Pazifik	1
Schweiz	4	Andere	2

**Tabelle 13: Branchenanteil von Gesamtumsatz**

Summierter Branchenumsatz	Europa	Deutschland
Umsatz Luftfahrt, Automobilbranche, Schwerlast- und Nutzfahrzeuge, EEE, Maschinenbau, Medizinische Ausrüstung	29,09 Mrd. Euro	8,60 Mrd. Euro
Umsatz gesamt (oben genannte Branchen plus Schienenverkehr, Möbel, Marine)	29,83 Mrd. Euro	8,74 Mrd. Euro
Umsatzanteil von gesamt	97,5 %	98,4 %

**Tabelle 14: Verteilung der Nennungen genutzter Rücknahmewege (44 Nennung von 30 Befragten)**<sup>166</sup>

Art der Rücknahme	Anteil der Rücknahmewege an gesamten Nennungen
Rücknahme über Kauf von gebrauchten Altteilen	34 %
Freiwillige Rückgabe	14 %
Eigentumsbasierte Rücknahme	14 %
Rücknahme auf Basis eines Servicevertrags	11 %
1:1-Rücknahme	11 %
Rücknahme über Kundenauftrag	9 %
Rücknahme über Rabatte auf refabrizierte Produkte	7 %

<sup>165</sup> In Anlehnung an Parker et al. (2015), S. 28.<sup>166</sup> In Anlehnung an Sundin et al. (2016), S. 18 und 19.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)  
Bertolt-Brecht-Platz 3  
10117 Berlin  
Tel. +49 30-2759506-0  
Fax +49 30-2759506-30  
zre-info@vdi.de  
www.ressource-deutschland.de

Im Auftrag des:



Bundesministerium  
für Umwelt, Naturschutz,  
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE  
KLIMASCHUTZ  
INITIATIVE