

# *Electromobile Remanufacturing*

## *Nutzenpotenziale für batterieelektrische Fahrzeuge*

Achim Kampker

Chair of Production Engineering of E-Mobility  
Components, RWTH Aachen University  
Aachen, Germany

Ansgar Hollah

Chair of Production Engineering of E-Mobility  
Components, RWTH Aachen University  
Aachen, Germany  
a.hollah@pem.rwth-aachen.de

Kai Kreisköther

Chair of Production Engineering of E-Mobility  
Components, RWTH Aachen University  
Aachen, Germany

Christoph Lienemann

Chair of Production Engineering of E-Mobility  
Components, RWTH Aachen University  
Aachen, Germany

**Abstract** — Elektrofahrzeuge bieten aufgrund der konzeptionellen Freiheitsgrade in der Produktgestaltung großes Potenzial zur Umsetzung des Grundgedankens der Circular Economy. Remanufacturing als zentrales Element einer Circular Economy ermöglicht die stoffliche und energetische Weiternutzung der Strukturkomponenten von Elektrofahrzeugen. Die dadurch erzielte Verlängerung der Produktlebensdauer ermöglicht eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Elektromobilproduktion. Obwohl erste Anstrengungen in der Praxis erkennbar sind, existieren im Gegensatz zu anderen Branchen für Elektrofahrzeuge bislang keine geeigneten Remanufacturing-Konzepte. Die spezifischen Verschleißigenschaften des elektrischen Antriebsstrangs sowie der Bedarf an funktionalen Updates während der Nutzungsphase durch die hohe Innovationsgeschwindigkeit in der Elektromobilität verdeutlichen die Remanufacturing-Eignung von Elektrofahrzeugen. Als Voraussetzung zur Umsetzung muss die Produktarchitektur in remanufacturingfähigen Modulen aufgebaut sein. Für die Schnittstellen zwischen den Remanufacturing-Modulen müssen geeignete Gestaltungsrichtlinien sowie wirtschaftliche Remanufacturing-Technologieketten entwickelt werden. Mithilfe innovativer Geschäftsmodelle kann das Remanufacturing einen Beitrag zur Konkurrenzfähigkeit der Elektromobilität leisten.

**Keywords** — *Circular Economy, Remanufacturing; Elektromobilität*

### I. EINLEITUNG

Gängige Produktions- und Verbrauchsmuster tragen aufgrund ihrer linearwirtschaftlichen Konfiguration zur Entstehung und Verschärfung globaler Umweltprobleme wie Umweltverschmutzung, Klimawandel, Biodiversitätsverlust und Ressourcenverknappung bei. Lineare Wirtschaftsmodelle basieren auf dem Prinzip der Extraktion natürlicher Ressourcen, der Produktherstellung, der Produktnutzung und der abschließenden Abfallentsorgung [1]. Im Zuge weltweiter steigender Bevölkerungszahlen und sich wandelnder Lebensstandards wächst die Nachfrage nach industriell

hergestellten Produkten und damit einhergehend der Bedarf an Energie sowie natürlichen Ressourcen wie Metallen, Mineralien, Biomasse und fossilen Energieträgern. In diesem Zusammenhang stellt die Ressourcengewinnung eine signifikante Belastung für die Umwelt dar, da die Ausbeutung natürlicher Quellen oft mit deren nachhaltiger Zerstörung einhergeht. Das produzierende Gewerbe ist darüber hinaus an einem signifikanten Anteil der Treibhausgasemissionen verantwortlich [2].

Das Konzept der Kreislaufwirtschaft, der sogenannten Circular Economy, hat eine Entkoppelung des wirtschaftlichen Wachstums von der Nutzung endlicher Ressourcen und damit einhergehenden negativen Auswirkungen auf die Umwelt zum Ziel [3]. Durch die Umsetzung der Circular Economy soll unter anderem der Schutz der Umwelt durch Schonung von ökologischen Quellen und Senken gewährleistet werden, eine Verringerung der Abhängigkeit gegenüber Rohstofflieferanten ermöglicht sowie eine Kostensenkung in der Rohstoff- und Energieversorgung angestrebt werden. Des Weiteren sollen lokale Arbeitsplätze geschaffen und eine Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit erreicht werden.

Zur Realisierung einer Circular Economy muss am Ende eines Produktlebens ein möglichst hoher Grad der energetischen und stofflichen Verwertung des Produkts erreicht werden. Da die Wiederverwendung eines Produktes am Lebensende aufgrund von Abnutzungserscheinungen meist nicht ohne Weiteres möglich ist, entspricht insbesondere das Remanufacturing dem Zielbild der Circular Economy. Remanufacturing ermöglicht die Rückgewinnung von Produktkomponenten zur Weiternutzung und entspricht damit der zweithöchsten Stufe der Wiederverwertungspyramide (vgl. Fig. 1). Die Verlängerung der Nutzungsdauer von Produkten oder deren Komponenten durch Wiederverwendung in einem gleichen oder ähnlichen Einsatzszenario führt zu einer Verringerung oder vollständigen Vermeidung von Abfall. Die verlängerten Produkt- und Produktkomponentenzyklen sind charakteristisch für die Circular Economy und ersetzen nach

Möglichkeit die klassischen Verwertungsstrategien am Ende der Nutzungsdauer. Durch ein entsprechendes Produktdesign muss die Voraussetzung für die wiederholte Verwendung von Produkten und Komponenten befähigt werden.

Fig. 1. Wiederverwertungs- und Rückgewinnungspyramide

Gemäß Definition des Remanufacturing Industries Council



ist Remanufacturing ein vollständig industrialisierter Prozess, in dem ein zuvor verkauftes, verschlissenes oder nicht mehr funktionsfähiges Produkt oder eine entsprechende Komponente in einen Quasi-Neuzustand oder einen aus funktionaler Sicht verbesserten Zustand transformiert wird und danach ein definiertes Funktions- und Qualitätsniveau aufweist [4]. Durch die Weiternutzung von Produktkomponenten bleibt die zur Herstellung der Produkte eingebrachte Energie und Arbeitsleistung zu einem Großteil erhalten.

Diese Definition grenzt das Remanufacturing von anderen Strategien wie der Reparatur, dem Reconditioning und dem Refurbishing auf der gleichen Verwertungsstufe ab [5]. Durch einen Reparaturprozess werden Fehler, Schäden und Funktionsausfälle behoben, um die allgemeine Funktionsfähigkeit des Produktes oder der Komponente wiederherzustellen. Hierbei wird jedoch kein Neuzustand und damit implizierte Funktionsleistung, Garantie und eine zusätzliche Produktlebensdauer erreicht. Reconditioning beinhaltet die Überholung und den Austausch von Komponenten, die für die Produktfunktion maßgeblich sind und einem Ausfall nahe sind. Durch Reconditioning wird ebenfalls kein Neuzustand des Produktes erreicht. Das Refurbishing umschließt Maßnahmen, die ein Produkt oder eine Komponente in ihrer Erscheinung dem Neuzustand optisch nahebringen. Das Refurbishing beinhaltet somit keine Aktivitäten, die die ursprüngliche, dem Neuzustand entsprechende Funktionsfähigkeit, wiederherstellt.

Die Remanufacturing-Industrie in Europa erzielte im Jahr 2015 einen jährlichen Umsatz von 30 Milliarden Euro mit derzeit 190.000 Beschäftigten. Mit rund 2,4 Milliarden Euro Umsatz, damit 31 % des europäischen Umsatzes, ist Deutschland in Europa Vorreiter im Remanufacturing-Geschäft. Bis 2030 wird ein Wachstum auf 90 Milliarden Euro Umsatz und zusätzlichen 75.000 Arbeitsplätzen in der europäischen Remanufacturing-Industrie prognostiziert. Dabei erfolgen 80 % der Remanufacturing-Aktivitäten in der Luftfahrtindustrie (42 %), in der Versorgung von Kraftfahrzeugteilen (25 %) und im Bereich der Heavy-Duty und Off-Road Anwendungen (14 %) [5]. Bis zu 80 % des eingesetzten Materials lassen sich in Remanufacturing-Produkten weiternutzen. Dadurch werden in

Europa jährlich 2.2600.000 t Material und 8.255.000 t CO<sub>2</sub> eingespart [5]. Weltweit macht das Remanufacturing von Automobilkomponenten über 60 % der Remanufacturing-Aktivitäten aus [6].

Dies ist zum einen in dem Bedarf an Neuteilen während der Nutzungsphase eines Fahrzeuges, zum anderen in dem hohen Kosteneinsparpotenzial im Vergleich zur Herstellung von Neuprodukten begründet [7]. 10 % aller Personen- und Lastkraftwagen durchlaufen bspw. bis zum Ende ihrer Nutzungsdauer einen Motorwechsel. Neben dem Motor besitzen insbesondere Komponenten des Antriebsstrangs und des Fahrwerks wie Motoren, Getriebe, Lichtmaschinen, Zahnstangen, Anlasser, Kupplungen, Turbolader oder Lenkungspumpen Remanufacturing-Potenzial. Ein PKW am Ende Produktlebensende enthält durchschnittlich Materialien im Wert von circa 1.000 Euro pro Tonne Fahrzeuggewicht.

Im Zuge der voranschreitenden Marktdurchdringung der Elektromobilität verschiebt sich die Emissionsbelastung in der Automobilindustrie von der Betriebsphase des Fahrzeugs auf die Produktion und Ressourcengewinnung durch den erhöhten Ressourcenbedarf nach seltenen Erden für die Antriebsstrangkomponenten. Mit dem aktuellen Strommix aus fossilen und erneuerbaren Energiequellen entstehen knapp 40 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Materialgewinnung, Herstellung und Entsorgung von Elektrofahrzeugen [8]. In der CO<sub>2</sub>-Bilanz von herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen entfallen unter 20 % auf die Materialgewinnung, Herstellung und Entsorgung. Im Vergleich der Antriebstechnologien über das gesamte Produktleben verursachen Elektrofahrzeuge eine leicht geringere Umweltbelastung als Benzinfahrzeuge, wohingegen Dieselfahrzeuge einen vergleichbaren CO<sub>2</sub>-Fußabdruck wie Elektrofahrzeuge hinterlassen. Um mit der Elektromobilität den häufig proklamierten Wandel zur klimaschonenden Mobilität zu realisieren, sind Konzepte zur Befähigung des Remanufacturing über geeignete Produkt- und Produktionsgestaltung auf der Gesamtfahrzeugebene unerlässlich.

Neben den ökologischen Vorteilen birgt das Remanufacturing ökonomische Potenziale. Die Verlängerung der Lebensdauer eines Produktes durch Remanufacturing führt zu einer Reduktion der Total Costs of Ownership. Über eine definierte Betrachtungsperiode muss das Produkt aufgrund der verlängerten Nutzungsdauer seltener ersetzt werden, wodurch die kumulierten Kosten der Neuanschaffungen sinken. Dem gegenüber stehen die Aufwände für den Austausch und ggf. die Aufarbeitung von Remanufacturing-Komponenten, die die verlängerte Lebensdauer des Kernproduktes befähigen. Unter der Voraussetzung geeigneter Produktions- und Produktkonzepte werden diese Kosten relativiert.

Derzeit sind die hohen Anschaffungskosten im Vergleich zu herkömmlich angetriebenen Fahrzeugen der zentrale Grund für die geringe Marktdurchdringung von Elektrofahrzeugen. Die geringen Betriebskosten eines Elektrofahrzeugs können die höheren Initialkosten über die durchschnittliche Nutzungsdauer eines Fahrzeugs noch nicht kompensieren. Die Verlängerung der Nutzungsdauer der Fahrzeugstruktur erhöht den Einfluss der geringeren Betriebskosten von Elektrofahrzeugen im Vergleich zu konventionell angetriebenen Fahrzeugen auf die

Total Costs of Ownership und ermöglicht dadurch eine wirtschaftliche Nutzung von Elektrofahrzeugen (vgl. Fig. 2). Insbesondere für gewerbliche Betreiber von Fahrzeugflotten ist die Verlängerung der Lebensdauer von Fahrzeugen mit großen Vorteilen verbunden. Während der automobile Privatkundenmarkt von hoher Emotionalität der Kaufentscheidungen geprägt ist, muss die Auswahl von Flottenfahrzeugen auf Basis von rein betriebswirtschaftlichen Erwägungen erfolgen.

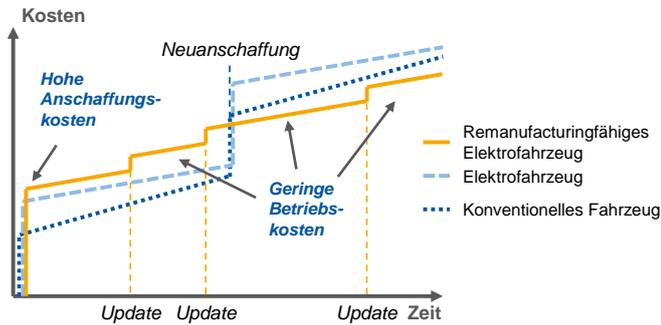


Fig. 2. Total Costs of Ownership

Durch die Möglichkeit neben den Maßnahmen zur Verlängerung der Lebensdauer sowohl funktionale Erweiterungen und technologische Updates in das Fahrzeug zu integrieren, birgt der Remanufacturing-Ansatz das Potenzial ebenfalls den Kundenwert des Produktes zu steigern. Auf dem Privatkundenmarkt ist für die Kaufentscheidung weniger die Betrachtung der Gesamtkosten über das Produktleben ausschlaggebend, sondern die Gegenüberstellung des Kaufpreises mit dem individuellen Nutzen in Abhängigkeit des Anwenderprofils. Neben dem Verschleißzustand bestimmen insbesondere Komponenten, die durch die Geschwindigkeit der technischen Entwicklung bereits nach kurzer Zeit nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik sind sowie Designelemente, die vor allem einen hohen emotionalen Wert haben, den aktuellen Wert eines Fahrzeugs.

## II. STAND DER TECHNIK

Der Remanufacturing-Prozess lässt sich in drei Phasen gliedern: Vorbereitung, Aufbereitung und (Re-)Montage (vgl. Fig. 3) [9], die gemäß Definition jeweils in einer industrialisierten Produktionsumgebung stattfinden. Die erste Phase beginnt mit der Ankunft der Rückläufer im Wareneingang und die Lagerung. Nach einer optionalen Säuberung erfolgt die Demontage durch die Zerlegung des Produktes. In der Aufbereitung werden Informationen über den Zustand des Altteils generiert. Komponenten, deren Aufarbeitung aufgrund ihres Zustandes technisch oder wirtschaftlich nicht sinnvoll ist, werden aussortiert. Die Komponenten, die für die Aufarbeitung bestimmt sind, müssen ggf. für eine detaillierte Fehlerdiagnose näher inspiziert werden. Auf Basis von systematisch auftretenden Fehlerbildern können Rückschlüsse für die Entwicklung und Produktion gezogen werden. Anschließend erfolgt auf Grundlage der vorangestellten Diagnose die eigentliche Aufarbeitung. In der Remontage werden die aufgearbeiteten Komponenten ggf. in Kombination mit Neuteilen zu einem Gesamtprodukt montiert.

Begleitet wird der Aufarbeitungs- und Montageprozess durch Tests, um die Eignung des Altteils für die Wiedernutzung zu garantieren und einen definierten Qualitätsstandard zu gewährleisten.

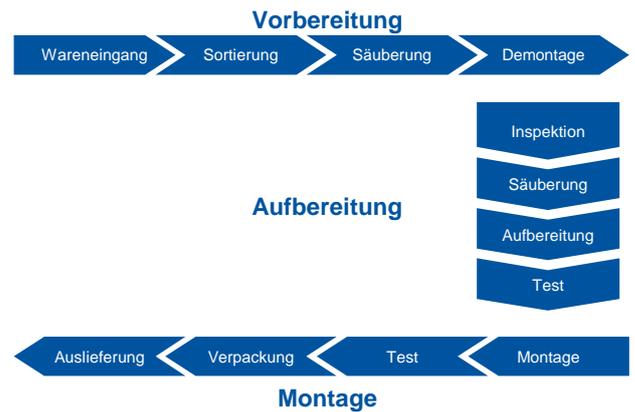


Fig. 3. Remanufacturing-Prozess [9]

Für die Bestimmung der Remanufacturing-Eignung von Komponenten existieren unterschiedliche Bewertungsmaßstäbe. Nicht jedes Produkt eignet sich demnach Remanufacturing in gleichem Maße. Es lassen sich drei Hauptbedingungen für die Remanufacturing-Fähigkeit unterscheiden [5]. Je höher der Wert und je geringer die Verfügbarkeit der im Produkt verarbeitenden Materialien sowie je höher arbeitstechnischer Aufwand zur Herstellung des Neuproduktes, desto eher sind Remanufacturing-Aktivitäten wirtschaftlich begründbar. Weiter wird die Verfügbarkeit des für den Remanufacturing-Prozess benötigten Wissens vorausgesetzt. Zuletzt eignen sich Produkte, die eine geringe Wandlungsgeschwindigkeit in den eingesetzten Technologien, bezogen auf das Kernprodukt aufweisen.

Remanufacturing-Konzepte im Bereich der Automobilindustrie werden aktuell lediglich im Bereich der Komponentenfertigung umgesetzt. Einzig im Bereich der Sonderfahrzeuge existieren vereinzelt Beispiele für industrialisierte Remanufacturing-Prozesse auf Gesamtfahrzeugebene. In anderen Branchen ist die Wiedernutzung des Kernproduktes seit mehreren Jahrzehnten selbstverständliches Element des Geschäftsmodells der Marktteilnehmer.

Das Unternehmen Xerox, das Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Fotokopie, Druckerei und Speicherung von Dokumenten anbietet, nutzt seit 1960 das Potenzial der Wiederverwendungen von Altgeräten [10]. Ende der 1980er wurde dafür ein formales Remanufacturing-Geschäftsmodell mit dem Ziel der Erhöhung der Rentabilität eingeführt. Um die Rückführung der Produkte zu sichern, hatte Xerox ursprünglich einen großen Teil seiner Kopierer vermietet. Trotzdem gab es weiterhin Kunden, die den Kauf der Kopierer präferierten. Um diesem Umstand gerecht zu werden und gleichzeitig an dem rentablen Geschäftsmodell festzuhalten, wurde ein Netzwerk zur Aufbereitung der Altgeräte etabliert. Um der Konkurrenz um die Altgeräte zuvorzukommen, wurden, die

Remanufacturing-Aktivitäten in eine Tochtergesellschaft ausgelagert, die die gebrauchten Produkte von Händlern abkauft und aufarbeitet. Durch die Klassifizierung der Altteile nach Alter und Zustand in vier Kategorien von sehr guter Qualität bis Unbrauchbarkeit für den Remanufacturing-Prozess konnte Xerox innerhalb von zwei Jahren nach Einführung die Abfallmenge für Deponien um 20 % senken. Darüber hinaus wird ein erheblicher Teil der Material- und Bauteilkosten eingespart, ohne Qualitätseinbußen zu verzeichnen. Dadurch können neuwertige Kopierer zu einem geringeren Preis angeboten werden, wodurch Xerox trotz ursprünglicher Positionierung im Premiumsegment wettbewerbsfähige Angebote im Niedrigpreissektor anbieten kann.

Der Weltmarktführer für Baumaschinen Caterpillar vereint unter der Marke Cat Reman konzernweit sämtliche Remanufacturing-Aktivitäten zur Weiternutzung verschiedener Spezialfahrzeuge [11,12]. Das Unternehmen fokussiert dabei nicht nur eigene Produkte, sondern ebenfalls die Fahrzeuge anderer Hersteller aus der gleichen oder einer verwandten Branche. Der Rückstrom der gebrauchten Maschinen erfolgt durch ein Tausch-Modell, in dem das Altteil mit einem Remanufacturing-Produkt gegen einen Aufpreis getauscht wird. Darüber hinaus bezahlt der Kunde bei Caterpillar ein Altteilverkauf, das durch ein Altteilmanagementsystem für das jeweilige Produkt ermittelt wird. Bei Rückgabe der gebrauchten Maschine wird das Pfand an den Kunden zurückgezahlt, um den Rückstrom der ausgedienten Maschinen sicherzustellen. Das Altteil wird bei Ankunft im Remanufacturing-Werk in seine Einzelteile zerlegt und gereinigt. Anschließend erfolgt die Überprüfung des Verschleißzustands der Bauteile sowie die Bewertung der Tauglichkeit für den Remanufacturing-Prozess. Mithilfe unterschiedlicher verfahrenstechnischer Anwendungen, die denen in der Herstellung der Neuprodukte entsprechen, werden die verschlissenen Bauteile aufgearbeitet und können den Produktionsprozess erneut durchlaufen. Dabei erhalten die Komponenten neue Seriennummern und eine neue Identität, wodurch Cat Reman durch das Remanufacturing neuwertige Produkte zu einem geringeren als dem Neupreis anbieten kann. Als führendes Unternehmen im Bereich Remanufacturing bereitet Caterpillar jährlich über 2 Million Maschinen und deren Komponenten für die Weiternutzung auf.

Stellvertretend für das Remanufacturing von Komponenten in der Automobilindustrie steht die Daimler AG. Innerhalb des konzernweiten Remanufacturing-Programms werden Technologien zur wirtschaftlicheren Aufbereitung verschiedener Komponenten entwickelt [13]. Ziel ist die wirtschaftliche Versorgung des Ersatzteilmarktes. Solange die Ersatzteilproduktion noch aufrechterhalten ist, kann der Kunde zwischen einem Neuteil und einer kostengünstigeren Remanufacturing-Komponenten wählen. Das Remanufacturing von vollständigen Fahrzeugen ist hingegen nicht möglich. Die Remanufacturing-Komponenten sollen den gleichen Qualitätsstandards entsprechen, welches sich in identischen Gewährleistungsumfängen wieder spiegelt. Bereits während der Konzeption von Fahrzeugteilen wird eine größtmögliche Remanufacturing-Eignung angestrebt. Im Fokus stehen die Elemente des elektrischen Antriebsstrangs von Hybrid- und Elektrofahrzeugen, da die Bestandteile der Hochvolt-Technik

hochwertige Materialien beinhalten. Zu diesem Zweck arbeiten die Entwicklungsteams bereits in frühen Phasen mit der Abteilung für Remanufacturing zusammen, um die für die Aufarbeitung der Teile notwendigen Anforderungen frühestmöglich an die Serienfertigung und Zulieferer stellen zu können.

Vorreiter im Bereich der After-Sales-Aktivitäten zur Erweiterung von Funktionseigenschaften ist das Unternehmen Tesla Motors. Nach dem Kauf des Fahrzeugs werden den Kunden schrittweise Funktionserweiterungen angeboten [14]. Mit Hilfe von Softwareupdates wird die Leistungsfähigkeit der eingesetzten Fahrerassistenzsysteme erweitert. Dazu wird per Fernzugang auf die Fahrzeugsteuerung zugegriffen, um eine neue Softwareversion zu überspielen. Voraussetzung für ein auf Software basierendes Funktionsupdate ist der vorherige Einbau der entsprechenden Hardware, welche in diesem Fall aus der geeigneten Sensorik, Aktorik und den dazu gehörigen Steuergeräten besteht. Genau hierin besteht jedoch der limitierende Faktor in der Updatefähigkeit der Fahrzeuge. Zum einen müssen die Updates im Vorfeld in der Entwicklung des Fahrzeugs eingeplant sein, zum anderen muss bei der Auswahl der zum Einsatz kommenden Hardware die technologische Entwicklung der nächsten Jahre vorhersehbar sein. Die Software kann durch kontinuierliche Updates lediglich auf dem aktuellen Stand der Technik gehalten werden, solange die Hardware dieses auch zulässt. Die Aktualisierung der Hardware innerhalb der bereits verkauften Fahrzeugflotte ist bislang nicht möglich.

### III. HERAUSFORDERUNGEN

Der Aufbau einer geschlossenen kreisförmigen Lieferkette im Sinne der Circular Economy zur Organisation des Rückstroms der gebrauchten Produkte ist die Voraussetzung zur Befähigung des Remanufacturing. In Ergänzung zur klassischen Supply Chain wird für das Remanufacturing ein Rückwärtsstrom der Produkte nach dem Ende des Produktlebens zum Hersteller benötigt. Die Sammlung von ausgedienten Produkten sowie der Transport kann je nach geografischer Größe des Marktes erhebliche Kosten verursachen. Die Einrichtung von dezentralen Sammelstellen kann die Organisation des Rücktransports zum Remanufacturing-Werk erleichtern. Je nach Logistik- und Remanufacturing-Aufwand kann der Aufbau eines zentralen Remanufacturing-Werks oder eines Netzwerks aus dezentralen Remanufacturing-Einheiten sinnvoll sein.

Aufgrund der Vielzahl an voneinander abhängigen Unsicherheiten in der Planung von Produktionskapazitäten und -prozessen ist der Aufbau von Remanufacturing-Kapazitäten mit vielfältigen Herausforderungen verbunden [15]. Zunächst besteht Ungewissheit über den Zeitpunkt und die Menge der Rückläufer, da die bestimmenden Einflussfaktoren auf das Ende eines Produktlebens, das den Remanufacturing-Bedarf auslöst, nur schwer zu beeinflussen sind. Der Rückfluss ist abhängig von Faktoren wie dem Nutzerverhalten und damit der Verschleißgeschwindigkeit, dem Stadium des Produktlebenszyklus sowie der Geschwindigkeit des technologischen Wandels, von denen der Bedarf nach neuen Funktionseigenschaften abhängt.

Weiter herrscht Unsicherheit über den Zustand der zurückkommenden Produkte und entsprechend über die Eignung zur Wiederverwendung [15]. Der Verschleißzustand der Rückläufer ist während des Wareneingangs noch unbekannt. Da dieser sehr stark variieren kann, wird erst im Zuge der ersten Qualitätsprüfung der Umfang des Remanufacturing-Bedarfs ermittelt. Entsprechend kurzfristig muss innerhalb der Auftragssteuerung reagiert werden, um Unterschiede in der Qualität des Rückflusses innerhalb der Demontage- und Aufbereitungsprozesse zu berücksichtigen. Hochgradig variierenden Prozesszeiten durch die unterschiedlichen Anforderungen an die Demontage, Aufarbeitung und Remontage erfordern ein flexibles Produktionskonzept.

Der Abgleich des Rückflusses mit der Nachfrage ist ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet. Es besteht die Gefahr von extremen Lagerbeständen bei hohem Rückfluss oder schlechter Marktabdeckung bei hoher Nachfrage und geringen Rückläuferzahlen. Dies zeigt sich in dem typischen Lebenszyklus für Remanufacturing-Produkte. Zu Beginn des Lebenszyklus ist die Nachfrage nach dem Neuprodukt hoch, gleichzeitig werden nur wenige Produkte zurückgegeben. Entsprechend stehen nur sehr eingeschränkt Altteile für das Remanufacturing zur Verfügung. Im Laufe des Lebenszyklus steigt die Anzahl der Produkte, die sich am Ende des Produktlebens befinden, wodurch die Anzahl der Rückläufer steigt. Im Laufe des Lebenszyklus übersteigt das Angebot an Altteilen die Nachfrage (vgl. Fig. 4). Um das nicht gehobene Remanufacturing-Potenzial durch die hohen Rückläuferzahlen zu heben, können funktionale Updates, die das Produkt auf den aktuellen Stand der Technik bringen, eine stärkere Nachfrage am Ende des Produktlebenszyklus erzeugen.

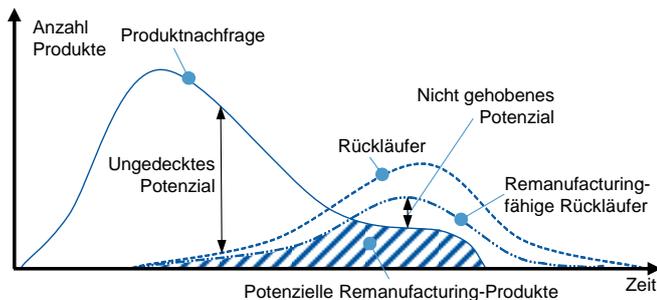


Fig. 4. Remanufacturing-Nachfrage [16]

Der Anteil der remanufacturingfähigen Produkte an der Gesamtzahl der Rückläufer ist stark von der Art des Produktes abhängig. Um die Remanufacturing-Fähigkeit eines Produktes zu gewährleisten, müssen produktseitig Voraussetzungen geschaffen sein [17]. Das Kernprodukt darf durch die reguläre Nutzung nicht verbraucht oder unbrauchbar werden. In der Elektromobilität gilt dies insbesondere für die Karosseriestruktur sowie das Fahrwerk. Da in diesen Bereichen keine Technologiesprünge erwartbar sind, wird der Kundenwert über die technische Evolution nicht signifikant erhöht. Weiter muss die Aufbereitung des Kernprodukts derart möglich sein, dass es in den ursprünglichen Zustand transformiert wird. Idealerweise ist das Kernprodukt nicht von Verschleiß betroffen, sondern ermöglicht den Austausch der

Komponenten, die sich im Laufe der Nutzungsphase abnutzen. Eine weitere Voraussetzung ist folglich, dass das Produkt aus austauschbaren Komponenten besteht, die durch eine remanufacturingfähige Produktarchitektur leicht demontierbar und wieder montierbar sind. Per Definition müssen die entsprechenden Remanufacturing-Aktivitäten in einem industrialisierten Prozess in einer Serienumgebung, im Gegensatz zu einer Reparaturwerkstatt, stattfinden und daher einen hohen Grad der Standardisierung aufweisen. Um einen wirtschaftlichen Remanufacturing-Prozess gewährleisten zu können, muss der funktionale Wert des Remanufacturing-Produktes dem des ursprünglichen Produktes nahe kommen und einen entsprechenden Qualitätsstandard gewährleisten. Gleichzeitig müssen die Kosten der Beschaffung des Produktes nach dem Ende der Lebensdauer im Vergleich zum Wert des Remanufacturing-Produktes gering sein. Zuletzt dürfen keine disruptiven Technologiewechsel innerhalb des Kernprodukts zu erwarten sein. Innerhalb der Komponenten, die für das spätere Remanufacturing ausgelegt sind, beeinflusst der technologische Wandel hingegen den Remanufacturing-Bedarf positiv.

#### IV. POTENZIALE IN DER ELEKTROMOBILPRODUKTION

Remanufacturing-Bedarf lässt sich durch fünf Ursachen begründen. Verschleiß durch den regulären Gebrauch führt über das Produktleben zu einer eingeschränkten Funktionsfähigkeit oder dem Ausfall einer Komponente (1). Im Gegensatz zu dem betriebsbedingten Versagen nach einer gewissen Nutzungsdauer sind fehlerhafte Teile durch Entwicklungs- oder Produktionsfehler nicht zwangsläufig abhängig von der Einsatzdauer und treten häufig zu Beginn der Nutzungszeit auf (2). Die Funktionsbeeinträchtigung durch Einfluss von außen resultiert meist aus Unfällen oder einer unsachgemäßen Bedienung der Produkte (3). Weiter entsteht Remanufacturing-Bedarf durch die technische Weiterentwicklung von Komponenten bzw. Funktionseigenschaften, sodass das ursprüngliche Produkt nicht mehr auf dem aktuellen Stand der Technik ist (4). Im Laufe der Nutzungszeit verändert sich neben der Leistungsfähigkeit der technischen Funktionen auch das Produktdesign, welches insbesondere auf dem privaten Automobilmarkt einen hohen Einfluss auf den Kundennutzen besitzt (5).

Die Elektromobilität ist durch eine hohe Innovationsdynamik geprägt. Vielfach haben sich noch keine technologischen Standards aufgrund der Überlegenheit einer Technologiealternative durchgesetzt. Am Beispiel der Batterietechnologie lassen sich die Auswirkungen auf das Remanufacturing-Potenzial verdeutlichen.

Die Mehrkosten der Elektromobilität werden häufig auf die Kosten der Batterie als wertmäßig bedeutendste Komponente zurückgeführt. Durch die stark gestiegene Nachfrage nach leistungsstarken Batterien für mobile Anwendungen und damit einhergehenden Forschungsinvestitionen ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren weitere Innovationen in der Batterietechnologie zur Steigerung der Leistungsfähigkeit marktreif und die Stückpreise aufgrund der steigenden Produktionsmengen weiter sinken werden. [18]. Gleichzeitig wird an Substitutionstechnologien geforscht, durch die die

Energiedichte weiter steigt. Entsprechend schnell können aktuelle Batteriegenerationen veraltet sein. Nicht zuletzt, weil die Reichweite als ein entscheidendes Verkaufsargument in der Elektromobilität hervorgehoben wird, lässt der Kundenwunsch nach updatefähigen Batteriesystemen bei einem absehbaren Technologiesprung antizipieren. Zusätzlich unterliegen Batterien einem Alterungsprozess, der die Leistungsfähigkeit mit der Zeit sowie der Anzahl an Ladezyklen durch eine geringer werdende Ladekapazität einschränkt, wodurch eine Austauschmöglichkeit bei langer Lebensdauer nötig wäre.

Erste Entwicklungstrends zur Updatefähigkeit von Batterien werden bereits von verschiedenen Automobilherstellern umgesetzt. Nissan bietet Elektrofahrzeuge ohne Batterien zum Kauf an [19]. Die Batterie wird über einen Leasingvertrag angeboten und mit der Möglichkeit versehen, diese bei Weiternutzung des Fahrzeugs über die Batterielebensdauer hinaus gegen eine neue Batterie auszutauschen. Dabei muss die Integrierbarkeit von neuartigen Technologien möglich sein. Die Lagerzeit von Lithium-Ionen-Batterien ist durch Alterungserscheinungen sehr begrenzt, wodurch die Versorgung mit veralteter Batterietechnologie nur unter Vorhalten von entsprechend ebenfalls veralteter Produktionskapazitäten möglich wäre. Die Sicherstellung der Ersatzteileversorgung ist folglich mit hohen Kosten verbunden und nur sehr begrenzt wirtschaftlich zu betreiben. Entsprechend leitet sich die Notwendigkeit zur Befähigung der Integration neuer Technologie in die alte Batterieperipherie wie das Gehäuse, die Kühlung oder das Batterie Management System ab.

Darüber hinaus existieren bereits erste Bestrebungen bei einem Zelldefekt nur die beschädigte Zelle, anstatt das Modul oder das gesamte Batteriesystem tauschen zu müssen [20]. Die Haltbarkeit von Zellen innerhalb eines Moduls variiert stark, wodurch die Gesamtleistungsfähigkeit des Batteriepacks erheblich beeinflusst wird. Unter Berücksichtigung des geringeren Wertanteils einer einzelnen Zelle innerhalb eines Batteriepacks wird das Einsparpotenzial deutlich (vgl. Fig. 5).

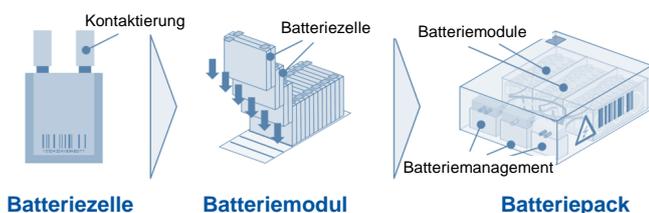


Fig. 5. Schritte der Batteriemontage

Die Weiternutzung von Traktionsbatterien macht, nachdem die Kapazität auf 80 % des ursprünglichen Werts gesunken ist, aufgrund des hohen Gewichts eine rentable Nutzung in mobilen Anwendungen unmöglich [21]. Der Restwert einer solchen Batterie liegt allerdings noch bei bis zu 75 % der ursprünglichen Kosten. Neben den Zellen sind die Peripheriemodule aufgrund des geringen Verschleißes noch von hohem Wert. Während sich die Zellen insbesondere für Second-Life-Konzepte zur Weiternutzung als stationäre Energiespeicher eignen, können die Komponenten der Batterieperipherie für mobile Anwendungen wiederverwendet werden.

Elektrofahrzeuge weisen aufgrund der spezifischen Charakteristika eine hohe Eignung für das Remanufacturing auf. Im Vergleich zu Fahrzeugen mit herkömmlichen Antriebssträngen auf Basis eines Verbrennungsmotors besitzen Elektrofahrzeuge vielfältige konzeptionelle Freiheiten in der Produkt- und Funktionsstruktur. Der elektrische Antriebsstrang besteht aus sehr viel weniger Komponenten, die jeweils eine geringere technische Kompliziertheit aufweisen. Die geringere Anzahl mechanischer Schnittstellen zur Kraftübertragung im Vergleich zu einem herkömmlichen Antriebsstrang ermöglichen Freiheitsgrade in der Anordnung der Komponenten innerhalb der Fahrzeugstruktur, wodurch ein einfacher Zugang zu potenziellen Remanufacturing-Modulen bereits auf konzeptioneller Ebene ermöglicht werden kann. Aus der geringeren Anzahl an Komponenten folgt ein geringerer Aufwand in der Demontage, Aufbereitung und Remontage eines Elektrofahrzeugs.

Die Freiheit im Packaging des elektrischen Antriebsstrangs ermöglicht weiter eine konzeptionelle Trennung des Antriebs- und Fahrwerksmoduls von der Fahrgastzelle, wie dies in aktuellen Fahrzeugkonzepten bereits umgesetzt wird. Beide Module unterscheiden sich in den Anforderungen an das Remanufacturing. Während Ersteres vor allem durch den Fahrzeugbetrieb entstehenden Verschleiß für das Remanufacturing relevant ist, ist innerhalb der Fahrgastzelle die Aktualisierung des Designs hervorzuheben. Entsprechend ließen sich optimierte Remanufacturing-Prozesse für die spezifischen Anforderungen gestalten.

Weiter ermöglichen die Verschleißigenschaften der mechanischen beanspruchten Komponenten eine längere Nutzung des Kernproduktes in der Elektromobilität. Verschleißteile des Verbrennungsmotors wie sämtliche Filter, Riemen, Zündkerzen oder auch Betriebsflüssigkeiten entfallen beim elektrischen Antrieb prinzipbedingt und senken so die Betriebs- und Instandhaltungskosten während der Lebensdauer. Auch Teile wie thermisch belastete Kunststoffe in der Nähe des Verbrennungsmotors oder dessen Abgasanlage, die nicht unmittelbar zum Antrieb zählen, werden entlastet. Ähnliches gilt für die Lebensdauer des Getriebes, das auf eine beschränkte Fahrleistung ausgelegt ist. Im Gegensatz dazu ist die reibungslose Funktionsweise eines Elektromotors zumindest theoretisch verschleißfrei. Die Komponenten des Hochvoltboardnetzes sind mit Ausnahme der Batterie bei geeigneter Auslegung ebenfalls kaum durch Verschleiß beansprucht. Durch die Lastaufnahme des Elektromotors bei der Bremsenergieerückgewinnung nimmt die Beanspruchung der Bremsscheiben und Bremsbeläge ab.

Der vermehrte Einsatz von Leichtbauelementen in Strukturbauteilen zur Relativierung des hohen Batteriegewichts und Steigerung der Reichweite in Elektrofahrzeugen ist ein weiterer Treiber für das Remanufacturing. Leichtbau basiert unter anderem auf Verwendung von teuren Verbundmaterialien oder hybriden Werkstoffen, deren Recyclingprozess wiederum sehr aufwendig und damit kostenintensiv ist. Gleichzeitig haben insbesondere Verbundmaterialien eine sehr hohe Lebensdauer, da eine geringere Anfälligkeit für Korrosion besteht. Demzufolge eignet sich die Leichtbauweise vor allem auf Basis von Verbundmaterialien für den Einsatz innerhalb einer langlebigen Fahrzeugstruktur.

Neben den spezifischen Komponenten des elektrischen Antriebsstrangs sind die allgemeinen Trends innerhalb der Automobilindustrie ein Treiber für das Remanufacturing zur Erweiterung der Funktionalitäten. Insbesondere Entwicklungen im Bereich der Fahrerassistenzsysteme sowie Konnektivitätstechnologien zur Kommunikation der Fahrzeuge untereinander sowie mit der Verkehrsinfrastruktur lassen auf zeitnahe disruptive Technologiewechsel schließen. Fahrzeuge ohne entsprechende Technik sind dadurch schnell veraltet und verlieren ohne entsprechende Möglichkeiten zur Nachrüstung rapide ihren Kundenwert.

## V. FORSCHUNGSBEDARF

### A. Produkt- und Prozessgestaltung

Die Einhaltung von Gestaltungsprinzipien einer für den Remanufacturing-Prozess optimierten Produktarchitektur und Schnittstellengestaltung ist die Voraussetzung zur Befähigung des Remanufacturing, ohne die am Ende der Nutzungsphase meist nur die Weiternutzung der Werkstoffe durch Recycling möglich ist. Ziel ist die Befähigung von kontinuierlichen Updates der Fahrzeugfunktionen und die Behebung von Fehlfunktionen, vergleichbar mit Softwareupdates, die eine kontinuierliche Pflege und Weiterentwicklung des Produkts ermöglichen.

Voraussetzungen für das Remanufacturing ist ein modularer Aufbau des Fahrzeuges mit standardisierten Schnittstellen, die für die Integration von technologischen Weiterentwicklungen ausgelegt sind und dadurch Technologiesprünge innerhalb der für das Remanufacturing vorgesehenen Module. Die Module sind im Idealfall voneinander abgegrenzte Einheiten mit unabhängiger Funktions- und Produktstruktur, die sich beliebig untereinander zusammenstellen und erweitern lassen. Nur eine holistische Konzipierung von Hardware und Boardnetz ermöglicht den Austausch von funktionalen Modulen innerhalb der Fahrzeugarchitektur.

Die Gestaltung der Modulschnittstellen erfordert die Berücksichtigung eigener Grundsätze. Da die Demontage nicht der spiegelbildliche Ablauf der Montage ist, ist eine demontagegerechte Produktgestaltung unerlässlich. Darüber hinaus müssen die weiteren Prozessschritte des Remanufacturing, Säuberung, Aufbereitung und Qualitätsprüfung in der Produktgestaltung Berücksichtigung finden. Die Verkettung der Remanufacturing-Technologien ist die Basis für die Ausdetaillierung von Gestaltungsrichtlinien und muss für die einzelnen Module ausdetailliert werden. Viele der in der Fahrzeugmontage eingesetzten Fügeverfahren, wie Klebeverfahren, Clipse oder einige Arten von Schrauben können in der Demontage und nachfolgenden Remontage zu erheblichen Herausforderungen führen und den Einsatz von aufwendigen Fertigungstechnologien nötig machen.

Um darüber hinaus bereits in der Produktion das Potenzial des Remanufacturing auszuschöpfen, kann bei der Auslegung der Module bereits die Nutzungsdauer Berücksichtigung finden. Das Kernprodukt wird entsprechend auf eine Lebensdauer ausgelegt, die über die normale Nutzungsdauer des Produkts erheblich hinausgeht. Dadurch wird sichergestellt,

dass zum einen im Kernprodukt das für das Remanufacturing benötigte Qualitätsniveau erhalten bleibt und zum anderen der Aufwand der Aufbereitung nach der Demontage gering bleibt. Die Module, für die sich der Bedarf nach einem Komponententausch antizipieren lässt, können für eine sehr viel geringere Lebensdauer entworfen werden. Eine solche geplante Obsoleszenz innerhalb der Module führt zur Einsparung der Herstellkosten in der Modulfertigung, da geringe Anforderungen umgesetzt werden müssen. Beispielsweise spielt die Robustheit gegenüber Lackschäden in den Außenhautkomponenten eine geringere Rolle, wenn diese aufgrund von Designupdates nach wenigen Jahren getauscht werden können, wohingegen der Korrosionsschutz der Karosseriestruktur eine noch höhere Priorität erhält.

Welche der potenziell remanufacturingfähigen Fahrzeugmodule jedoch tatsächlich für den Kunden einen Nutzen darstellen, muss sich in der Produkt- und Prozessgestaltung wieder spiegeln. Unter Berücksichtigung der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten muss die Zuschneidung der Remanufacturing-Modulen einen erkennbaren Mehrwert beim Nutzer erzielen. Je nach Anwendungsszenario und Zielgruppe ändert sich die Perspektive hinsichtlich des Remanufacturing-Bedarfs.

### B. Geschäftsmodelle

Während klassische After-Sales Aktivitäten durch viele Anbieter am Markt durchgeführt werden können, ermöglichen Produktupdates eine neue Form der Kundenbindung an den Hersteller. Der simple Austausch von Komponenten kann durch andere Unternehmen durchgeführt werden, der Zugriff auf die Steuerungssoftware bleibt dem OEM vorbehalten. Insbesondere Funktionen, die aufgrund der hohen Innovationsgeschwindigkeit von technischem Fortschritt gekennzeichnet sind, benötigen neben neuer Hardware ebenso ein Update der Steuerungssoftware.

Durch den Rückfluss und die Qualitätsprüfungen der gebrauchten Fahrzeuge erhalten die OEM neue Einblicke in das Anforderungsprofil der Kunden. Über Verschleißmerkmale lassen sich Erkenntnisse generieren, die sich in der Gestaltung der Fahrzeuge unmittelbar umsetzen lassen. Darüber hinaus entsteht ein sehr detailliertes Bild über die Kundenanforderungen zum einen durch das Nutzungsverhalten und zum anderen über die Wünsche hinsichtlich der Erweiterung der Produktfunktionen. Unter Berücksichtigung der Möglichkeit per Fernwartung auf die Fahrzeugdaten und damit die Verschleißparameter zuzugreifen, können die OEM den Remanufacturing-Bedarf laufend ermitteln. Ähnlich der prädiktiven Instandhaltung von Werkzeugmaschinen oder Produktionsanlagen werden die Fahrzeuge mithilfe einer im Fahrzeug eingebauten Car2Cloud-Box technisch überwacht. Dies ermöglicht die vorausschauende Planung der Produktionskapazitäten sowie das frühzeitige Auslösen von Bestellungen für benötigtes Material. Weiter kann eine genaue Abschätzung der Aufwände innerhalb des Remanufacturing-Prozesses durch die Reduzierung der Ungewissheit über den Qualitätszustand des Fahrzeugs ermöglicht werden.

Die Funktionsupdates innerhalb des Fahrzeugs ermöglichen den Fahrzeugherstellern regelmäßige technologische Weiterentwicklungen auf den Markt zu bringen und darüber die Releasefrequenz von Innovationen im Vergleich zum Status quo deutlich zu erhöhen. In derzeitigen Produkt- und Produktionskonzepten der Automobilindustrie ist die Integration von neuartigen Technologien nur über aufwendige Facelifts oder lediglich in neuen Produktgenerationen möglich. Insbesondere die wachsende Bedeutung der Informations- und Kommunikationstechnologie macht jedoch eine kürzere Reaktionszeit nötig, um an dessen Marktpotenzial partizipieren zu können. Im Zuge dessen ermöglicht das Remanufacturing dem Kunden die Produktindividualisierung über die Auswahl der für das Nutzungsszenario passenden Konfiguration der Produktupdates. Hier besteht ebenso erhebliches Marktpotenzial.

### C. Fazit

Elektrofahrzeuge bieten konzeptionelle Freiheitsgrade, die auf eine große Remanufacturing-Eignung schließen lassen. Remanufacturing in der Elektromobilität birgt großes ökonomisches und ökologisches Potenzial. Allerdings existieren bislang keine Konzepte, die das Remanufacturing auf der Gesamtfahrzeugebene befähigen.

Der zielführende Aufbau einer Fahrzeugarchitektur aus einem Kernprodukt und Remanufacturing-Modulen muss einerseits durch die technische Machbarkeit und andererseits durch einen gestiegenen Kundennutzen des Remanufacturings begründet sein. Die produkt- und produktionsseitige Realisierung basiert auf der Generierung von wirtschaftlichen Remanufacturing-Technologieketten, von denen sich Gestaltungsrichtlinien für Remanufacturing-Schnittstellen ableiten. Die Modularisierung der Fahrzeuge muss auf Basis der Analyse des Kundenwerts und der Kundenakzeptanz von Remanufacturing-Produkten in der Elektromobilität erfolgen. Aufgrund des neuartigen Leistungsangebots durch das Remanufacturing im Bereich der Automobilproduktion kann bislang jedoch auf keine vergleichbare Untersuchung referenziert werden. In der Beantwortung dieser sozio-technischen Fragestellungen besteht derzeit die große Herausforderung.

## VI. REFERENCES

[1] F. Läßle, Abfall- und kreislaufwirtschaftlicher Transformationsprozess in Deutschland und China: Analyse – Vergleich – Übertragbarkeit, Dissertation, Uni Heidelberg, 2007.

[2] Umweltbundesamt, „Emissionsquellen“, 10 Januar 2016. [Online]. Available: [http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen)

[energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen](http://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen). [Zugriff am 29.02.2016].

[3] Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz, Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau (Hrsg.), Kreislaufwirtschaftsland Rheinland-Pfalz Mainz: 2008

[4] Remanufacturing Industries Council, „What is Remanufacturing?“ 2016, [Online]. Available: <http://remancouncil.org/>. [Zugriff am 29.02.2016].

[5] D. Parker, K. Riley, S. Robinson, H Symington, J. Tewson, K. Jansson, S. Ramkumar, D. Peck, Remanufacturing Market Study, November 2015.

[6] All-Party Parliamentary Sustainable Resource Group (Hrsg.), Triple Win. The Social, Economic and Environmental Case for Remanufacturing. London: Policy Connect, 2014.

[7] R. Steinhilper, F. Weiland: “Exploring New Horizons for Remanufacturing an Up-to-date Overview of Industries, Products and Technologies” *Procedia CIRP*, vol. 29, pp. 769-773, 21 May 2015.

[8] D. Martin, M. Treiber, „Sind Elektroautos wirklich umweltfreundlich?“, *Verkehrswissenschaftliche Tage 2014*, Dresden, 20 & 21 March 2014.

[9] K. Qingdi, Z. Hong-chao, L. Guangfu, L. Bingbing Li, “Remanufacturing Engineering. Literature Overview and Future Research Needs”, *Globalize Solutions for Sustainability in Manufacturing* J. Hesselbach, C. Herrmann, Hrsg. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011, pp. 437-442.

[10] W. Kerr, C. Ryan, “Eco-efficiency gains from remanufacturing: A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia.” *Journal of Cleaner Production*, vol. 9, pp. 75-81, 2001.

[11] Caterpillar, Inc., “Cat Reman”. [Online]. Available: <http://www.caterpillar.com/de/company/brands/cat-reman.html>. [Zugriff am 29.02.2016].

[12] Caterpillar, Inc. “Generalüberholung (Remanufacturing)”. [Online]. Available:<http://www.caterpillar.com/de/company/sustainability/remanufacturing.html>. [Zugriff am 29.02.2016].

[13] Daimler AG, „Nachhaltigkeitsbericht 2014“, 2014.

[14] Tesla Motors, Inc. „Software-Updates“, 2016. [Online]. Available: [https://www.teslamotors.com/de\\_DE/support/software-updates](https://www.teslamotors.com/de_DE/support/software-updates). [Zugriff am 29.02.2016].

[15] M. Lage jr., M. G. Filho, “Production planning and control for remanufacturing – literature review and analysis” *Production planning and control*, vol. 23, pp. 419-435, 2012.

[16] J. Östlin, E. Sundin, M. Björkman, “Product Lifecycle Implications for Remanufacturing Strategies” *Journal of Cleaner Production*, vol. 17, pp. 999-1009, 2009.

[17] E. Sundin, Erik, Product and Process Design for Successful Remanufacturing, Dissertation, Linköpings Universitet, 2004.

[18] pv magazine, „Batteriepreise purzeln weiter“, 27. Oktober 2015. [Online]. Available: [http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/batteriepreise-purzeln-weiter\\_100020916/](http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/batteriepreise-purzeln-weiter_100020916/). [Zugriff am 29.02.2016].

[19] Nissan Motor Co., Ltd., „Innovative Modelle für die Anschaffung des Nissan Leaf“. [Online]. Available: <http://www.nissan.de/DE/de/vehicle/electric-vehicles/leaf/prices-and-equipment/how-to-buy-my-leaf.html>, [Zugriff am 29.02.2016].

[20] Walz, J.-D., „Eektroautos – Batterie mit Köpfchen“, Forschung Kompakt, Fraunhofer Gesellschaft, Hrsg., vol. 12, 2015.

[21] VDE, Zweites Leben für Elektroauto-Akkupack, 16 February 2016.