

# Circular E-Cars – Kreislaufkonzepte für die Mobilität der Zukunft

*Philipp Dräger (RWTH Aachen), Prof. Dr. Bernd Friedrich (RWTH Aachen), Dominik Joest (RWTH Aachen), Prof. Dr. Achim Kampker (RWTH Aachen), Kim Kreisköther (RWTH Aachen), Damien Latacz (RWTH Aachen), Prof. Dr. Peter Letmathe (RWTH Aachen), Paul Sabarny (RWTH Aachen), Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer (RWTH Aachen)*

## Inhalt

|   |   |
|---|---|
| Inhalt.....   | I |
| 1 Einführung.....                                       | 2 |
| 2 Das Re <sup>6</sup> -Konzept für Circular E-Cars..... | 3 |
| 3 Finanzielle Anreizsysteme zur Zielerreichung.....     | 4 |
| 4 Regionales Anwendungsszenario.....                    | 7 |
| 5 Ausblick.....   | 9 |
| 6 Literatur.....  | 9 |

## 1 Einführung

In den nächsten Jahren wird ein massiver Zuwachs von Elektrofahrzeugen auf den Straßen erwartet. 2018 wurden weltweit erstmals mehr als 2 Millionen Elektroautos zugelassen, bis zum Jahr 2030 wird mit insgesamt 30 Millionen Fahrzeugen gerechnet.<sup>1</sup>

Der Siegeszug der Elektromobilität wird jedoch nicht nur disruptive Änderungen für die Mobilität mit sich bringen, sondern auch die stofflichen Kreisläufe und deren Umweltauswirkungen massiv beeinflussen.<sup>2</sup> Besonders der Bedarf, der Zugang und die Nutzung von kritischen und wirtschaftsstrategischen Rohstoffen stellt eine zentrale Herausforderung dar, welche sich auf die wirtschaftliche und technologische Versorgungssicherheit von Europa auswirkt.<sup>3</sup> Rohstoffe wie Lithium, Kobalt oder Nickel, die zur Herstellung der Batterien benötigt werden, werden mit steigender Preistendenz unter umwelt- und sozialpolitisch schwierigen Verhältnissen beschafft.<sup>4</sup> Ein bedeutendes Rohstofflager, das dem entgegenwirken kann, wird bisher jedoch unzureichend genutzt: Die Wiederverwendung und das Recycling von gebrauchten Elektrofahrzeugen. Unter bisherigen Bedingungen erweist sich dies als nicht wirtschaftlich, da die notwendige und genaue Klassifizierung des Zustands der Komponenten nicht vorgenommen wird und daher erhebliche Wertverluste entstehen. In dem Zusammenhang stellt die Batterie ein wesentliches Problem dar, da sie weiterhin die teuerste Komponente des Fahrzeugs ist und bisher nur unzureichend und kostenintensiv recycelt werden kann.<sup>5</sup> Um dem entgegenzuwirken, darf das Elektrofahrzeug nicht nur als Gesamtsystem betrachtet werden, sondern muss modul- bzw. komponentenbezogen bewertet werden. Neben den technologischen Herausforderungen sind hierbei auch die betriebswirtschaftlichen sowie gesellschaftlichen Herausforderungen nicht zu vernachlässigen. Konzepte, die in der Vergangenheit entwickelt wurden, scheiterten oftmals in der Umsetzung an fehlenden ökonomischen Anreizmechanismen. Die Forschungsfrage, die es im Rahmen dieses Beitrags zu beantworten gilt, lautet daher: „Wie kann bei zukünftigen Elektrofahrzeugen und den darin enthaltenen Modulen und Komponenten, die sich am Ende ihrer Nutzungsphase befinden, ein größtmöglicher Werterhalt sichergestellt werden?“

Der vorliegende Beitrag ist wie folgt aufgebaut: im nächsten Abschnitt wird mit dem **Re**<sup>6</sup> - Konzept das Werterhaltungskonzept für kreislauffähige Elektroautos beschrieben. Daran anschließend werden im Abschnitt 3 finanzielle Anreize beschrieben, mit denen ökonomisch ein solches Wertkonzept zu rechtfertigen und umzusetzen ist. In Kapitel 4 wird beispielhaft beschrieben, wie ein implementiertes **Re**<sup>6</sup> - Konzept aussehen könnte und in Kapitel 5 wird ein Ausblick gewagt, wie die Politik hierbei unterstützen kann.

---

<sup>1</sup> Vgl. IEA (2019); Menzel, S. (2019).

<sup>2</sup> Vgl. Letmathe, P. et al. (2020).

<sup>3</sup> Vgl. BMWI (2019).

<sup>4</sup> Vgl. Statista (2019).

<sup>5</sup> Vgl. Skeete, J. P. et al. (2019).

## 2 Das Re<sup>6</sup>-Konzept für Circular E-Cars

Werterhalt im Sinne des **Re<sup>6</sup>**-Konzepts bedeutet, möglichst lange ein Produktsystem sowie seine Subsysteme im Wirtschaftskreislauf zu erhalten und auf jeder Stufe zu prüfen, ob ein Downcycling unvermeidbar ist. Downcycling bedeutet hierbei, dass ein Produkt nicht mehr in seinem ursprünglich ange-dachten Nutzungsbereich verwendet werden kann, sondern in ein Produkt oder eine Wertschöpfungskette mit einem niedrigeren Wert integriert wird.

Im bisher gängigen Zwei-Stufenprinzip steht vor allem maschinelles Schreddern im Vordergrund. Hierbei werden zwar ausgewählte Materialien wie Stahl und Buntmetalle zurückgewonnen, andere Komponenten wie Textilien, Glas, Kunststoffe, Verbundwerkstoffe (bspw. CFK) und Traktionsbatterien unterliegen aber größtenteils starkem Downcycling. Um die Energie- und Umweltbilanz der Altfahrzeuge zu verbessern und den Wert möglichst lange zu erhalten, werden die Systeme, Subsysteme, Komponenten und Rohstoffe im **Re<sup>6</sup>**-Ansatz so früh wie möglich mit so wenig Aufarbeitung wie möglich wiedereingesetzt (siehe Abbildung 1):

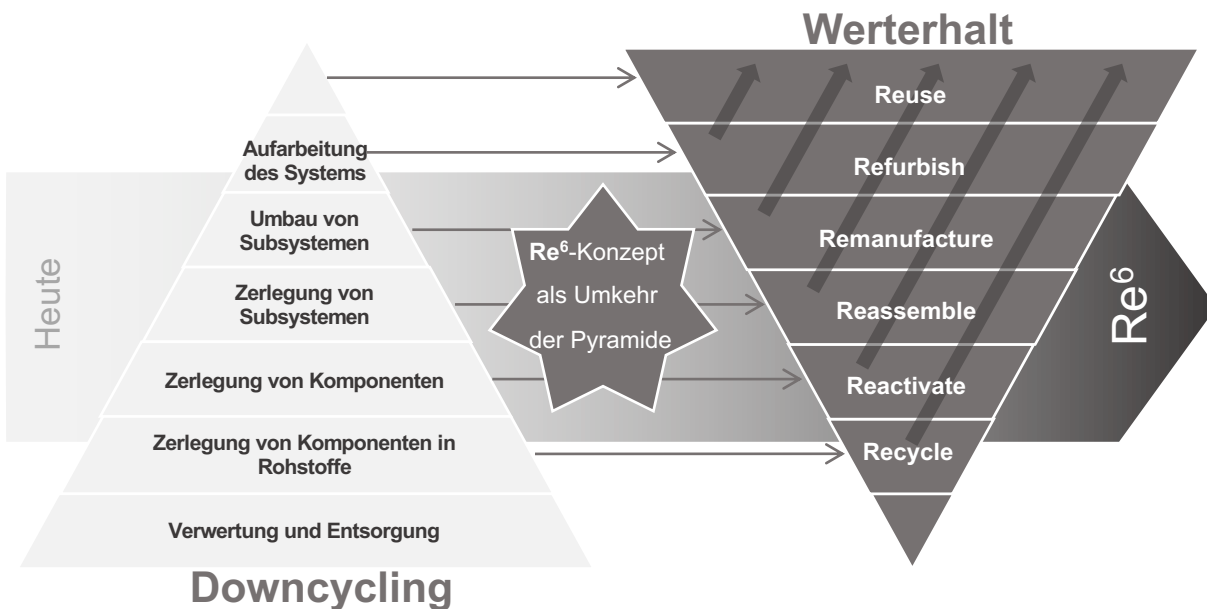


Abbildung 1: Das **Re<sup>6</sup>**-Konzept von Circular E-Cars.

Die meisten Fahrzeuge bzw. deren Komponenten befinden sich selbst nach der durchschnittlichen Nutzungsdauer von 9,2 Jahren noch in einem brauchbaren Zustand.<sup>6</sup> Ein sofortiger Wiedereinsatz des Fahrzeugs in seiner Gesamtheit stellt dabei den höchsten Werterhalt dar (**Reuse**). Die direkte Wiederverwendung der einzelnen Fahrzeugteile und -komponenten sichert einen Werterhalt auf hohem Niveau sowie eine Energiebilanzverbesserung der gesamten Wertschöpfungskette.<sup>7</sup>

Ist dies nicht möglich, werden anhand einer gezielten Analyse die aufzubereitenden Module oder Komponenten, bspw. der elektrische Antriebsstrang, ausgetauscht oder repariert (**Refurbish**). Durch eine

<sup>6</sup> Vgl. Kraftfahrtbundesamt (KBA) (2019).

<sup>7</sup> Vgl. Kampker, A. et al. (2019); Harper, G. et al. (2019).

Neubewertung wird ein Wiedereinsatz in der ursprünglichen oder einer alternativen Anwendung angestrebt (**Re manufacture**). Die Zerlegung von Modulen in ihre einzelnen Komponenten, z.B. einer Batteriezelle, ermöglicht eine zerstörungsfreie Freilegung der Komponenten. Die direkt wiederwendbaren Komponenten können zur Bildung neuer Module genutzt werden (**Re assemble**). Die Komponenten, für die das nicht möglich ist, werden in funktionalen Einheiten aufgeteilt und können für weitere Komponentenherstellung verwendet werden (**Re activate**). Beispielsweise können nicht direkt wiederverwendete Batteriezellen zerlegt und die Elektrodenmaterialien für den Bau neuer Batteriezellen genutzt werden. Als letzte Möglichkeit wird die Zerlegung auf Rohstoffebene mit neuartigen und verbesserten Recyclingverfahren vorgenommen (**Re cycling**).

Für diesen Werterhaltungsansatz ist die ökonomische Ermittlung des tatsächlichen Werts des Elektrofahrzeugs und seiner Komponenten von entscheidender Bedeutung. Ein zu hoch kalkulierter Wert kann dazu führen, dass die wiedereingesetzten Produkte nicht am Markt akzeptiert werden. Ein zu geringer Wert ist oftmals noch problematischer: In einem solchen Fall kommt es vor, dass wirtschaftliche Akteure der Wertschöpfungskette nicht in der Lage sind, kosteneffizient am Prozess teilzunehmen und sich daher aus ökonomischer Sicht gegen eine Teilnahme entscheiden. Wenn keine Verteilungsmechanismen der Gewinne innerhalb der Wertschöpfungskette existieren, führt dies dazu, dass das Zusammenwirken zirkulären Netzwerken bereits im Keim erstickt wird.

### 3 Finanzielle Anreizsysteme zur Zielerreichung

Zur erfolgreichen Implementierung des **Re**<sup>6</sup>-Konzepts kommen finanziellen Anreizsystemen eine besondere Bedeutung zu. Allerdings muss, anders als bei bisherigen Ansätzen, nicht nur das Gesamtfahrzeug als System betrachtet werden, sondern gemäß der **Re**<sup>6</sup>-Systematik auch den jeweiligen Modulen und Komponenten ein eigener Wert zugeordnet werden. Dies ist wichtig, da sich die Wertveränderungen dieser Subsysteme nach der ersten Nutzungsphase gegebenenfalls unterscheiden. So verliert beispielsweise eine Batterie in den ersten Jahren ihrer Nutzung stärker an Wert als die Karosserie.<sup>8</sup> Zur Wertermittlung müssen außerdem die zusätzlich anfallenden Kosten berücksichtigt werden. Zum Beispiel entstehen nach der Rücknahme Prüfkosten, um die Qualität des Rücklaufstroms zu überprüfen sowie daran anschließend Kosten für die Demontage. Weitere Kosten entstehen für das Sortieren, die Aufbereitung oder den Transport. Auch auf der Kostenseite ist eine individuelle Bewertung notwendig, da gerade in Bezug auf die Trennbarkeit enorme Differenzen zwischen den Subsystemen auftreten können. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass die Summe des Wertes aller Subsysteme nicht notwendigerweise dem Restwert des Gesamtfahrzeugs entsprechen muss. Zur Umsetzung dieser wertmäßigen Betrachtung werden finanzielle Modelle und Anreizsysteme an Bedeutung gewinnen, die eine Kreislaufführung unterstützen:

---

<sup>8</sup> Vgl. Skeete, J. P. et al. (2019); greencarreports (2019).

- **Ownershipmodelle:** Modelle, die die Nutzung von Produkten in den Vordergrund rücken anstelle des Besitzes dieser in den Vordergrund rücken sind häufig diskutierte Ansätze, um eine Kreislaufführung zu unterstützen.<sup>9</sup> Umgesetzt werden sie beispielsweise durch ein effizientes Leasingmodell, bei dem die Hersteller Eigentümer von werthaltigen Komponenten bleiben und von den Komponenten nach Ende der Nutzungsphase direkt profitieren können. Dabei muss nicht notwendigerweise festgelegt werden, dass die Hersteller ihre Fahrzeuge selbst zurückführen oder dass die Kreislaufführung und Werterhaltung über spezialisierte Rückführlogistiken sichergestellt werden kann.
- **Design for Recycling:** Um den maximalen Werterhalt erzielen zu können, sollte das Elektrofahrzeug, aber auch seine Module und Komponenten, bereits für eine Kreislaufführung konzipiert werden. Allerdings sollte nicht nur die technologische Kreislaufführung berücksichtigt werden, sondern auch die ökologische, bspw. durch die Substitution von für die Umwelt schädlichen Stoffen. Hierfür ist ein Paradigmenwechsel nötig, da die Hersteller bisher kaum von hochwertigen und ökologisch sinnvollen Komponentenlösungen profitieren. In der aktuellen Praxis würden ihnen in der Produktentwicklungsphase höhere Kosten entstehen, denen keine entsprechenden Erlöse gegenüberstehen. Anreize können Herstellern geboten werden, indem sie von den Wiederverwendungs- und Entsorgungserlösen nach der (ersten) Nutzungsphase profitieren.
- **Rücklaufquoten:** Ein weiterer wesentlicher Aspekt besteht in einer hohen Rücklaufquote. Diese ist insofern relevant, als dass zirkuläre Werterhaltung nur funktioniert, solange alle Beteiligten des Werterhaltungskreislaufs einen ökonomischen Nutzen haben. Bei dem Rücklauf bestehen allerdings substanzielle Unsicherheiten, denen mit zielgerichteten Anreizen entgegengewirkt werden kann. Unsicherheiten bestehen für Unternehmen in der Rücklauflogistik besonders in der Menge, der Qualität, dem Zeitpunkt sowie dem Preis des Rücklaufstroms, was die Prüf- und Verwertungskosten entscheidend beeinflussen kann.<sup>10</sup> Beispielhaft haben Konzeptstudien bereits gezeigt, dass Rücklaufsysteme für die Produktion von Türverkleidungen in der Wirtschaftlichkeit entscheidend von der Rücklaufquote sowie den Prüfkosten abhängen. Dabei wurden herkömmliche Faserverbundmaterialien mit rezyklierten PET-Materialien verglichen, die erst durch eine Rücknahmelogistik wirtschaftlicher wurden.<sup>11</sup> In der Abbildung 2 ist ein typologischer Zusammenhang zwischen der Rücklaufquote und den Prüf- und Sortierkosten dargestellt. Die Kurve zeigt hierbei die Indifferenzkurve, um zwischen der Verwendung von herkömmlichen Materialien und rezyklierbaren Materialien zu wählen. Hierbei ist zu erkennen, dass bei steigenden Prüf- und Sortierkosten eine höhere Rücklaufquote benötigt wird, um wirtschaftlich zu handeln. Aus dem Zusammenhang ergeben sich die beiden Handlungsrichtungen, zum einen die Rücklaufquote zu erhöhen – z.B. durch politisch induzierte Rücknahmeverpflichtungen – und zum anderen die Prüf-

---

<sup>9</sup> Vgl. Giordano, V.; Fulli, G. (2012).

<sup>10</sup> Vgl. Letmathe (2005).

<sup>11</sup> Vgl. Letmathe (2005).

und Sortierkosten bspw. durch neue Verfahren, Produkte und Prozesse soweit möglich zu senken.

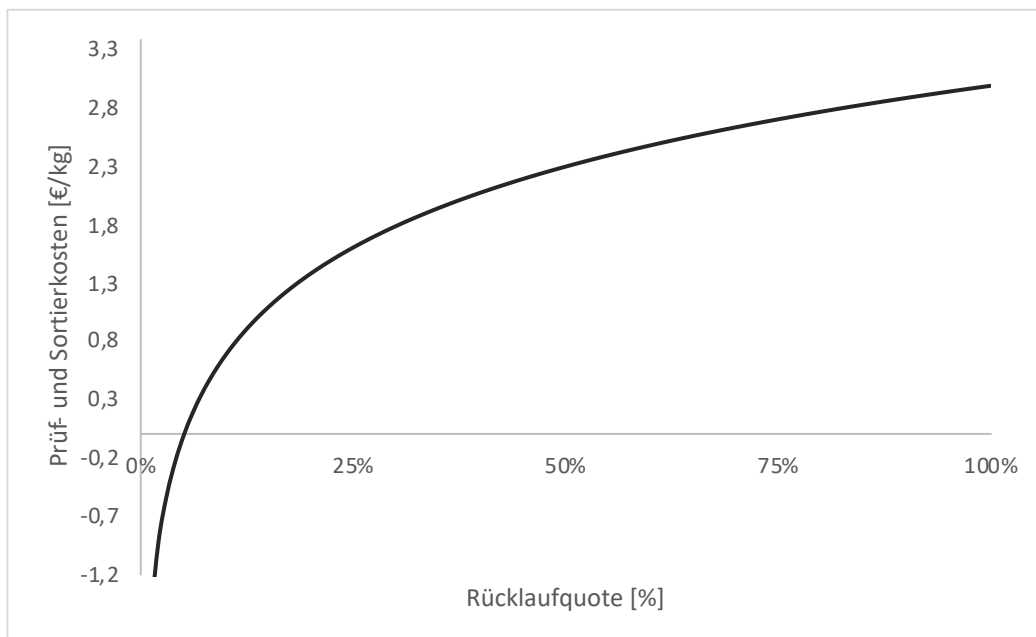


Abbildung 2: Typologischer Zusammenhang von Rücklaufquote sowie von Prüf- und Sortierkosten.

- Erweiterte Nutzerverantwortung:** Die bereits beschriebenen Ownershipmodelle müssen nicht zwangsläufig bedeuten, dass die Verantwortung der Rückführung allein den Herstellern zukommt. Genauso kann es möglich sein, den Nutzern des Fahrzeugs eine Rückführung nach Ende des Lebenszyklus aufzuerlegen. Hierbei sind sowohl Rückgabepremien denkbar als auch Rabatte beim Erwerb des Fahrzeugs, die mit einer Rückgabeverpflichtung verbunden sind. Solche Verpflichtungen können bspw. im Fahrzeugbrief vermerkt werden, um eine sachgerechte Rückführung der Komponenten zu gewährleisten. Dies bringt gleich zwei Vorteile: Zum einen kann am Ende der Nutzungsphase(n) überprüft werden, welche Module und Komponenten im Fahrzeug in der Herstellung oder während der Nutzungsphase verbaut wurden und wie diese demontiert werden können. Zum anderen ist es damit möglich, die Verpflichtung bei mehreren Fahrzeugbesitzern oder einer Veränderung der Fahrzeugnutzung weiterzugeben und somit eine Art Handelsobjekt zu erzeugen.
- Nachhaltigkeitslabel:** Zusätzlich werden Label und Siegel, die den nachhaltigen Wert von Produkten und Komponenten widerspiegeln, immer relevanter für Unternehmen. Dabei geht es nicht nur um den Marketingeffekt, um nach außen als nachhaltiges Unternehmen zu erscheinen („Greenwashing“), sondern vielmehr auch um Anreizwirkungen nach innen.<sup>12</sup> Unternehmen, die konsequent in die Forschung und Entwicklung von nachhaltigen Produkten und Prozessen investieren und konsequent CSR-Guidelines berücksichtigen, begünstigen damit zusätzlich effiziente

<sup>12</sup> Vgl. Lyon, T.P.; Maxwell, J.W. (2011).

und auf die Nachhaltigkeit ihrer Produkte ausgerichtete Unternehmensprozesse.<sup>13</sup> Transparente und einheitliche Label und Siegel könnten Unternehmen hierbei unterstützen, sich an gesellschaftlich akzeptierten Standards zu orientieren. Allerdings muss auch bedacht werden, dass ein Übermaß an Labeln das Gegenteil bewirken und zu einer Nichtakzeptanz in der Gesellschaft führen kann.<sup>14</sup>

#### 4 Regionales Anwendungsszenario

Regionale Anwendungsszenarien können ganzheitliche Prozesse für eine Wiederverwendung von Elektrofahrzeugen mit optimalem Werterhalt gemäß dem **Re**<sup>6</sup> - Konzept begünstigen. Ein regionales Cluster macht in einem solchen Fall aus mehreren Gründen Sinn: Zum einen ist eine effiziente Rückführlogistik relevant für zirkuläre Werterhaltung. Durch das Zusammenspiel regional vernetzter Akteure kann die Komplexität der Rückführströme und deren Werterhaltung kosteneffizient gesteuert und insgesamt reduziert werden. Zum anderen hängt der Erfolg von einer gut abgestimmten Prozesskette ab, die in der Lage ist, die Demontage hochwertig umzusetzen und eine Bewertung der Systeme und Subsysteme zu ermöglichen. Dafür ist es nicht möglich, einzelne Prozessschritte getrennt voneinander zu betrachten, sondern es ist besonders wichtig, die Expertise verschiedener Disziplinen und Stakeholder miteinander zu vernetzen. Regionale Cluster können dabei hilfreich sein, die Innovationsaktivität gezielt zu fördern.<sup>15</sup> Hierbei ist einerseits die Ansiedlung neuer Unternehmen in der Region, andererseits aber auch das Bereitstellen relevanter Infrastruktur für ein regionales Cluster denkbar.<sup>16</sup> Relevante Stakeholder der Prozesskette, die sich am Ende der Wertschöpfungskette eines Elektromobils befinden umfassen bspw. Endkunden, Recycler/Entsorger, Werkstätten aber auch Städte und Kommunen und können wesentlich dazu beitragen, die Akzeptanz zirkulärer Werterhaltungsansätze zu steigern.

Beginnend mit dem Ende der Nutzungsphase des Elektrofahrzeugs wird dieses effizient an Sammelstellen abgegeben. Die Sammelstellen sind strategisch positioniert, sodass einerseits die Routen zu den Demontagezentren, andererseits die Erreichbarkeit für die Endnutzer gewährleistet ist. Der Besitzer des Fahrzeugs – in einem Herstellerleasingmodell bspw. der Hersteller – wird informiert, dass das Fahrzeug seinem Lebensende entgegengeht und eine Werteinschätzung vorgenommen wird. Hierzu werden die Fahrzeuge und ihre Komponenten einem ersten Screening unterzogen und daraufhin einer spezialisierten Demontage überführt. Anhand dieser Werteinschätzung erhält der Endbesitzer des Fahrzeugs eine finanzielle Kompensation, welche sich am Wert der Fahrzeugsysteme orientiert und den Aufwand zur Prüfung und Demontage berücksichtigt. Einer technologisch und logistisch optimierten Demontage kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, weil durch diese sichergestellt werden kann, dass die Prüfkosten der Rückführlogistik sowie der gesamte Werterhaltungsaufwand möglichst gering bleiben. Die Module, Komponenten und Materialfraktion bei Elektrofahrzeugen können wie folgt aufgeteilt werden:

---

<sup>13</sup> Vgl. Tang, Z.; Hull, C.E.; Rothenberg, S. (2012).

<sup>14</sup> Vgl. Enze et al. (2016).

<sup>15</sup> Vgl. Enright, M.J. (2000).

<sup>16</sup> Vgl. Bruns, K. (1997); Schwarz, E.J. (1994).

Elektronik, Karosserie und Metall, Kunststoff, Glas und Textilien. Mit Hilfe einer sensorgestützten Sortierung können die Einzelteile der jeweiligen Fraktion dem richtigen Prozessschritt mit dem Ziel der vollständigen Werterhaltung zugeordnet werden. Werterhaltenden Ansätzen auf hohem Niveau, die eine Wieder- und Weiterverwendung ermöglichen, kommen dabei eine hohe Bedeutung zu. Recycling, also die stoffliche Wiedergewinnung der Bauteile, ist daher häufig erst als letztmögliche Instanz der Rückgewinnung anzusehen. Somit kann es vorkommen, dass beispielsweise die Reifen in den Prozess des **Reuse** eingeordnet werden, da sie erst vor kurzem gewechselt wurden und ohne weitere Schritte wiederverwendet werden können. Teile, die diese höchste Einordnung erhalten, werden zudem durch ein Siegel „Refurbished E-Car“ gekennzeichnet, um ihren hohen Werteinsatz darzustellen. Die Elektronik kann hingegen zerlegt werden und deren Komponenten und Rohstoffe können im Weiteren wieder dem Stoffkreislauf als Ausgangsrohstoffe zugeführt werden. Durch die Rückführung in den Markt haben produzierende Unternehmen die Möglichkeit, zu Marktpreisen gleichwertige Sekundärrohstoffe, die sich jedoch bereits in einem anderen Produkt befanden, zu erwerben. Die Prozessschritte eines solchen zirkulären Ansatzes für Elektrofahrzeug sind exemplarisch in Abbildung 3 dargestellt:

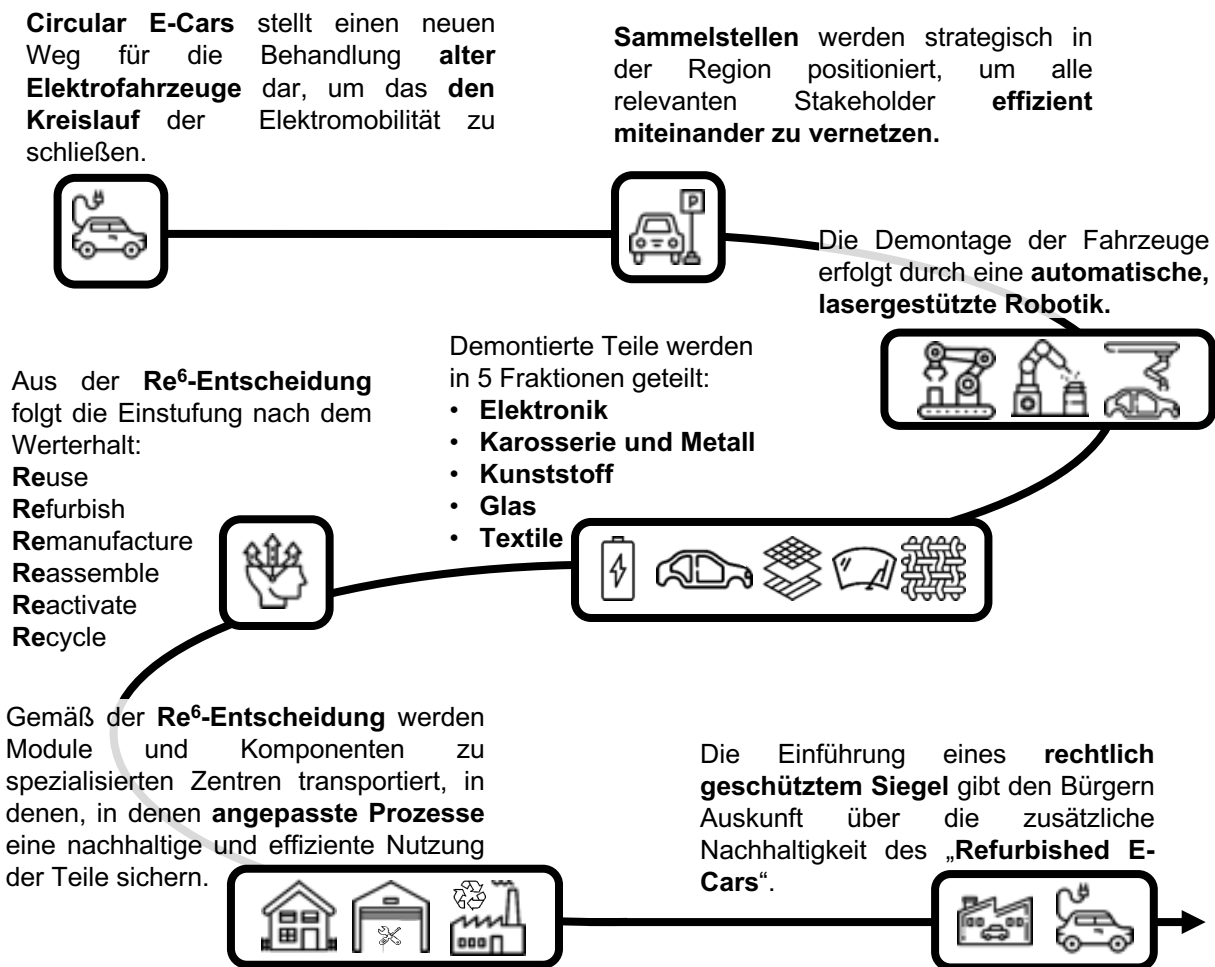


Abbildung 3: Clusterkonzept Circular E-Cars.



## 5 Ausblick

Wie aus dem Beitrag hervorgegangen ist, erfordert eine funktionierende zirkuläre Werterhaltung zur Wiederverwendung von Elektrofahrzeugen und seinen Komponenten innovative und interdisziplinäre Ansätze. Das Zusammenspiel aus technologischen Innovationen im Bereich der Prüfung, Demontage und Sortierung und finanziellen Anreizmechanismen muss dabei sichergestellt werden, um eine Überführung in die Praxis zu gewährleisten. Weiterhin ist das politische und soziale Klima relevant, mit dem die Verbraucher in die erforderlichen Prozesse der Kreislaufführung eingebunden werden. Die Politik sollte hierbei die notwendigen Rahmenbedingungen liefern, in denen sich die übrigen Stakeholder bewegen können. Eine erfolgreiche Umweltpolitik sollte zuerst Impulse zur Förderung von umweltfreundlicheren Materialalternativen sowie umweltfreundlichem Produktdesign geben, um die Voraussetzungen für eine wirtschaftliche und technologisch effiziente Kreislaufführung und Wertung zu schaffen. Des Weiteren kann und sollte die Politik unterstützend auf die Akzeptanz der Nutzer einwirken, dass wiederverwendete Produkte im Vergleich zu Neuprodukten wertgleich anzusehen sind wie Neuprodukte. Dies sollte über die Einbeziehung der Nutzer in den Entscheidungsfindungsprozess geschehen, aber auch durch einheitliche und transparente Vorgaben. Produktlabel und -siegel und damit einhergehende Tests und Verfahren der Qualitätssicherung sollten auf einfache Art kenntlich machen, dass die Qualität des Produkts bzw. wieder eingebrachter Module und Komponenten in keiner Weise beeinträchtigt ist und trotzdem einen ökologischen Vorteil gegenüber herkömmlichen (Neu-)Produkten realisiert werden kann. Der durch das **Re<sup>6</sup>**-Konzept aufgezeigte Handlungsrahmen bietet dabei viele Möglichkeiten, seinen Weg in die Anwendung zu finden. Durch den ganzheitlichen Ansatz ist es möglich, alle relevanten Stakeholder im Prozess aktiv einzubinden und zu adressieren. Zusätzlich sollte durch den Ansatz der Werterhaltung sichergestellt werden, dass alle wirtschaftlichen Akteure hiervon profitieren können und gemeinsam die Möglichkeiten ausschöpfen, die Ressourceneffizienz zu erhöhen und die Umweltbeeinträchtigungen von Elektrofahrzeugen und anderen Produkten bereits zu Beginn zu berücksichtigen und wirksam zu verringern.

## 6 Literatur

- BMW (2019): Rohstoffe – unverzichtbar für den Zukunftsstandort Deutschland, <https://www.bmw.de/Redaktion/DE/Dossier/rohstoffe-und-ressourcen.html>.
- Bruns, K. (1997): Analyse und Beurteilung von Entsorgungslogistiksystemen. Gabler Edition Wissenschaft.
- Enright, M. J. (2000): Regional clusters and multinational enterprises: independence, dependence, or interdependence?. In: *International Studies of Management & Organization*, 30(2), 114-138.
- Enste D.; Ewers, M.; Heldman, C.; Schneider R. (2016): Verbraucherschutz und Verhaltensökonomik: Zur Psychologie von Vertrauen und Kontrolle. In: *IW-Analysen*, Nr. 106, 2016.
- Giordano, V.; Fulli, G. (2012): A business case for Smart Grid technologies: A systemic perspective. In: *Energy Policy Volume 40, January 2012, Pages 252-259*.
- Greencarreports (2019): Beyond Tesla, electric cars lose value faster than other vehicles. [https://www.greencarreports.com/news/1123583\\_beyond-tesla-electric-cars-lose-value-faster-than-other-vehicles](https://www.greencarreports.com/news/1123583_beyond-tesla-electric-cars-lose-value-faster-than-other-vehicles).

- Harper, G.; Sommerville, R.; Kendrick, E.; Driscoll, L.; Slater, P.; Stolkin, R.; Walton, A.; Christensen, P.; Heidrich, O.; Lambert, S.; Abbott, A.; Ryder, K.; Gaines, L.; Abbott, A. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. In: *Nature*, 575(7781), 75-86.
- IEA (2019): Global EV Outlook 2019, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>.
- Kampker, A.; Wessel, S.; Fiedler, F.; Maltoni, F. (2019): Process for Battery Pack Remanufacturing up to the Cell Level as well as Sorting and Repurposing of Battery Cells, In: *Journal of Remanufacturing*.
- Kraft Bundesamt (KBA) (2019): Steigendes Durchschnittsalter bei den Personenkraftwagen; [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/fahrzeug-alter\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Fahrzeugalter/fahrzeug-alter_node.html).
- Letmathe, P.; Friedrich, B.; Kampker, A., Sauer, U. (2020): Elektroautos als Teil der Circular Economy: Tradeoffs und Werttreiber. In: *Recycling- und Sekundärrohstoffe, Band 13*.
- Letmathe, P. (2005). Kostenrechnerische Implikationen für verschiedene Forschungsfelder der Reverse Logistics. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft, 2005, Special Issue 4*.
- Lyon, T.P.; Maxwell, J.W. (2011): Greenwash: Corporate Environmental Disclosure under Threat of Audit. In: *Journal of Economics & Management Strategy, Volume 20, Issue 1, Spring 2011, Pages 3-41*.
- Menzel, S. (2019): Deutschland überholt E-Mobilitäts-Vorreiter Norwegen, Handelsblatt, 16.Juli 2019. <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektromobilitaet-deutschland-ueberholt-e-mobilitaets-vorreiter-norwegen/24594580.html?ticket=ST-2563084-CvCwhPch4la74gu3MzSep2>.
- Schwarz, E.J. (1994): Unternehmensnetzwerke im Recycling-Bereich. Gabler Edition Wissenschaft.
- Statista (2019): <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/979746/umfrage/durchschnittlicher-preis-von-lithium-weltweit/>.
- Skeete, J. P., Heidrich, O., Rajaeifar, M., Hill, G., & Wells, P. (2019): Cars, EVs and battery recycling forecasts and economic models. In: *10th International Conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE2019)*.
- Tang, Z.; Hull, C.E.; Rothenberg, S. (2012): How Corporate Social Responsibility Engagement Strategy Moderates the CSR–Financial Performance Relationship. In: *Journal of Management Studies 49:7 November 2012, Pages 1274-1303*.