

## Electric Cars as Part of the Circular Economy: Tradeoffs and Value Drivers

Peter Letmathe, Bernd Friedrich, Achin Kampker and Uwe Sauer

This article addresses the material and use-related influencing factors of electric cars and shows their effects on their recycling. Electric cars as part of the circular economy require new technological approaches in order to maintain a high value of the components and materials. These approaches affect all life cycle phases of an electric car, from its design, production, useful lifetime to its re-use and recycling. The implementation of these new technologies will only be successful if the discussed economic influences on vehicle recycling are taken into account. In this context, novel business models, economic incentives and environmental policy measures can contribute to a better circularity of electric cars. The contribution shows tradeoffs and value drivers of technologies and economic factors and is therefore relevant for both practitioners from industry and political decision-makers.

## Elektroautos als Teil der Circular Economy: Tradeoffs und Werttreiber

Peter Letmathe, Bernd Friedrich, Achim Kampker und Uwe Sauer

1.	Charakteristika von Elektroautos.....	174
2.	Zielsetzungen der Circular Economy und ökonomische Einflussfaktoren .....	176
3.	Was kann die Politik tun?.....	179
4.	Quellen .....	181



Bild 1: Elektroauto beim Aufladen

In den nächsten Jahren wird das Aufkommen von Elektroautos auf unseren Straßen massiv ansteigen. Im Jahr 2018 wurden weltweit erstmals mehr als 2 Millionen Elektroautos zugelassen [7]. Auch in Deutschland nimmt der Marktanteil der neu zugelassenen Elektrofahrzeuge stetig zu. Für das Jahr 2020 wird zum ersten Mal ein Absatzvolumen von

deutlich über 100.000 E-Fahrzeugen in Deutschland prognostiziert. Die zahlreichen Modelloffensiven verschiedener Fahrzeughersteller und die nächste Verschärfung des erlaubten CO<sub>2</sub>-Flottenverbrauchs für Neufahrzeuge 2020/21 werden diese Entwicklung weiter beschleunigen und schon Ende der 2020er Jahre wird der Marktanteil der Elektromobilität an Neufahrzeugen die 50 %-Marke vermutlich deutlich überschreiten [8].

Der bevorstehende Siegeszug von Elektroautos transformiert nicht nur das Mobilitätsverhalten und stellt Herausforderungen an die Energieversorgungssysteme, sondern wird auch stoffliche Kreisläufe und damit einhergehende Umweltproblematiken massiv beeinflussen.

So verändert sich beispielsweise der Antriebsstrang der Fahrzeuge. Der Verbrennungsmotor wird durch einen Elektromotor ersetzt, ein Hochvoltspeicher ergänzt und auch der Anteil der Elektronikteile wird sich weiter erhöhen. Insbesondere für die Batteriesysteme gibt es bzgl. der Weiter- und Wiederverwertung und auch des Recyclings noch eine Reihe offener Fragen. Dazu kommt, dass sich sowohl die Wertschöpfungskette der Fahrzeugproduktion als auch der Nutzungszyklus verändert. So wird diskutiert, ob wesentliche Teile der Batterien nach dem Ende der Lebensdauer

der Fahrzeuge in einer zweiten Anwendung, beispielsweise als stationäre Speicher, eine Weiterverwendung finden könnten, bevor sie entsorgt oder recycelt werden müssen. Weitere Spezifikationen ergeben sich durch ökonomische Aspekte. Damit unterliegen die Wertschöpfungskette und das Recycling von Elektroautos einer Kombination aus technischen, gesellschaftlichen und ökonomischen Einflussfaktoren, die die Etablierung sinnvoll ausgestatteter stofflicher Kreisläufe im Sinne einer Circular Economy [3] nahelegen. Da insbesondere für die Batterie erwartet wird, dass sich der Preis je Kilowattstunde weiter verringert, ergeben sich erhebliche Herausforderungen für effiziente und ökonomische Verwertungs- und Recyclingketten.

Dieser Beitrag geht zunächst auf die stofflichen und nutzungsbedingten Einflussfaktoren ein und zeigt deren Auswirkungen für die stoffliche Verwertung von Elektroautos auf. Im Anschluss daran werden ökonomische Einflüsse auf das Fahrzeugrecycling betrachtet. In diesem Zusammenhang werden Möglichkeiten diskutiert, wie neuartige Geschäftsmodelle, ökonomische Anreize und Maßnahmen der Umweltpolitik zu einer besseren Kreislaufführung von Elektroautos beitragen können. Damit sollen die Rohstoffabhängigkeiten, die Kosten für die Anwender und die Umweltauswirkungen verringert werden. Der Beitrag richtet sich damit sowohl an Unternehmenspraktiker als auch an politische Entscheidungsträger.

## 1. Charakteristika von Elektroautos

Auf den ersten Blick zeichnen sich Elektrofahrzeuge dadurch aus, dass der konventionelle Antriebsstrang entfällt und durch einen Elektromotor sowie eine Batterie ersetzt wird. Gerade die Batterie erweist sich in verschiedener Hinsicht als problematisch. Sie erhöht das Fahrzeuggewicht massiv (etwa 30 % je nach Batteriekapazität und Fahrzeugtyp), ist mit bis zu 50 % der Gesamtkosten die teuerste Komponente eines Elektrofahrzeugs und kann bis heute nicht wirtschaftlich recycelt werden [10]. Einerseits benötigen die Batterien mit Lithium, Kobalt, Nickel, Kupfer und Aluminium wertvolle und begrenzte Rohstoffe. Andererseits befinden sich Recyclingverfahren noch in den Kinderschuhen, d.h. Batterien von Elektrofahrzeugen können heute nur manuell zerlegt werden und müssen anschließend eine ganze Reihe an stofflichen Trennverfahren durchlaufen, damit aus ihnen Substanzen wie Kupfer, Nickel, Mangan und Kobalt zurückgewonnen werden können. Eine Wiedergewinnung des Lithiums ist nur begrenzt möglich. Damit entstehen beim Recycling der Batterien nicht nur hohe Kosten, sondern bei der Gewinnung der entsprechenden Ressourcen auch erhebliche Umweltbelastungen. Aus diesem Grund beschäftigen sich zahlreiche Forschungseinrichtungen und Unternehmen mit der Entwicklung und Herstellung innovativer Aktivmaterialien und Batteriedesigns sowie der Schaffung wirtschaftlicher und umweltverträglicher Recyclingverfahren.

Neben der Batterie verändern sich im Vergleich zu PKW mit konventionellen Antrieben in Elektrofahrzeugen auch andere Komponenten. Während Stahl weiter reduziert wird, nimmt der Anteil der Fahrzeugelektronik inklusive der darin enthaltenen Substanzen zu. In der Summe steigt die Anzahl der auch in kleinen Mengen enthaltenen Stoffe, darunter auch Seltene Erden, insbesondere in der Fahrzeugelektronik an. Damit sind

eine sortenreine Trennung und Wiederverwendung oft schwierig bzw. noch nicht wirtschaftlich durchführbar. Daraus ergeben sich erhebliche Herausforderungen für die Kreislaufführung und stoffliche Verwertung von Elektrofahrzeugen.

Eine weitere Besonderheit ist der veränderte Lebenszyklus von Elektroautos. Obwohl konventionelle Fahrzeuge der EU-Richtlinie 2000/53/EG und weiteren Regelwerken strikten Recyclingvorgaben unterliegen, werden sie stattdessen häufig illegal in Drittländer verbracht, in denen sie zum Teil weiterverwendet und / oder unsachgemäß entsorgt werden [9]. Damit werden die einschlägigen rechtlichen Vorgaben der EU umgangen und erhebliche Umweltschäden verursacht. Eine große Problematik besteht darin, dass es keine klaren Regelungen gibt, die eine Unterscheidung zwischen Gebrauchtwagen und Altfahrzeugen zulassen. Durch die zumindest aktuell noch begrenzte Lebenszeit von Batterien in Elektrofahrzeugen könnte die Unterscheidung zwischen einem marktfähigen und einem Altfahrzeug vereinfacht werden. So könnte ein Elektroauto ab einem bestimmten Alter der Batterie (z.B. acht Jahre und ggf. an veränderte Alterungsprozesse anzupassen [2]) generell als Altfahrzeug klassifiziert werden, das nicht mehr ins außereuropäische Ausland verbracht werden darf. Dadurch könnten Möglichkeiten der illegalen Entsorgung und dem damit einhergehenden Verlust wichtiger Rohstoffe, die in einem Fahrzeug enthalten sind, eingeschränkt werden.



Bild 2: Schrott aus konventionellen Autos

Auch wird ein Elektrofahrzeug in der Regel nicht zwingend als Ganzes entsorgt und verwertet, da es wirtschaftlich attraktiv sein kann, die Batterien in einem zweiten Leben als stationären Speicher oder in Fahrzeugen mit niedrigeren Anforderungen zu nutzen [1]. Selbst wenn diese für die Fahrzeugnutzung nicht mehr tauglich ist, so könnten sie oft noch über genügend Speicherfähigkeit verfügen, um für andere Anwendungen attraktiv zu sein.

Gerade im Zuge der Energiewende und des damit notwendigen Ausgleichs zwischen Stromangebot und -nachfrage ergeben sich hier vielfältige Einsatzgebiete von Altbatterien. Zusammengefasst bedeutet dies, dass der Lebenszyklus von Elektroauto und Batterie nicht einheitlich sein muss. Daher ist es sinnvoll, den Lebensweg des Altfahrzeugs und der Batterie getrennt zu betrachten, was die weitergehende Analyse vereinfachen kann.

Schließlich handelt es sich bei Elektroautos um eine neue Produktkategorie, die in der Zukunft noch erheblichen technologischen und ökonomischen Veränderungen unterliegen wird. Dies gilt beispielsweise für den Batteriepreis je Kilowattstunde, der alleine seit dem Jahr 2010 um etwa 80 Prozent gefallen ist. Bis zum Jahr 2025 gehen neuere Studien von einer weiteren Halbierung des Batteriepreises aus. Zudem wird in wissenschaftlichen Publikationen und in den Medien immer wieder über neue Batterietechnologien berichtet [11], die sowohl die Reichweite der Fahrzeuge erhöhen als auch die Batteriekosten senken. Durch die stetige Weiterentwicklung der Zellchemie sowie des Batteriedesigns unterliegen auch die Recyclingfähigkeit sowie der Recyclingprozess Veränderungen.

Die beschriebenen Faktoren verdeutlichen, dass Elektrofahrzeuge keineswegs mit Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben vergleichbar sind. Die Batterie, die beschriebenen Lebenszyklusunterschiede sowie weitere technologische Faktoren haben erheblichen Einfluss auf die Verwertung von Altfahrzeugen.

## 2. Zielsetzungen der Circular Economy und ökonomische Einflussfaktoren

Mit der Etablierung der Circular Economy sind verschiedene Ziele verbunden. Vorrangig sollen die mit dem heutigen Ressourcenverbrauch einhergehenden Umweltprobleme besser gelöst werden, indem wertvolle Rohstoffe länger dem Wirtschaftskreislauf erhalten bleiben. Letztlich können also ökonomische und umweltbezogene Ziele unterschieden werden. Ökonomisch soll einerseits der Wert des Ressourcenpools für wirtschaftliche Verwendungen erhalten bleiben. Zudem sind Rückführungs- und Recyclingprozesse so auszugestalten, dass wirtschaftliche Akteure hinreichende Anreize haben, um an der Circular Economy zu partizipieren. Umweltbezogene Ziele heben sowohl auf die Funktion der natürlichen Umwelt als Quelle von Ressourcen als auch auf die Senkenfunktion für Schadstoffe ab. Für beide Funktionen wird eine Minimierung des Einflusses ökonomischer Systeme angestrebt, d.h. sowohl die Entnahme von Ressourcen aus der natürlichen Umwelt als auch der Eintrag von Schadstoffen sollten drastisch gesenkt oder sogar ganz vermieden werden.

Es handelt sich somit um eine Mehrzielentscheidung (Bild 3) und zwischen den Einzelzielen können je nach gewählten Maßnahmen Zielkonflikte und Tradeoffs zwischen verschiedenen Maßnahmen eintreten. In diesem Zusammenhang wird gleich eine ganze Reihe an typologischen Maßnahmen diskutiert:

- **Design für Recycling**

Bauteile bzw. Komponenten sollten so ausgestaltet werden, dass einerseits möglichst wenige Stoffe verwendet werden, von denen schädliche Auswirkungen für die Umwelt ausgehen können. Andererseits ist anzustreben, dass Komponenten nach Möglichkeit nach dem Ende der Lebensdauer des Primärproduktes (des Elektroautos) gegebenenfalls nach einer entsprechenden Aufarbeitung möglichst für den gleichen Zweck wiederverwendet werden können. Maßnahmen zur Erhöhung der Lebensdauer sowohl auf der Komponenten- als auch auf der Produktebene können insgesamt zu einer erheblichen Reduktion des ökologischen Fußabdrucks von Produkten je Serviceeinheit (z.B. je gefahrenem Kilometer) und zu einer ökonomisch verträglichen Kreislaufwirtschaft beitragen.

- **Modularisierung von Komponenten und Produkten**

Auch wenn eine möglichst lange Lebensdauer anzustreben ist, so können Fehlbedienungen, eine hohe Nutzungsintensität oder technologische Entwicklungen dazu führen, dass einzelne Komponenten oder ein Produkt nicht mehr (wirtschaftlich) genutzt werden können. In diesen Fällen ist entweder die Weiternutzung von Produktkomponenten oder die stoffliche Verwertung anzustreben. Um einen möglichst hohen Anteil des ursprünglichen Produkt- bzw. Materialwerts zu erhal-

ten, sollten Produkte von vornherein so aufgebaut sein, dass eine wirtschaftliche Reparatur durch den Austausch von Komponenten und eine Weiterverwendung von Komponenten ermöglicht wird. Anforderungen an eine effiziente Zerlegung von Produkten können durch einen modularen Produktaufbau erfüllt werden, bei denen im Idealfall auch Altprodukte – ähnlich wie ein Computer – aufgerüstet und die Weiterverwendungsfähigkeit erhalten werden können. Die Modularisierung erleichtert zudem auch die stoffliche Verwertung von Altprodukten.

- **Werthaltigkeit der Produkte und Komponenten**

Neben Aspekten der Lebensdauer und der Weiter- bzw. Wiederverwendung beeinflusst auch der Wert der enthaltenen Materialien und Bauteile, ob eine Circular Economy erfolgreich etabliert werden kann. Dafür ist ein Paradigmenwechsel erforderlich, der verstärkt auf werthaltige Komponenten setzt, die bereits für die Circular Economy konzipiert sind. Momentan ist das Interesse der Hersteller an solchen Lösungen allerdings gering, da sie von höherwertigen Komponenten kaum profitieren. Im Produktentstehungsprozess führen diese zu höheren Kosten, ohne dass die Produzenten von der höheren Werthaltigkeit in den späteren Lebenszyklusphasen, insbesondere nach der Nutzungsphase der Produkte, profitieren können. Dies wäre der Fall, wenn die Hersteller entweder an den Entsorgungserlösen beteiligt würden oder die Altprodukte bzw. deren Komponenten wieder in deren Besitz kommen würden. Insgesamt bildet eine höhere Werthaltigkeit von Produkten und Komponenten eine wichtige Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Etablierung einer Circular Economy.

- **Automatisierung von Recyclingprozessen**

Die bereits betrachteten Maßnahmen (Design für Recycling, Modularisierung, Steigerung der Werthaltigkeit) führen dazu, dass die Kreislaufführung von Elektroautos nicht nur wirtschaftlich attraktiver, sondern auch vereinfacht wird. Dadurch können nicht nur die Kosten der Wieder- und Weiterverwendung gesenkt werden. Die entsprechenden Maßnahmen schaffen auch die Basis dafür, dass Recyclingprozesse effizient automatisiert werden können. Ein verstärkter Einsatz von Recyclingrobotern und die digitale Steuerung von Verwertungsprozessen kann darüber hinaus zu Economies of Scale beitragen und damit die Verwertungskosten von Produkten und Komponenten mit steigendem Produktrücklauf erheblich senken.

Die hier beschriebenen Maßnahmen benötigen entsprechende Technologien und die Etablierung neuer Geschäftsmodelle in der produzierenden Industrie und im Recyclingsektor. Hier reicht es keineswegs aus, einfach nur auf den technologischen Fortschritt zu setzen. Vielmehr kann eine Circular Economy nur dann erfolgreich implementiert werden, wenn diese durch Maßnahmen der Umweltpolitik begleitet wird. Momentan sind die angesprochenen Lösungen vielfach ökonomisch nicht tragfähig. Daher kommt regulatorischen Instrumenten oder Maßnahmen, die die Wirtschaftlichkeit einer Circular Economy steigern, eine erhebliche Bedeutung zu. So besteht ein großes Problem darin, dass es häufig schwierig ist, die Altfahrzeuge zu den Herstellern zurückzuführen. Eine verteilte und komplexe Rückführungslogistik wirkt sich aber in

der Regel negativ auf die Kreislaufführung von Altprodukten aus. Die Umweltpolitik sollte daher daran ansetzen, die Rücklaufquoten zu steigern und die Rückläufe bezogen auf die erwünschten Empfänger zu steuern, um eine fachgerechte Aufbereitung von Komponenten und Fahrzeugen für ihre Wieder- und Weiterverwendung sicherzustellen. Folgende Maßnahmen bieten erste Ansatzpunkte:

- **Finanzielle Anreize**

Diese können darauf abzielen, dass Letztbesitzer die Fahrzeuge nicht nur in die gewünschten Kanäle geben, sondern dass die abgegebenen Fahrzeuge auch in einem Zustand sind, der eine Wieder- und Weiterverwendung im Sinne der Circular Economy ermöglicht. Ähnlich wie bei der Subventionierung von Neufahrzeugen könnte ein zustandsabhängiger Preis bei der Rückgabe der Altfahrzeuge bezahlt werden. Dadurch erhalten die Besitzer Anreize, zur Werterhaltung ihrer Fahrzeuge nach deren erster Nutzungsphase beizutragen. Neben einer staatlichen Subventionierung könnte hier auch mit einem Pfandsystem gearbeitet werden, bei dem der Letztbesitzer zustandsabhängig den gesamten Pfand oder einen Teil davon zurückerhält.

- **Ownershipmodelle**

Gerade im Zuge der Batterie als ressourcenintensives und zugleich teuerstes Bauteil von Elektrofahrzeugen wird schon seit einigen Jahren über veränderte Ownershipmodelle diskutiert [5]. So bieten beispielsweise einige Hersteller wie Renault das Leasing der Batterie an, d.h. die Batterie findet sich nicht im Eigentum des Fahrzeugbesitzers, sondern wird diesem gegen eine monatliche Gebühr überlassen. Auch für eine Circular Economy können innovative Ownershipmodelle Vorteile mit sich bringen. Wenn beispielsweise der Fahrzeughersteller weiterhin Eigentümer der Batterie und anderer ressourcenintensiver Komponenten bleibt und nach dem Ende der Lebensdauer des Fahrzeugs bzw. der Batterie diese im Falle einer Nachnutzung an den Fahrzeughersteller zurückgeführt werden, so könnte eine effizientere Weiterverwendung bzw. Verwertung in besserem Maße sichergestellt werden. Gleichzeitig erhält der Hersteller dadurch einen Anreiz, die zurückzuführenden Komponenten wiederverwendungs- oder verwertungsgerecht auszugestalten und herzustellen. Nicht zwingend müssen innovative Ownershipmodelle als Leasingmodelle angelegt sein. Vielmehr könnte es dem Letztbesitzer auferlegt werden, einen hinreichend hohen Preis an den Staat oder den Hersteller zu bezahlen, falls die relevanten Fahrzeugkomponenten nicht ordnungsgemäß überlassen werden.

- **Rücklaufquote**

Die Wirtschaftlichkeit einer Circular Economy wird im wesentlichen Maße durch die Höhe der Rücklaufquoten beeinflusst. Hohe Rücklaufquoten ermöglichen es, Spezialisierungsvorteile bei der Wiederverwendung und -verwertung von Altfahrzeugen und deren Komponenten zu nutzen [4]. Gerade die Rückführung Richtung Hersteller kann zudem dazu beitragen, dass die Werterhaltung von Fahrzeugkomponenten über den Erstlebenszyklus hinaus schon bei der Konstruktion des Fahrzeugs berücksichtigt wird. Eine Steigerung der Rücklaufquoten sollte daher

über die bereits diskutierten innovativen Ownershipmodelle hinaus angestrebt werden. Möglichkeiten dafür ergeben sich durch Rückgabeprämien, eine vereinfachte Rückführungslogistik und die sachgerechte Information der Fahrzeugnutzer. Gerade dadurch, dass die Verschiebung von Altfahrzeugen in das außereuropäische Ausland bei Elektrofahrzeugen an Attraktivität verliert, bieten sich bei der Gestaltung entsprechender Anreizmechanismen gute Möglichkeiten.

• **Erweiterte Nutzerverantwortung**

Im Zuge der Sharing Economy wird aber zunehmend ein Mangel an Verantwortung für die Instandhaltung und Behandlung von Produkten diskutiert, die nicht langfristig im Eigentum des Nutzers verbleiben [6]. Dies trifft auch auf klassische Produkte zu, bei denen der Letztbesitzer kaum ein Interesse an einem wiederverwendungs- und verwertungsgerechten Zustand hat. Der Zustand der Altfahrzeuge ist neben der Rücklaufquote jedoch eine der wesentlichen Voraussetzungen für eine ökologisch nachhaltige und wirtschaftliche Circular Economy. Daher kann bzw. sollte auch der Produktnutzer hier in die Verantwortung genommen werden. Möglichkeiten liegen zum Beispiel in der bereits angesprochenen Rückgabeprämie, die abhängig vom Zustand des Altfahrzeugs ist. Auf diese Weise können Anreize geschaffen werden, auch Altfahrzeuge in einem Zustand zu halten, der für Akteure der Circular Economy eine Werterhaltung auf hohem Niveau ermöglicht.

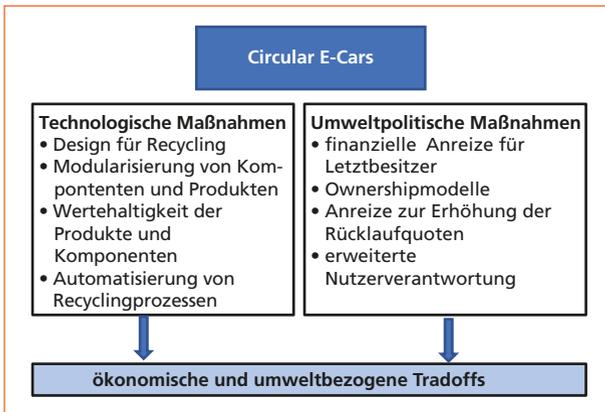


Bild 3:

Technologische und umweltpolitische Maßnahmen zur Schaffung einer Circular Economy für Elektroautos

### 3. Was kann die Politik tun?

Schon heute ist es nicht nur aufgrund der rechtlichen Rahmenbedingungen sinnvoll bzw. notwendig, Elektroautos zu großen Teilen zu recyceln. Um einen möglichst großen Teil des Ausgangswertes zu erhalten, wäre es allerdings wünschenswert wenn Elektroautos von vornherein so konzipiert sind, dass (1) ihre Komponenten in der Nachnutzungsphase möglichst wenig negative Umweltwirkungen verursachen, dass (2) die Zerlegung und der Austausch aufgrund der Modularisierung und des Designs von Komponenten und Fahrzeugen möglichst einfach möglich ist und dass (3) Materialien und Komponenten verwendet werden, die eine Werterhaltung begünstigen. Gerade

diese drei Punkte liegen zurzeit jedoch häufig nicht im wirtschaftlichen Interesse der Fahrzeughersteller. Dies hat weniger damit zu tun, dass sie an einer Kreislaufführung von Materialien, Komponenten und Produkten nicht interessiert wären. Werden vielmehr die heutigen Wiederverwendungs- und Verwertungsmechanismen betrachtet, so ist keineswegs sichergestellt, dass die Akteure, die die Kreislauffähigkeit von Elektrofahrzeugen sicherstellen, auch davon profitieren. Genau hier muss eine erfolgreiche Umweltpolitik zur Schaffung einer Circular Economy ansetzen.

Ein erster Schritt dürfte darin bestehen, dass die Altfahrzeuge in einem Zustand zurückgegeben werden, der überhaupt eine wirtschaftlich vertretbare und werterhaltende Wieder- oder Weiterverwendung ermöglicht. Daher gilt es, das Interesse der Besitzer (vom Erst- bis zum Letztbesitzer) an der Werterhaltung dadurch zu fördern, dass für jeden Fahrzeugzustand ein Preis bezahlt wird, der einerseits über dem Marktwert zum Beispiel für die Verbringung in Drittmärkte liegt und der andererseits einen hohen Anreiz bietet, das Fahrzeug in einem recyclingfähigen Zustand zu übergeben. Kriterien für die Zustandsbeurteilung können u.a. die Demontierbarkeit des Fahrzeugs, die Verwendung von Originalteilen bei Fahrzeugreparaturen und der Zustand der Batterie sein. Ein entsprechend hoher Preis hat zugleich den Vorteil, dass dadurch eine hohe Rücklaufquote gewährleistet werden kann. Diese ist erforderlich, um Economies of Scale bei der Verwertung und Wiederverwendung von Altfahrzeugen zu gewährleisten. Auf diese Weise kann auch eine erweiterte Nutzerverantwortung ökonomisch motiviert werden. Umgekehrt sind auch Pfandzahlungen beim Fahrzeugerwerb denkbar, die nur (vollständig) zurückgezahlt werden, wenn ein Letztbesitzer den vorgegebenen Entsorgungsweg einhält und ein Fahrzeug für eine Circular Economy erhält.

Hohe Rücklaufquoten, Economies of Scale und die (Wieder-)Verwendbarkeit von Komponenten auf hohem Wertniveau führen aber nur dann zu einer wirtschaftlich und ökologisch tragfähigen Circular Economy, wenn die entsprechenden Angebote von den Kunden akzeptiert werden. Dazu zählt insbesondere die Bereitschaft, erneut genutzte Komponenten in Neufahrzeugen zu akzeptieren. Auch hier ergeben sich für die Politik wirksame Ansatzpunkte. Zunächst kann durch Garantieregelungen sichergestellt werden, dass wiederverwendete Komponenten den Neukomponenten gleichgestellt werden. Auch könnte ein Mindestanteil an wiederverwendeten Komponenten für Neufahrzeuge vorgeschrieben werden, so dass der Kunde hier gar keine Wahlmöglichkeit hat. Dieser Mindestanteil könnte mit der zunehmenden Bedeutung der Circular Economy im Zeitverlauf sogar zunehmen. Selbstverständlich sind auch hier neue Ownershipmodelle möglich, bei denen bestimmte Komponenten im Eigentum des Herstellers verbleiben, der diese bei Funktionsstörungen austauscht. Dadurch hat der Hersteller gleichzeitig ein wirtschaftliches Interesse an der Werterhaltung der weiterhin in seinem Eigentum befindlichen Komponenten.

Zusammengefasst wurden in diesem Beitrag zahlreiche Möglichkeiten aufgezeigt, eine Circular Economy zu gestalten und mit Hilfe von technologischen und regulatorischen Maßnahmen sowie wirtschaftlichen Anreizen erfolgreich zu etablieren. Nicht alle diese Möglichkeiten sind heute politisch durchsetzbar und mögen erst in der Zukunft als sinnvoll erachtet werden. Denn dieser Beitrag zeigt auch, dass für die wirtschaftlichen

und politischen Akteure zahlreiche Optionen zur Verfügung stehen, mit denen sowohl der Ressourcenverbrauch als auch die Umweltbeeinträchtigungen von Elektrofahrzeugen massiv gesenkt werden können.

## 4. Quellen

- [1] Casals, L. C., García, B. A., Aguesse, F., & Iturrondobeitia, A. (2017). Second life of electric vehicle batteries: relation between materials degradation and environmental impact. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(1), 82-93
- [2] Ecker, M., Gerschler, J. B., Vogel, J., Käbitz, S., Hust, F., Dechent, P., & Sauer, D. U. (2012). Development of a lifetime prediction model for lithium-ion batteries based on extended accelerated aging test data. *Journal of Power Sources*, 215, 248-257
- [3] Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768
- [4] Letmathe, P.: Kostenrechnerische Implikationen für verschiedene Forschungsfelder der Reverse Logistics, in: Fandel, G. & Reese, J. (Hrsg): *Reverse Logistics, Special Issue der Zeitschrift für Betriebswirtschaft*, Gabler, Wiesbaden 2005, S. 1-28
- [5] Letmathe, P., & Soares, M. (2017). A consumer-oriented total cost of ownership model for different vehicle types in Germany. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 57, 314-335
- [6] Loske, R. (2019). Die Doppelgesichtigkeit der Sharing Economy. Vorschläge zu ihrer gemeinwohlorientierten Regulierung. *WSI-Mitteilungen*, 72(1), 64-70
- [7] Menzel, S. (2019). Deutschland überholt E-Mobilitäts-Vorreiter Norwegen, *Handelsblatt*, 16. Juli 2019. [www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektromobilitaet-deutschland-ueberholt-e-mobilitaets-vorreiter-norwegen/24594580.html?ticket=ST-9797506-0dd1YOV2uD-7vYMm3jz7l-ap3](http://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/elektromobilitaet-deutschland-ueberholt-e-mobilitaets-vorreiter-norwegen/24594580.html?ticket=ST-9797506-0dd1YOV2uD-7vYMm3jz7l-ap3)
- [8] Mosquet, X., Arora, A., Xie, A., & Renner, M. (2020). Who will drive electric cars to the tipping point? [www.bcg.com/de-de/publications/2020/drive-electric-cars-to-the-tipping-point.aspx](http://www.bcg.com/de-de/publications/2020/drive-electric-cars-to-the-tipping-point.aspx)
- [9] Sakai, S. I., Yoshida, H., Hiratsuka, J., Vandecasteele, C., Kohlmeyer, R., Rotter, V. S., ... & Oh, G. J. (2014). An international comparative study of end-of-life vehicle (ELV) recycling systems. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 16(1), 1-20
- [10] Skeete, J. P., Heidrich, O., Rajaeifar, M., Hill, G., & Wells, P. (2019). Cars, EVs and battery recycling forecasts and economic models. 10th International Conference of the International Society for Industrial Ecology (ISIE2019). Newcastle University
- [11] Turcheniuk, K., Bondarev, D., Singhal, V., & Yushin, G. (2018). Ten years left to redesign lithium-ion batteries. [www.nature.com/articles/d41586-018-05752-3](http://www.nature.com/articles/d41586-018-05752-3)

## Ansprechpartner



**Professor Dr. Peter Letmathe**  
 RWTH Aachen University  
 Faculty of Business and Economics  
 Chair of Management Accounting  
 Templergraben 64  
 52062 Aachen, Deutschland  
 +49 241 8096165  
[letmathe@controlling.rwth-aachen.de](mailto:letmathe@controlling.rwth-aachen.de)

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar

Olaf Holm • Elisabeth Thomé-Kozmiensky • Daniel Goldmann • Bernd Friedrich (Hrsg.):

**Recycling und Sekundärrohstoffe – Band 13**

ISBN 978-3-944310-51-0 Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH

Copyright: Elisabeth Thomé-Kozmiensky, M.Sc., Dr.-Ing. Olaf Holm  
Alle Rechte vorbehalten

Verlag: Thomé-Kozmiensky Verlag GmbH • Neuruppin 2020

Redaktion und Lektorat: Dr.-Ing. Olaf Holm

Erfassung und Layout: Janin Burbott-Seidel, Martin Graß, Cordula Müller,  
Claudia Naumann-Deppe, Sarah Pietsch, Roland Richter,  
Gabi Spiegel, Ginette Teske, Elisabeth Thomé-Kozmiensky

Druck: Beltz Grafische Betriebe GmbH, Bad Langensalza

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funk- sendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien, z.B. DIN, VDI, VDE, VGB Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.