

Pilotsteckbrief: Modellbasierte Entscheidungsplattform



Circular Economy
Initiative
Deutschland

Beitrag zum Bericht: „Ressourcenschonende
Batteriekreisläufe – mit Circular Economy
die Elektromobilität antreiben“

acatech, Circular Economy Initiative Deutschland,
SYSTEMIQ (Hrsg.)

Inhalt

Projekt	2
1 Motivation und Zielsetzung	4
1.1 Momentane Herausforderungen im System	4
1.2 Fokus und Definitionen des Pilotthemas	5
2 Anforderung an die Entscheidungsplattform	10
2.1 Anforderungen an die Daten- und Informationsebene	10
2.2 Anforderungen an betriebliche Ausgestaltung	10
2.3 Anforderungen an die Ausgestaltung der Visualisierungsebene	11
3 Erfolgskriterien für die Implementierung	12
3.1 Übersicht über Motivation und Geschäftsmodell des Plattformbetreibers	13
3.2 Übersicht über einzubindende Akteure	14
3.3 Erfolgskriterien für die Entscheidungsplattform	15
4 Erwartete Impact-Potenziale des Pilotprojekts	17
4.1 Einfluss auf das Zielbild 2030	17
4.2 Mögliche Austauschbeziehungen (Trade-offs)	18
5 Handlungsempfehlungen und Roadmap	19
5.1 Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft	19
5.2 Gemeinsame Roadmap für ein Pilotprojekt	20
6 Ausblick	22
6.1 Erwartete Herausforderungen	22
6.2 Offene Fragen und mögliche nächste Schritte	22
Anhang	23
Abkürzungsverzeichnis	23
Abbildungsverzeichnis	24
Tabellenverzeichnis	24
Literatur	25



Projekt

Herausgeber

- acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften
- Geschäftsstelle Circular Economy Initiative Deutschland (CEID)
- SYSTEMIQ Ltd.

Leitung der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Dr.-Ing. Christian Hagelücken, Umicore
- Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, Technische Universität Braunschweig

Mitglieder der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Dr. Matthias Buchert, Öko-Institut e. V.
- Dr. Matteo Carrara, BMW
- Steven Daelemans, Covestro
- Prof. Dr. Helmut Ehrenberg, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Dr. Sarah Fluchs, PEM Motion
- Prof. Dr.-Ing. Daniel Goldmann, Technische Universität Clausthal
- Georg Henneboel, SAP
- Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Technische Universität Braunschweig
- Dr.-Ing. Julia Hobohm, GRS Batterien
- Prof. Dr.-Ing. Holger Kohl, Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)/ Technische Universität Berlin

- Dr. Michael Krausa, Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien
- Johanna Lettgen, Reverse Logistics Group
- Kerstin Meyer, Agora Verkehrswende
- Manuel Michel, Daimler
- Marcel Rakowski, Reverse Logistics Group
- Prof. Dr. Markus Reuter, Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)
- Prof. Dr. Dirk Uwe Sauer, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Michael Schnell, Daimler
- Magnus Schulz, Daimler
- Dr. Paul Spurk, Umicore
- Sebastian Taubensee, Siemens
- Wassilij Weber, Interseroh
- Dr.-Ing. Hartmut Zefferer, Trumpf

Inhaltliche Unterstützung der Arbeits- gruppe Traktionsbatterien

- Steffen Blömeke, Technische Universität Braunschweig
- Dr. Christian Bussar, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Juan Felipe Cerdas, Technische Universität Braunschweig
- Laura Gottschalk, Technische Universität Braunschweig
- Alexander Hahn, Technische Universität Braunschweig
- Elisa Reker-Gluhić, acatech/Nationale Plattform Zukunft der Mobilität
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Bernd Muschard, Technische Universität Berlin
- Wolf Christian Schliephack, Technische Universität Berlin
- Dr. Florian Sigel, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
- Philipp Stöcker, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Dr.-Ing. Moritz Teuber, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Tilmann Vahle, SYSTEMIQ
- Dr. Reinhard von Wittken, CEID Geschäftsstelle/acatech
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID Geschäftsstelle/acatech

Koordination und Redaktion der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Tilmann Vahle, SYSTEMIQ
- Dr. Reinhard von Wittken, CEID Geschäftsstelle/acatech
- Dr. Jörn Kobus, SYSTEMIQ
- Yvonne Turzer, CEID Geschäftsstelle/acatech
- Dr. Susanne Kadner, Leitung CEID Geschäftsstelle/acatech

Externe Reviewer der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien

- Jonathan Eckhardt, Global Battery Alliance
- Prof. Dr. Sabine Flamme, Fachhochschule Münster
- Prof. Dr. Bernd Friedrich, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Prof. Dr. Achim Kampker, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (RWTH)
- Julia Poliscanova, Transport & Environment
- Prof. Dr. Alexander Sauer, Universität Stuttgart
- Prof. Dr. Gerhard Sextl, Julius-Maximilians-Universität Würzburg
- Prof. Dr. Martin Winter, Westfälische Wilhelms-Universität Münster (WWU)

Projektgruppe zum Pilotsteckbrief 2 „Modellbasierte Entscheidungsplattform“

Moderation

- Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Technische Universität Braunschweig
- Juan Felipe Cerdas, Technische Universität Braunschweig
- Steffen Blömeke, Technische Universität Braunschweig

Mitglieder

- Dr. Matteo Carrara, BMW Group
- Dr.-Ing. Christian Hagelüken, Umicore
- Alexander Hahn, Technische Universität Braunschweig
- Dr. Michael Krausa, Kompetenznetzwerk Lithium-Ionen-Batterien
- Prof. Dr.-Ing. Arno Kwade, Technische Universität Braunschweig
- Kerstin Meyer, Agora Verkehrswende
- Prof. Dr. Markus Reuter, Helmholtz-Zentrum Dresden Rossendorf (HZDR)
- Michael Schnell, Daimler
- Magnus Schulz, Daimler
- Dr.-Ing. Hartmut Zefferer, Trumpf

1 Motivation und Zielsetzung

Nach der mobilen Nutzung von Lithium-Ionen-Traktionsbatterien (TB) stehen zahlreiche Prozesse mit unterschiedlichen Reifegraden zur Weiternutzung und Reuse¹ (Aufarbeitung) oder Recycling (Aufbereitung und Metallurgie) zur Verfügung. Diese unterscheiden sich in ihrem ökonomisch und ökologisch benötigten Aufwand und in den erzielten Ergebnissen (Outputmaterialien). Die Aufwände sind neben den Prozessen auch produktspezifisch, da die Batterien mit unterschiedlichen Qualitäten (State of Health) zum Aufarbeiter oder Recycler kommen. Das Interesse des Betreibers der Entscheidungsplattform liegt darin, auf Batterieebene Entscheidungen zu treffen, welche Behandlung (zum Beispiel Life versus Recycling) ökologisch und ökonomisch anzustreben ist. Der Aufbau einer benötigten Entscheidungsplattform – in Verbindung mit den zur Verfügung stehenden Informationen des Pilotsteckbriefs I „Kenntnis des Batterielebens“ und des Pilotsteckbriefs III „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“ – wird im Pilotsteckbrief II erläutert.

Dieser Pilotsteckbrief bildet mit einer zentralen Wissens- und Fragensammlung eine detaillierte Ergänzung zu diesem Gesamtbericht der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien und dient dazu, die Grundlage für Projektausschreibung beziehungsweise Umsetzungsplanung für eine „Modellbasierte Entscheidungsplattform“ anzustoßen (noch im vorwettbewerblichen Rahmen).

1.1 Momentane Herausforderungen im System

Eine effiziente Organisation der Rückführung und die gezielte Verwendung oder Verwertung von Traktionsbatterien erfordern einen systematischen Ansatz. Unternehmen der Kreislaufwirtschaft (unter anderem Logistik, Demontage- und Recyclingunternehmen) sind mit volatilen Preisen für Sekundärrohstoffe, einem unsicheren und heterogenem Angebot an verfügbaren Altbatterien sowie einer unsicheren Nachfrage für eine erneute Verwendung mobiler und stationärer Energiespeicher konfrontiert. Die Aufarbeitung beziehungsweise das Recycling von Traktionsbatterien erfordert zudem bisher zumeist eine aufwendige manuelle Demontage. Weitere Herausforderungen sind die zurzeit noch geringen und stochastischen Schwankungen unterworfenen Rücklaufmengen sowie fehlende Informationen bezüglich der Materialzusammensetzung der Energiespeicher sowie der Energiespeichersysteme. Die Recyclingsysteme prozessieren verschiedene Batterietypen gemeinsam (zum Beispiel mit Nickel-Mangan-Kobalt(NMC)-111- und

NMC-622-Kathoden), wodurch sich für den Sekundärmaterialmarkt intransparente Lieferketten entwickeln, bei denen eine (sozial und ökologisch) sichere Herkunft und Materialqualität nicht gewährleistet werden kann.

Demontage

Die aktuelle Situation bei der Durchführung von Demontagetätigkeiten ist von einem stark manuellen Charakter geprägt. Neben einer großen Variantenvielfalt und einem komplexen Aufbau von Traktionsbatterien (insbesondere für batterieelektrische Fahrzeuge) werden Aufkommen und örtliche Verteilung der End-of-Use- und End-of-Life-Energiespeicher auch in Zukunft stochastischen Schwankungen unterworfen sein. Erschwerend kommt hinzu, dass die zur Demontage anstehenden Produkte mit Traktionsbatterien wie zum Beispiel die Elektrofahrzeuge häufig noch nicht demontagegerecht (Design for Disassembly) konstruiert wurden. Der Organisationsgrad in Demontage- und Recyclingunternehmen ist daher in der Regel im Vergleich zu produzierenden Unternehmen als niedriger einzustufen, wodurch Rationalisierungsmöglichkeiten, zum Beispiel durch einen optimierten Einsatz der vorhandenen Betriebsmittel oder durch Arbeitsteilung und die damit verbundene Ausnutzung von Lerneffekten, nicht ausgeschöpft werden. Grenzen für eine Automatisierung in der Demontage von Traktionsbatterien beziehungsweise der zugehörigen Produkte liegen zum einen in der mangelnden Wirtschaftlichkeit aufgrund hoher technologischer Anforderungen infolge der Komplexität der Zerlegeprozesse. Zum anderen fehlt häufig die notwendige Flexibilität, die wegen der Heterogenität der Produkte und Energiespeicher erforderlich ist.

Planung von Demontage- und Recyclingsystemen

Ein wesentlicher Bestandteil der Planung von Demontage- und Recyclingsystemen ist die Bestimmung wichtiger Prozesskenngrößen wie Demontagekosten und -zeiten, Demontagetiefen und -reihenfolgen, der erzielbaren Wiederverwendungs- und Recyclingquoten sowie der erzielbaren Qualitäten und Reinheiten der zurückgewonnenen Materialien (siehe Vertiefung Batterierecycling). Ferner gehört die Auslegung und Dimensionierung eines Demontagesystems (zum Beispiel Anzahl der Stationen, Größe der Puffer, Anzahl an Fördereinheiten) für ein gegebenes Produktspektrum beziehungsweise Energiespeicher zur Planung.

Demontage- und Recyclingnetzwerke

Netzwerken kommt bezogen auf die Kreislaufführung von Produkten im Allgemeinen und Energiespeichern im Speziellen eine wichtige Rolle zu (siehe auch Pilotsteckbrief III „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“). Vorteile dieser Kreislaufwirtschaftsnetzwerke liegen unter anderem in der Erreichung von Größendegressionseffekten, in der Verteilung von Risiken

1 | Vgl. Ardente et al. 2018.

und Investitionen auf mehrere Träger, der Sicherstellung einer flächendeckenden Entsorgung und dem Zugang zu an unterschiedlichen Punkten im Kreislauf bereitgestellten Informationen.² Ein Stoffstrommanagement umfasst daher zumeist eine Vielzahl kooperierender Unternehmen (Stoffstromnetzwerke, Quellen ergänzen). Dazu gehören auf strategischer Ebene die Konzeption von regionalen Verwertungsnetzen sowie branchenbezogener Planungs- und Organisationsansätze. Auf operativer Ebene zu nennen ist das Product-Recovery-Management, welches auf die Wiederverwendung von Produkten, Bauteilen und Materialien aus Altprodukten abzielt. Bestandteil sind Produktionsplanungs- und Lagerhaltungsmodelle für vernetzte Produktions- und Reproduktionssysteme.

Integrierte Betrachtung

Für die Planung von Demontage-, Weiternutzungs- und Recyclingssystemen ist es zumeist nicht ausreichend, die Perspektive eines einzelnen Aufarbeitungs- beziehungsweise Aufbereitungsunternehmens einzunehmen. Vielmehr müssen die Besonderheiten von Demontage-, Weiternutzungs- und Recyclingnetzwerken (Stoffstromnetzwerken) berücksichtigt werden. In der Praxis werden methodische Ansätze zur optimalen Steuerung von Unternehmen und Netzwerken, etwa auf Basis von Operations-Research-Ansätzen, bisher nur vereinzelt eingesetzt. Kommerzielle Systeme zur Produktionsplanung und -steuerung, wie sie heutzutage bereits in der Fertigung von Energiespeichern eingesetzt werden, können nicht direkt auf die Demontage- und Recyclingplanung übertragen werden, da die dort vorhandenen Kuppelproduktionsprozesse oft nicht modellierbar sind. Darüber hinaus muss eine frühzeitige und valide Entscheidung getroffen werden, welche Produkte sinnvoll einem Second Life und welche einem Recycling zugeführt werden.

1.2 Fokus und Definitionen des Pilotthemas

Die Umsetzung einer Circular Economy erfordert insbesondere die Erfassung und Sammlung, die Demontage, die Aufarbeitung und erneute Verwendung sowie das Recycling und die Wiederverwendung von Materialien beziehungsweise Metallen aus Traktionsbatterien für neue Batterien (Closed Loop). Es wird davon ausgegangen, dass eine Circular Economy nur kooperativ, das heißt in Netzwerkstrukturen, umgesetzt werden kann. Derartige Netzwerke bestehen aus einer Vielzahl von Knoten (zum Beispiel Werkstätten, Demontage- und Recyclingbetrieben, Produktionsunternehmen), denen unterschiedliche Aufgaben obliegen. Mit dem Aufbau von Netzwerken werden dabei folgende Zielsetzungen verfolgt:

- Verstetigung des Mengenaufkommens durch Ausweitung der Anzahl der zurückgenommenen End-of-User- und End-of-Life-Produkte beziehungsweise Energiespeicher,
- Erzielung von Betriebsgrößenvorteilen durch die Verwirklichung von Mindestaltproduktmengen,
- verbesserte Demontage- und Verwertungsmöglichkeiten durch einen intensiveren Informationsaustausch sowie
- Verteilung von Risiken und Investitionen auf mehrere Träger.

Netzwerke zur Aufarbeitung beziehungsweise Aufbereitung stellen somit Wertschöpfungsverbünde mit verschiedenen Partnern auf überbetrieblicher Ebene dar, um Stoffströme, die im Zusammenhang mit der Redistribution, der Demontage, der Aufarbeitung und der Aufbereitung entstehen, sowohl unter ökonomischen als auch ökologischen Zielkriterien abzustimmen (Makro-Perspektive, siehe auch Pilotsteckbrief III „Demontagenetzwerk für Traktionsbatterien“). Als vordringliche Aufgabe auf der operativen Ebene

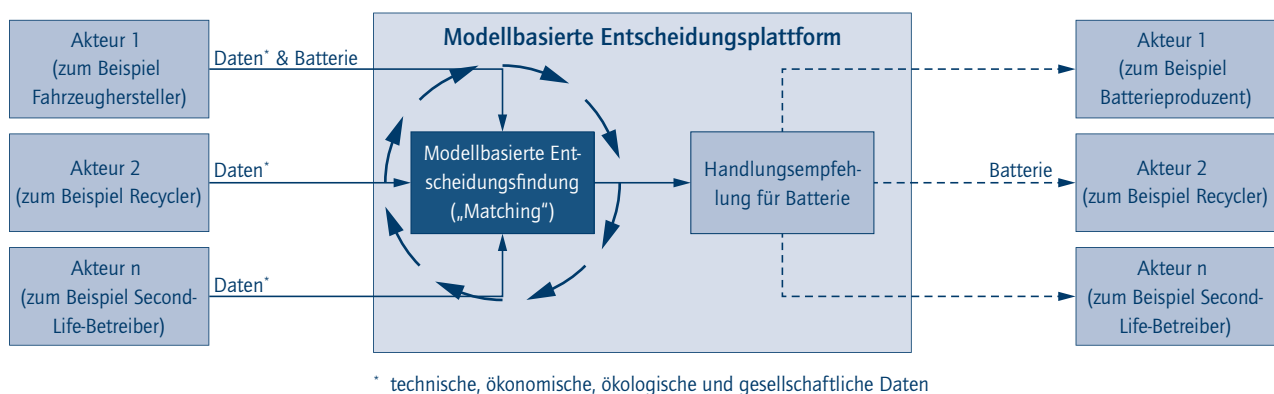


Abbildung 1: Konzept der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)

sind kurzfristige Entscheidungen zu den relevanten Stoffströmen im Netzwerk zu nennen. Während die Gestaltung von Netzwerken auf strategischer Ebene durchschnittlich zu erwartende zukünftige Rahmenbedingungen voraussetzt, besteht die operative Lenkungs- aufgabe in der kontinuierlichen Anpassung der Stoffströme innerhalb des Netzwerks an im Zeitablauf schwankende Mengen, Verwertungserlöse und -kapazitäten sowie geänderte rechtliche Rahmenbedingungen. Komplementär dazu müssen auf der Ebene einzelner Demontage- und Recyclingbetriebe Entscheidungen zur technischen und organisatorischen Ausgestaltung dieser Betriebe getroffen werden (Mikroperspektive). Die zur Entscheidungs- findung benötigte modellbasierte Entscheidungsplattform kann dabei gemäß Abbildung 1 strukturiert sein.

Die Akteure der Plattform liefern individuelle Daten unter anderem zu Angebot und Nachfrage. Innerhalb der Entscheidungsplattform kann eine Entscheidungsfindung beziehungsweise ein „Matching“ von Angebot und Nachfrage unter diversen Rahmenbedingungen wie zum Beispiel Qualitätsansprüchen stattfinden. Die gebrauchte Traktionsbatterie kann im Anschluss gemäß der Empfehlung der Plattform dem passenden Akteur zugeführt werden. Der genauere Aufbau der modellbasierten Entscheidungsfindung und dabei berücksichtigte Parameter sind in Abbildung 2 dargestellt. In der Visualisierungsebene (Graphical User Interface, GUI) werden die modellbasierten Ergebnisse stakeholderspezifisch aufbereitet

und dargestellt (die in der Abbildung verwendeten Icons stellen beispielhafte Visualisierungsmöglichkeiten dar).

Die Basis bildet eine Datenebene mit Informationen zum aktuell vorliegenden Produkt, zum Prozess und Markt sowie den rechtlichen Rahmenbedingungen (Tabelle 1). Die Daten und Informationen bilden die Grundlage (Input) für die Entwicklung geeigneter Entscheidungsregeln oder Modelle (Logikebene). Wesentliche Daten und Informationsbereiche (siehe auch Pilot- steckbrief I „Kenntnis des Batterielebens“) sind:

- Produktinformationen,³ zum Beispiel zu Materialzusammen- setzung, Produktaufbau, eingesetzten Verbindungstechniken
- Prozessinformationen, zum Beispiel verfügbare Demontage- und Recyclingtechnologien, Prozesspfade, Rückgewinnungs- raten, Qualität und Reinheit der zurückgewonnenen Materialien, Stoffe, Metalle
- Marktinformationen, zum Beispiel Mengenaufkommen an End-of-User- und End-of-Life-Speichern, Rohstoffpreise, Bedarf an Second-Life-Batterien und erzielbare Preise
- Informationen zu Gesetzen und Vorschriften, zum Beispiel einzuhaltende reale Recyclingquoten und -qualitäten (siehe Vertiefung Batterierecycling)

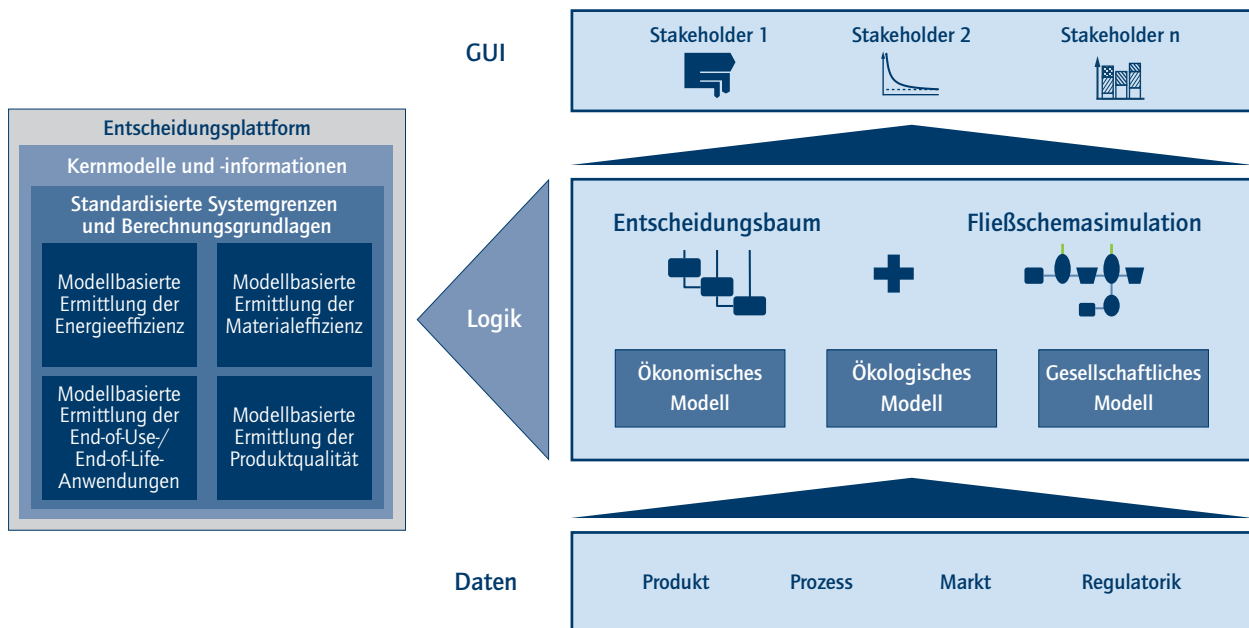


Abbildung 2: Modellstruktur der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)

3 | Vgl. Europäische Union 2019.

Innerhalb der nachfolgend beschriebenen Logikebene werden sozioökonomische und ökologische Modelle in Kombination mit einer Fließschemasimulation und einem Entscheidungsbaum genutzt, um die optimale End-of-User- und End-of-Life-Behandlung zu identifizieren. Mithilfe der Plattform muss modellbasiert entschieden werden, ob mobile Energiespeicher einer Aufarbeitung beziehungsweise einer erneuten Verwendung (Second Life) oder einem Recycling zugeführt werden (siehe Abbildung 3). Diese Entscheidung resultiert oftmals aus der gewählten optimalen Demontage Tiefe,⁴ die wiederum vom Restwert und den zu erwartenden

Aufwendungen und Erlösen abhängt. Der dargestellte Entscheidungsbaum priorisiert dabei gemäß der EU Waste Framework Directive⁵ eine Wiederverwendung gegenüber einem Recycling. Im Recycling wiederum wird ein hochwertiges (Batterie-)Materialrecycling für eine erneute Verwendung in Batterien (Closed Loop) einem stofflichen Recycling für andere Branchen und Anwendungen (Open Loop) vorgezogen. Die Entscheidungsunterstützung beruht dabei auf einer physikalisch-chemischen Fließschemasimulation, welche verschiedene End-of-User- und End-of-Life-Szenarien modellbasiert miteinander vergleicht und ein Optimum ermittelt.

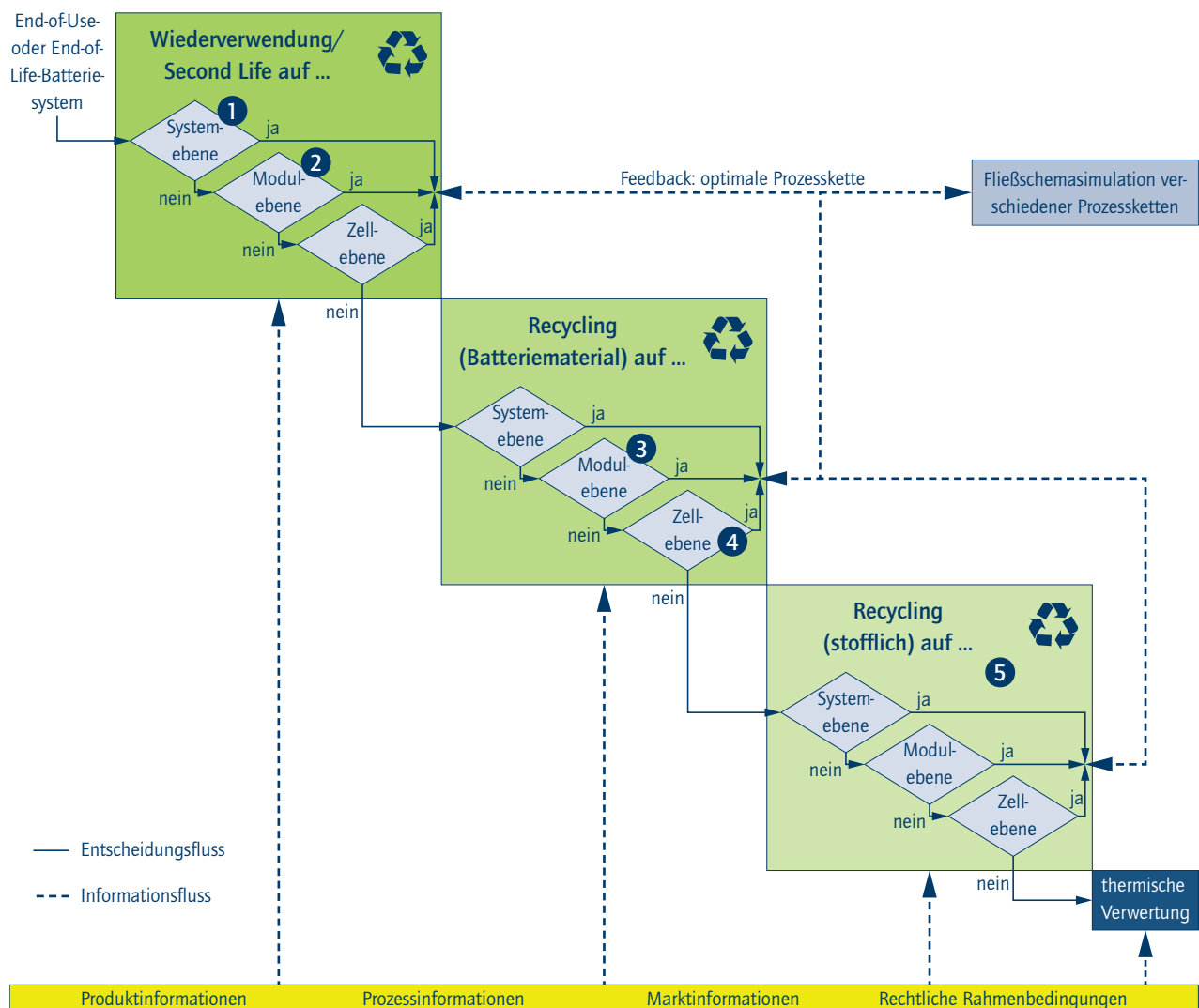


Abbildung 3: Entscheidungslogik – Kombination aus Entscheidungsbaum und Fließschemasimulation für Entscheidungen auf Unternehmensebene (Mikroebene) (Quelle: eigene Darstellung)

4 | Vgl. Ohlendorf 2006.

5 | Vgl. Europäische Union 2008.

Das simulationsbasierte Footprinting von Verarbeitungsanlagen und -systemen wurde von einem der Verfasser des Dokuments in einem kommerziellen Softwaretool, HSC Sim,⁶ entwickelt und unter anderem auf die Bewertung großer Kreislaufwirtschaftssysteme angewandt, wie sie in neueren Veröffentlichungen diskutiert werden.⁷ Die Stärke des Ansatzes liegt darin, dass auf der Grundlage der Prozesstechnologie und ihres Fließschemas, ihrer Physik und Chemie (Gibbs'sche freie Energie, Phasengleichgewichte, Kinetik, Transferprozesse) die Lieferketten digital miteinander verknüpft werden können, auch wenn nicht alle Produktionsdaten vollständig verfügbar sind.⁸ Auf der Grundlage der rigorosen Massen- und Energiebilanz werden die Daten in Lebenszyklusanalysetools exportiert, die auch die Durchführung von Exergieanalysen ermöglichen, um die wahren Verluste aus dem Kreislaufwirtschaftssystem vollständig zu verstehen. Darüber hinaus können verschiedene Verarbeitungswege rigoros verglichen werden, um zu erkennen, welche Optionen optimal sind, um die Verluste aus dem Kreislaufwirtschaftssystem der Batterie zu minimieren.

Als Beispiel einer Wiederverwendung auf Systemebene lassen sich stationäre Energiespeicher zur Spitzenlastabdeckung im Energiesektor nennen. Hierbei werden beispielsweise die Batteriesysteme im Ganzen in einer Containerlösung neu kombiniert und mit dem Netz verbunden (siehe Abbildung 3, 1). Werden

die Batteriesysteme auf Modulebene zerlegt, können einzelne Module individuell kombiniert und zum Beispiel ebenfalls zur Spitzenlastabdeckung im Energiesektor oder in haushaltsüblichen stationären Speichern von Photovoltaikanlagen genutzt werden (siehe Abbildung 3, 2). Ebenso ist eine Weiterverwendung und Neukombination auf Zellebene denkbar. Die Recyclingprozesse lassen sich unter anderem durch ihre Größe, Robustheit und Ansprüche an die geforderte Outputqualität grob in die Verarbeitung von Batterien auf System-, Modul- und Zellebene gliedern. So kann eine (mechanische) Aufbereitung momentan sowohl auf Modulebene (siehe Abbildung 3, 3) als auch auf Zellebene (siehe Abbildung 3, 4) durchgeführt werden. Die Weiterentwicklung dieser Verfahren findet momentan in zahlreichen laufenden Forschungsprojekten statt. Neben der Rückgewinnung von direkt wiedereinsatzbarem Batteriematerial zur erneuten Batterieproduktion (siehe Abbildung 3, 3+4, Closed Loop) kann ebenfalls ein marktoffenes Recycling (siehe Abbildung 3, 5, Open Loop) verfolgt werden. Etablierte und sich in der Forschung befindliche Prozessrouten lassen sich darüber hinaus anhand der Zielmaterialien differenzieren. So fokussieren manche Routen auf die enthaltenen Metalle, dabei vor allem Nickel, Mangan und Kobalt, während sich andere Routen darüber hinaus auf die Rückgewinnung organischer Komponenten, wie zum Beispiel Graphit und Elektrolytbestandteile, spezialisieren. Die Einteilung der Prozesse unterscheidet dabei nicht nach den sich auf dem Markt befindlichen unterschiedlichen Systemgrößen (zum Beispiel Hybridfahrzeuge versus batterieelektrische Fahrzeuge), sondern gibt eine generelle Unterscheidungs- und Entscheidungsmöglichkeit. Neben der Unterstützung von Entscheidungen auf der Ebene eines einzelnen Demontage- und Recyclingunternehmens soll ein Schwerpunkt des Pilotthemas auch die Integration der Makro-/Netzwerkebene mit der Mikro-/Unternehmensebene in der Entscheidungsplattform sein. Entsprechend müssen die folgenden Aspekte berücksichtigt werden:

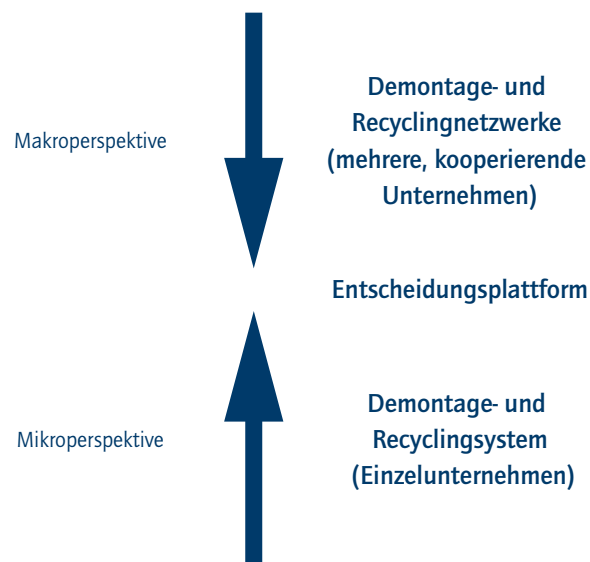


Abbildung 4: Integration der Netzwerk- und Unternehmensebene in der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)

- Gestaltung von idealen Demontageprinzipien für ein gegebenes Mengenaufkommen von Energiespeichern
- Entwicklung eines Stoffstrommodells, welches in der Lage ist, sowohl bestehende als auch ideale Demontage- und Recyclingstrukturen abzubilden
- Konzeption eines operativen Lenkungsansatzes zur ökonomisch effizienten Allokation von Stoffströmen auf Demontage- und Recyclingbetriebe im Netzwerk
- Ermittlung optimaler Anpassungsstrategien für bestehende Demontage- und Recyclingstrukturen

6 | Vgl. Outotec.

7 | Vgl. Bartie et al. 2020.

8 | Vgl. Reuter 2016.

Die Integration der beiden Planungsebenen kann erfolgen, indem auf der Grundlage einer Lenkungsmethodik Schwachstellen im Netzwerk ermittelt werden, um darauf aufbauend eine Umgestaltung beziehungsweise Anpassung der Demontage- und Recyclingsysteme auf der Gestaltungsebene zu initiieren. Zur Bewertung und zum Vergleich alternativer Strategien sollten neben Batteriedaten und -kennzahlen (siehe auch Pilotsteckbrief I „Kenntnis des Batterielebens“) zum einen sowohl Investitions- und Kostenschätzungen als auch Kennzahlen wie Durchsatz, Durchlaufzeit, Bestandsentwicklungen, Deckungsbeiträge sowie Flexibilität herangezogen werden. Zum anderen sollte mithilfe einer Umweltbewertung die ökologische Vorteilhaftigkeit einer Circular Economy für Traktionsbatterien anhand aussagekräftiger Key-Performance-Indikatoren (siehe Kapitel 2.3) quantifiziert werden.

Die in der Logikebene gewonnenen Ergebnisse werden anschließend durch auf die Stakeholder angepasste Visualisierungsmethodiken (Graphical User Interface, GUI) aufbereitet, komprimiert und verständlich vermittelt. Der Fokus liegt hierbei auf der Komprimierung und Visualisierung der mithilfe der Modelle berechneten Key-Performance-Indikatoren.

Dieser Pilotsteckbrief fasst die folgenden Aspekte zusammen:

- Entwicklung einer offenen Plattform, die eine Modellierung der optimalen End-of-Life-Verwendung von Traktionsbatterien ermöglicht, wobei sich der Optimierungspfad an technischen, sozioökonomischen und ökologischen Kriterien bemisst
- Das Pilotprojekt umfasst zunächst die Grundsatzentscheidung, ob die Batterien in Second-Life-Anwendungen wiederverwendet oder dem materiellen oder stofflichen Recyclingprozess zugeführt werden.
- Im Falle des Recyclings der Batterien sollen Entscheidungshilfen bei der Auswahl des optimalen Recyclingpfades gegeben werden.
- In Abgrenzung zu Pilotprojekt I Kenntnis des Batterielebens soll der inhaltliche Fokus hierbei über die technologischen Daten hinausgehen und sozioökonomische sowie ökologische Zielparameter in die Entscheidungsfindung miteinfließen lassen. Die Implementierung von Pilotprojekt III Demontagenetzwerk ist als entsprechender Dateninput in die Modellierung aufzunehmen.
- Schaffung von Vorbedingungen (insbesondere verbesserte Datenlage), um ein aussagekräftiges Life Cycle Costing (LCC) und Life Cycle Assessments (LCAs) sowie eine Circular Economy im physischen Sinne zu ermöglichen. Hierzu muss eine größtmögliche Transparenz gewahrt werden („White Box“).

2 Anforderung an die Entscheidungsplattform

Die Anforderungen an die Entscheidungsplattform lassen sich gemäß Abbildung 2 in die Anforderungen an die Datenebene, die Logikebene und die Visualisierungsebene gliedern und werden nachfolgend generisch beschrieben.

2.1 Anforderungen an die Daten- und Informationsebene

Die Basis der Entscheidungsplattform bildet eine Daten- und Informationsebene, auf der repräsentative Daten gesammelt werden, um eine aussagekräftige Modellierung mit anschließender Entscheidungsunterstützung durchführen zu können. Die Datenverfügbarkeit basiert dabei auf systematisch und kontinuierlich erfassten Daten entlang des Batterielebenszyklus (siehe auch Pilotsteckbrief I „Kenntnis des Batterielebens“). Die Daten lassen sich in Produkt- beziehungsweise Batteriedaten, Prozessdaten, Marktdaten sowie regulatorische Rahmenbedingungen wie zum Beispiel geforderte Mindestquoten gliedern. Diese Daten müssen für eine valide Modellierung weitestgehend vollständig vorliegen, was eine Herausforderung darstellt. Gemäß Abbildung 1 sollte es die Plattform ermöglichen, dass gewisse Akteure die jeweiligen, fallspezifischen Daten innerhalb ihres Kompetenzbereichs selbst beitragen. Dafür werden in Tabelle 1 exemplarische Daten und Informationen, welche in die Entscheidungsfindung einfließen, benannt.

2.2 Anforderungen an betriebliche Ausgestaltung

Vor dem Hintergrund der komplexen Entscheidungssituation wird ein modellbasierter Ansatz für eine Entscheidungsplattform vorgeschlagen. Dabei können sowohl physikalisch-analytische als auch empirische (datengetriebene) Modelle zum Einsatz kommen. Die Ausgestaltung der Logikebene soll, ausgehend von der Netzwerkebene, zum einen strategische Entscheidungen auf der Ebene einzelner Demontage- und Recyclingunternehmen und zum anderen operative Entscheidungen zu konkreten Recyclingpfaden (Verwertung versus Verwendung, Empfehlung zu alternativen Verwertungspfaden) unterstützen.

Technische Bewertung

Die Modellentwicklung und -integration erfordert realistische Betrachtungen der Massen- und Energiebilanz, der Exergieverluste innerhalb des Systems sowie der „Hidden Costs“ durch Vermischung von Materialflüssen und -verbünden. In bestehenden Circular-Economy-Ansätzen (zum Beispiel der Ellen MacArthur Foundation)⁹ werden Exergie und dissipative Verluste nur unzureichend mitgedacht und reale anwendungsspezifische Herausforderungen oft nicht hinreichend berücksichtigt. Daher müssen im Modell spezifische, reale, aktuelle und validierte Daten implementiert werden, was unter anderem einen realistischen Vergleich verschiedener Prozesstechniken¹⁰ ermöglicht.

Wirtschaftliche Bewertung

Die in der technischen Bewertung beschriebenen realistischen Betrachtungen werden ebenfalls für die wirtschaftliche Bewertung zugrunde gelegt, um validere Prognosen und Kostenkalkulationen durchführen zu können. Dahingehend werden durch Stoffgemische und Verunreinigungen resultierende geminderte

Produktinformationen	Prozessinformationen	Marktinformationen	Regulatorische Rahmenbedingungen
▪ Zellformat ▪ Zellchemie und Metallinhalt ▪ State of Health (SoH) ▪ Alter ▪ Nutzung	▪ Energiebedarf ▪ Emissionen (Luft, Wasser, Boden) ▪ Arbeitssicherheit ▪ Materialeffizienz (auch für einzelne Schlüsselmaterialien) ▪ Ressourceneffizienz ▪ Reale Outputqualität ▪ Flexibilität ▪ Kapazität und Auslastungsgrad ▪ Reifegrad	▪ Aktuelles qualitatives und quantitatives Angebot an und Preise von Traktionsbatterien ▪ Verteilung des Angebots im Markt ▪ Rohstoffnachfrage und Preise ▪ Aktuelle qualitative und quantitative Nachfrage an und Preise von Second-Life-Anwendungen ▪ Marktentwicklung	▪ Mindestsammelquoten ▪ Mindestrecyclingquoten ▪ Mindesteinsatz an Sekundärmaterial in Produktion (Recycled Content) ▪ Pfandsysteme ▪ Sonstige Anreize (für Second Life)

Tabelle 1: Exemplarische Informationen für die Entscheidungsfindung

9 | Vgl. Ellen MacArthur Foundation 2020.

10 | Vgl. Reuter et al. 2019.

Verkaufswerte ebenso wie Energieverluste berücksichtigt. Die Qualität und Reinheit der erzeugten Rezyklate hat einen wesentlichen Einfluss sowohl auf die Verfahrenskosten als auch auf die erzielbaren Preise.

Ökosoziale Bewertung

Eine ökosoziale Bewertung der Circular Economy benötigt eine transparente Diskussion, wer welche Lasten und welche Vorteile bei einem spezifischen Recycling oder einer Second-Life-Anwendung zu tragen hätte. Dabei ist beispielhaft zu klären, wer sich die verringerte Umweltbilanz eines Sekundärmaterials bei der erneuten Integration in der Produktion zu welchen Teilen anrechnen lassen kann. Ein weiteres Beispiel stellt die Berücksichtigung der Nutzungsverlängerung durch Second-Life-Anwendungen rückwirkend auf die Umweltbilanz der First-Life-Anwendung und der damit verbundenen intensiven Produktion dar. Nur durch ein standardisiertes Bewertungsschema lassen sich ökosoziale Vergleiche darstellen und eine übergeordnete Systemoptimierung realisieren. Eine bloße Problemverschiebung (Burden Shifting, Rebound-Effekte, Trade-offs) soll dahingehend unbedingt vermieden werden.

Im Zusammenhang der ganzheitlichen Optimierung und der Vermeidung einer Problemverschiebung ist eine reine Betrachtung der treibhauswirksamen Emissionen unzureichend. Weitere Indikatoren wie unter anderem das Versauerungspotenzial (Acid Potential, AP) und das Potenzial der Humantoxizität (Human Toxicity Potential, HTP) müssen ebenfalls zwingend bei der Entscheidungsfindung Berücksichtigung finden und bei Bedarf weitere aussagekräftige Indikatoren ermittelt werden. Insbesondere die Ermittlung und Anwendung von sozialen und kreislaforientierten Indikatoren stellen noch Forschungsbedarf dar.

Generell muss bei einer ökosozialen Bewertung eine Abwägung zwischen Vollständigkeit und Aufwand durchgeführt werden. Das Ziel des Pilotthemas stellt eine Berücksichtigung und Weiterentwicklung von Methoden des Life Cycle Assessments (LCA), und des sozialen LCA innerhalb der Entscheidungsunterstützung dar. In der Logikebene des Pilotprojekts werden zusammenfassend ganzheitliche Betrachtungen vorgenommen, die neben einer ökonomischen ebenfalls eine ökologische Optimierung anstreben.

2.3 Anforderungen an die Ausgestaltung der Visualisierungsebene

Die Visualisierung der Ergebnisse hinsichtlich der zu bevorzugenden End-of-Use- und End-of-Life-Behandlung sollte über vergleichbare Kennzahlen (siehe Kapitel 2.2) erfolgen und dabei kompakt und einfach verständlich sein. Folgend exemplarisch aufgeführte Kennzahlen können dabei berücksichtigt werden, wobei ein Massen- (zum Beispiel Kilogramm Batterie) oder Kapazitätsbezug (zum Beispiel Wattstunde Kapazität) der Indikatoren anzustreben ist:

- Erreichte Batteriekapazität für Weiternutzung oder Second Life
- Erzielbare Recyclingausbeuten und -qualitäten (an Batteriematerialien und/oder einzelnen Metallen und Stoffen)
- Energieeffizienz (Kilowattstunde pro Kilogramm Batterie)
- Treibhausgasemissionen (Kilogramm CO₂ pro Kilogramm Batterie)
- Versauerungspotenzial/Humantoxizitätspotenzial oder Ähnliches
- Kosten (Euro pro Kilogramm Batterie)
- Erlöse (Euro pro Kilogramm Batterie)

3 Erfolgskriterien für die Implementierung

Die Erfolgskriterien der Entscheidungsplattform resultieren aus dem potenziellen Betreiber, dessen Motivation und den berücksichtigten Akteuren der Plattform. Der Betreiber kann sowohl staatliche oder öffentliche, wissenschaftliche als auch privatwirtschaftliche Strukturen besitzen, weshalb die Struktur und Prozesse der Plattform variieren können. Um dennoch im Rahmen des Pilotprojekts die Ausgestaltung einer modellbasierten Entscheidungsplattform zu konkretisieren, werden nachfolgend drei potenzielle Plattformbetreiber aus verschiedenen Sektoren exemplarisch erläutert:

1. Fahrzeughersteller,
2. Behörde oder öffentliche Hand,
3. weitere privatwirtschaftliche Betreiber.

Der Fahrzeughersteller kann eine an seine Strukturen angepasste Plattform mit individuellen Interessen betreiben. Daneben kann die Plattform auch produkt- und herstellerübergreifend durch eine staatliche Behörde oder die öffentliche Hand (zum Beispiel Umweltbundesamt) betrieben werden. Neben den genannten Betreibern kann die Plattform auch durch ein (neben dem Fahrzeughersteller unabhängiges) privatwirtschaftliches Unternehmen betrieben werden.

	Plattformbetreiber		
	Fahrzeughersteller	Staatlich/öffentlich	Weitere Privatwirtschaft
Motivation	Reduktion der Kosten und Umweltauswirkungen von Traktionsbatterien Rohstoffsicherung und Verringerung des Einflusses von Rohstoffpreisschwankungen Bessere Zuordnung von Traktionsbatterien zu Second-Life-Anwendungen Sicherstellung der Recyclingquoten und -qualitäten Nachweis von Recycelt Content Marketing Datensouveränität und Datenschutz	Optimierung der Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit in Deutschland Optimierung von Netzwerken Integration aller Hersteller und Akteure Volkswirtschaftliche Rohstoffsicherung Kein wirtschaftliches Eigeninteresse und Unabhängigkeit	Nutzung der Datenwerte Erzeugung von Gewinnen mit dem Plattformbetrieb Hohes Kundeninteresse (Plattformnutzer) Weitgehende Unabhängigkeit Bessere internationale Handlungsmöglichkeiten
Geschäftsmodell	Kosteneinsparungen und erhöhte Materialverfügbarkeit durch erhöhte Rückgewinnung im Recycling und verstärkte Nutzung von Second-Life-Anwendungen Reduktion von End-of-Life-Rückstellungen durch verbesserte Prognosen zu Second-Life-Potenzialen Sekundäre Vorteile (Imagesteigerung, Risikomitigation) durch verbesserte Umweltbilanz Zusätzliche Geschäftsmodelle für und Einflussnahmen auf den Downstream-Markt von Batterien	kein sich tragendes Geschäftsmodell notwendig Finanzierung über zum Beispiel Herstellerabgaben denkbar Ziel: Verbesserung der Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit in Deutschland	Sammlung, Aufbereitung von Daten und Bereitstellung einer Datenbank (zum Beispiel für Life Cycle Assessment) Handel mit Datensätzen und Auswertungen Consulting
Erfolgskriterien	Validierung und Vergleichbarkeit verschiedener Plattformen durch zertifizierte Prüfer Daten- und Entscheidungstransparenz Einbindung aller relevanten Akteure und Informationen Schnittstelle für Datenzugriff von außerhalb Rentabilität der Plattform Individuelle Entscheidung bei gebrauchten Traktionsbatterien Optimierter Lebenszyklus der Traktionsbatterien	Datenschutz und Sicherung von Firmeninteressen Speicherort und transparente Nutzung der Daten Betrieb und Wartung der Plattform Einbindung aller Akteure und Informationen Standardisierung und Validierung der Daten Zugriff auf multinationale Unternehmen (auch wenn Hauptsitz außerhalb Deutschlands/der EU) Sicherung von Wissen, Altgeräten und Sekundärmaterial in Deutschland Gegebenenfalls Schnittstelle zu anderen nationalen Plattformen	Datenschutz und Sicherung von Firmeninteressen Speicherort und transparente Nutzung der Daten Einbindung aller Akteure und Informationen Zugang zur Plattform und Datenbank Standardisierung und Validierung der Daten Rentabilität der Plattform Ganzheitlich nachhaltige Betrachtung

Tabelle 2: Ausgestaltung der Entscheidungsplattform in Abhängigkeit des Betreibers

Tabelle 2 listet die betreiberspezifische Motivation, ein potenzielles Geschäftsmodell sowie Anforderungen und Entscheidungskriterien der Plattform auf, welche nachfolgend erläutert werden.

3.1 Übersicht über Motivation und Geschäftsmodell des Plattformbetreibers

Eine betreiberspezifische Ausarbeitung der Plattform resultiert aus unterschiedlichen Motivationen und Geschäftsmodellen. Die Geschäftsmodelle können dabei unter anderem auf dem Handel mit Daten und Auswertungen beruhen oder auf einer gesellschaftlichen oder industriellen (zum Beispiel in Form einer

Herstellerabgabe) Finanzierung basieren. In Tabelle 2 sind mögliche Motivationen und Geschäftsmodelle der verschiedenen Betreiber aufgelistet.

Eine mögliche Plattformausgestaltung mit einem Geschäftsmodell, welches das optimierte Matching von individuellem Angebot und Nachfrage verfolgt, wird nachfolgend in Abbildung 5 demonstriert.

Der Wissenschaft kommt hierbei eine besondere Rolle zu, da sie als Querschnittsfunktion die bestehenden Methoden und Ergebnisse auswerten kann und gleichzeitig für die Aktualisierung der Methoden anhand neuester Erkenntnisse zuständig ist.

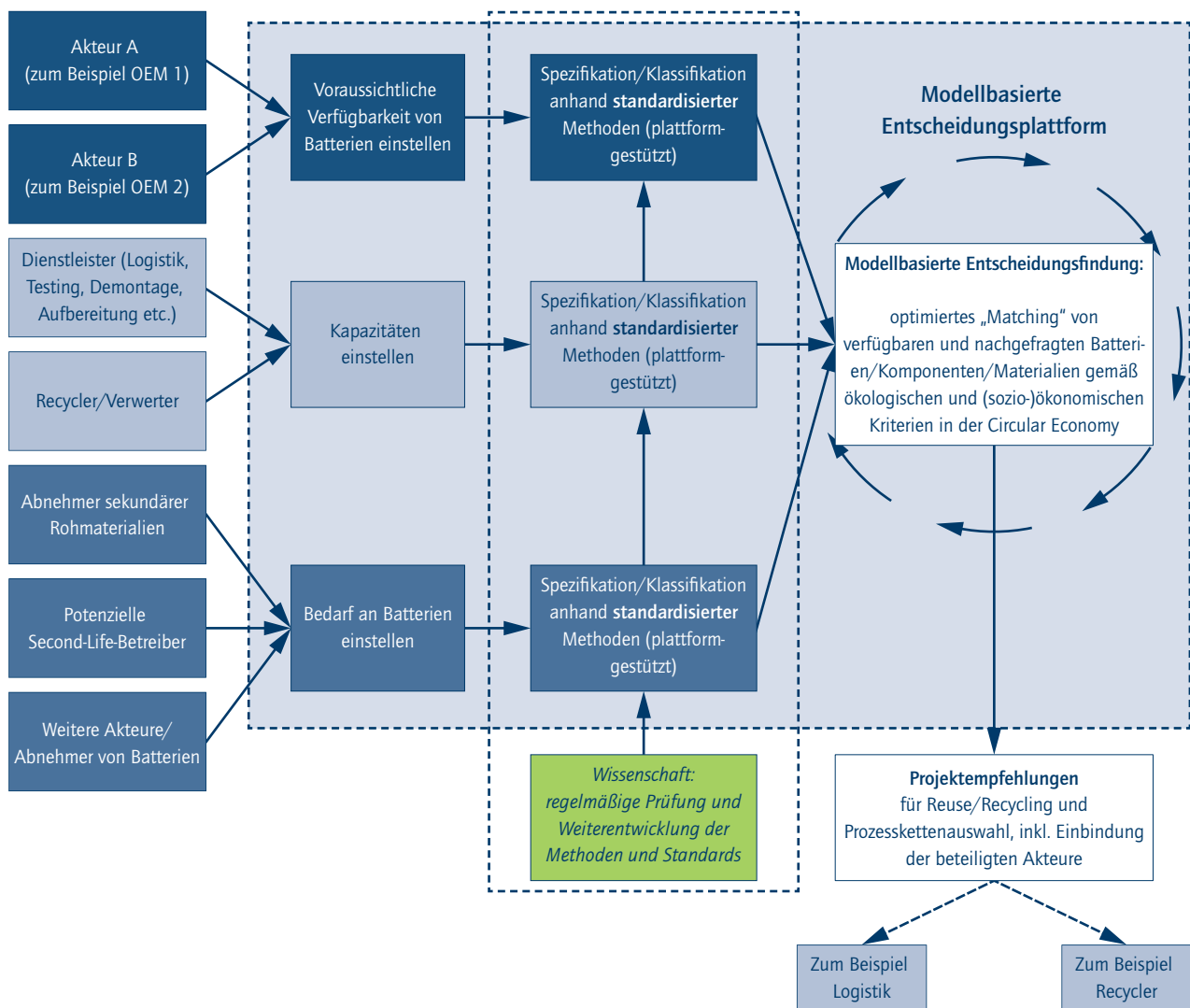


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Einbindung einer Plattform in Geschäftsprozesse der Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung)

3.2 Übersicht über einzubindende Akteure

Die Identifizierung und Einordnung beteiligter Akteure und Stakeholder der Plattform bedarf einer strukturierten Analyse und ist sehr plattformspezifisch.¹¹ In die Stakeholderanalyse müssen die Identifizierung („wer“), der Grund des Interesses an der Plattform („warum“) und die Durchsetzung der Interessen beziehungsweise des Einflusses auf die Plattform und andere Stakeholder („wie“) einbezogen werden. In Tabelle 3 sind als erster Schritt relevante Akteure, die in der Umsetzung einer Entscheidungsplattform für gebrauchte Traktionsbatterien zu berücksichtigen sind, aufgelistet.

Stakeholder		
im Materialfluss	in Peripherie	in Regulatorik
▪ Rohstofflieferant (Primär und Sekundär) ▪ Komponentenhersteller ▪ Batteriehersteller ▪ Fahrzeughersteller ▪ Nutzer (First und Second Life) ▪ Werkstätten ▪ Logistiker ▪ Demontagebetriebe/-zentren ▪ Aufarbeiter ▪ Recycler	▪ Serviceanbieter (IT, Tracking and Tracing, Monitoring, Reporting: Dateninfrastruktur) ▪ Plattformbetreiber ▪ Serviceanbieter für Second Life ▪ Wissenschaft ▪ Zertifizierer/Prüfstanz ▪ Energieerzeuger (stationäre Speicher)	▪ Gesetzgebung ▪ Genehmigungs- und Überwachungsbehörde ▪ Datenschutz ▪ Grenzüberwachung (Zoll)

Tabelle 3: Relevante Akteure für Entscheidungsplattform

Mögliche Interessen ausgewählter Akteure in Bezug auf die Entscheidungsplattform

- **Rohstofflieferant (Primär und Sekundär)**
Der Rohstofflieferant ist an Marktentwicklungen in Bezug auf First- und Second-Life-Anwendungen sowie dem daraus resultierenden Angebot, der Nachfrage und den Preisentwicklungen von Primär- und Sekundärmaterialien interessiert. Darüber hinaus zeigt er Interesse an erzielbaren Sekundärqualitäten. Durch die Kenntnis kann er seine Kapazitäten und Preise managen.
- **Batteriehersteller**
Der Batteriehersteller ist an Marktentwicklungen bezüglich seiner Supply Chain interessiert. Außerdem hat er durch das Design und die Herstellung der Batterie großen Einfluss auf mögliche End-of-User und End-of-Life-Szenarien, wobei sein Fokus klar auf der Erstanwendung liegt.

- **Fahrzeughersteller**
Der Fahrzeughersteller ist daran interessiert, seine zurückgenommenen Batterien (gegebenenfalls durch Dritte) einer bestmöglichen Aufarbeitung beziehungsweise einem Recycling zuzuführen, um möglichst hohe ökonomische und ökologische Erträge beziehungsweise Gutschriften erzielen zu können. Über die Plattform könnte auch der Anteil an Responsible Sourcing und Responsible Recycling nachgewiesen werden und eine höhere Unabhängigkeit gegenüber Rohstoffpreisschwankungen durch kreislaforientierte Serviceangebote (zum Beispiel Leasingmodelle mit Reuse und Recycling as a Service) erreicht werden. Darüber hinaus kann die Plattform zur Reduktion von Kosten und Risiken durch den Übertrag der End-of-User-Haftungs- und Kapitalkosten (bezüglich Haftungs-, Rückstellrisiken und Kapitalkosten) auf Second-Life-Anwenderinnen und -Anwender dienen. Die Plattform kann ebenfalls zu Marketingzwecken genutzt werden („Grünes Image“).
- **Nutzer (First und Second Life)**
Der Nutzer einer First- oder Second-Life-Anwendung ist daran interessiert, ein zertifiziertes, hochwertiges und nachhaltiges Produkt zu erhalten und nach dem Gebrauch einen möglichst hohen Verkaufspreis beziehungsweise niedrige Entsorgungskosten zu erzielen. Durch seine Kaufentscheidung und die Bereitstellung von Nutzungsdaten hat er Einfluss auf die Plattform aus.
- **Aufarbeiter**
Der Aufarbeiter ist an Marktentwicklungen zu angebotenen gebrauchten Batterien und nachgefragten Second-Life-Anwendungen interessiert. Ebenfalls interessiert er sich für Qualitätsansprüche und Qualitätsvorhersagen seiner Anwendungen. Durch die Plattform hat er die Möglichkeit, hochwertige gebrauchte Batterien anbieten zu können, während Batterien mit niedrigerer Qualität (zum Beispiel Restkapazität) einer Verwertung zugeführt werden. Durch die Auslegung und Effizienz der Aufarbeitung übt er einen hohen Einfluss auf die Entscheidungen der Plattform aus.
- **Recycler**
Der Recycler ist an Marktentwicklungen zu angebotenen gebrauchten Batterien und der Nachfrage an Sekundärmaterialien interessiert. Durch seine technische Ausstattung und die daraus resultierenden Energie- und Materialeffizienzen sowie Qualitäten hat er einen hohen Einfluss auf die Entscheidungsfindung der Plattform. Mithilfe der Plattform kann der Recycler eine optimale Prozessauslegung realisieren und Produkte mit einem hohen ökonomischen und ökologischen Gewinn erzeugen.

¹¹ | Vgl. Ashby 2016.

▪ Plattformbetreiber

Der Plattformbetreiber ist, soweit abweichend von genannten Akteuren, am Mehrwert seiner Plattform für die anderen Akteure interessiert. Durch die Struktur und die Definition der Entscheidungslogik nimmt er großen Einfluss auf die Plattform.

▪ Wissenschaft

Die Wissenschaft besitzt ein hohes Interesse an transparenten und objektiven Entscheidungen hinsichtlich einer optimalen End-of-User- und End-of-Life-Behandlung. Sie legt durch die Entwicklung standardisierter Methoden und Werkzeuge die Grundlage für die Entscheidungslogik und ist an deren Weiterentwicklung interessiert.

▪ Gesetzgeber, Genehmigungs- und Überwachungsbehörde

Der Gesetzgeber und die überwachenden Behörden sind daran interessiert, kritische Materialien und End-of-User- und End-of-Life-Kompetenzen in Deutschland und Europa zu halten und die Wertschöpfung zu erhöhen. Des Weiteren legt der Gesetzgeber Klimaziele fest und ist somit an einer Reduktion der Emissionen durch eine zirkuläre Wertschöpfung

interessiert. Durch die genannten Festlegungen sowie Gesetze unter anderem bezüglich Datensicherheit und Governance gibt er den Rahmen für die Plattform vor.

Die beschriebenen Aufgaben fallen dabei teils mehreren Akteuren zu, während mehrere Aufgaben teils nur einem Akteur obliegen. Im nächsten Schritt gilt es die jeweiligen Interessen und Einflussnahmen auf die Entscheidungsplattform offenzulegen. Der Einfluss und das Interesse ausgewählter Akteure auf die Entscheidungsplattform werden in Abbildung 6 visualisiert.¹²

Die Darstellung der Akteure ist sehr individuell und kann von der Plattform, aber auch von der Art des Akteurs abhängen und muss daher je nach Fall spezifisch ausgearbeitet werden. Beispielsweise verändert sich der Einfluss einzelner Akteure, wenn die Plattform statt privatwirtschaftlich staatlich betrieben wird. Dies kann ebenfalls großen Einfluss auf die Auswahl und das Interesse der Akteure haben.

3.3 Erfolgskriterien für die Entscheidungsplattform

Um die Entscheidungsplattform erfolgreich umzusetzen, muss der Aufbau der Logikebene für eine breite Akzeptanz valide und fair sein. Standardisierte Methoden ebenso wie faire Systemgrenzen unter anderem in Bezug auf die Verteilung von Lasten und Gutschriften im Second Life und Recycling¹³ sind hierfür auszuarbeiten. Der Erfolg der modellbasierten Entscheidungsplattform bemisst sich am steigenden Interesse und Einfluss der einzelnen Akteure an der Plattform und damit einer Unterstützung der Circular Economy (siehe Abbildung 6). Darüber hinaus ergeben sich betreiberspezifische Erfolgskriterien (siehe auch Tabelle 2).

Fahrzeughersteller als Plattformbetreiber

Diverse Fahrzeughersteller könnten parallele Plattformen für ihre Netzwerke entwickeln. Dabei ist sicherzustellen, dass die Plattformen untereinander vergleichbar sind und einer unabhängigen Zertifizierung unterzogen werden sollten. Für einen größtmöglichen Erfolg ist die Einbindung aller relevanten Akteure und deren Daten sowie eine transparente Entscheidungsfindung essenziell. Als Erfolgskriterium ist ebenfalls die Rentabilität der Plattform zu sehen, indem sie über den optimierten Lebenszyklus der Traktionsbatterie zu Einsparungen an Kosten und Umweltauswirkungen beiträgt.

Behörde und öffentliche Hand als Plattformbetreiber

Für eine erfolgreiche, staatlich betriebene zentrale Plattform sind sowohl der Datenschutz und die Sicherung von Firmeninteressen

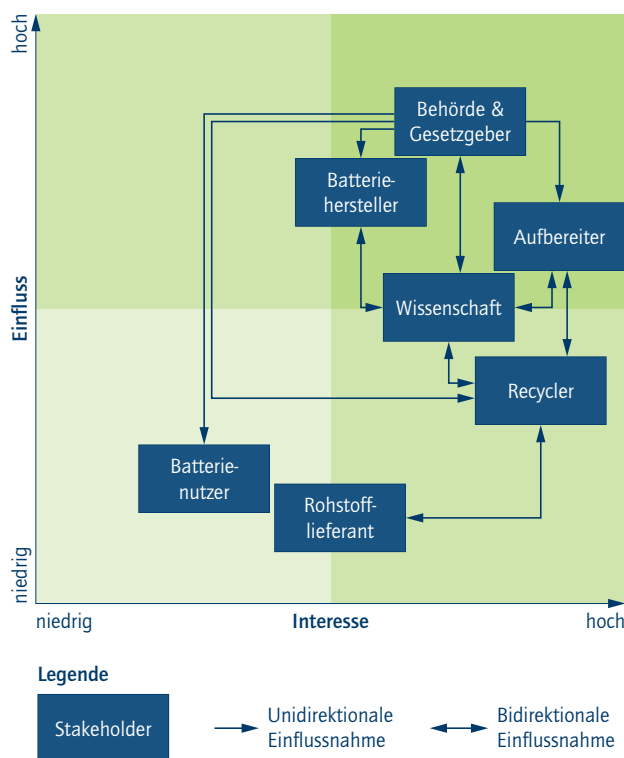


Abbildung 6: Einfluss und Interesse der Akteure in Bezug auf die Ausgestaltung der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)

¹² | Vgl. DIN EN ISO 14040:2009-11 2009.

¹³ | Vgl. DIN EN ISO 14040:2009-11 2009.



als auch der Speicherort und die transparente Nutzung und Weitergabe von Daten sicherzustellen. Für ein zentrales Datenmanagement müssen die Daten standardisiert und validiert werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung sollten neben nationalen auch multinationale Unternehmen mit Standort in Deutschland berücksichtigt werden. Der Erfolg der Plattform lässt sich an der Sicherung von Wissen, Altgeräten und Sekundärmaterial in Deutschland bemessen.

Privatwirtschaftlicher Plattformbetreiber

Die Erfolgskriterien einer privatwirtschaftlichen Plattform beziehen sich durch die potenziell zentral ausgestaltete Plattform sowohl auf die beschriebenen Kriterien eines Fahrzeugherstellers als auch einer staatlich betriebenen Plattform. Für eine erfolgreiche Umsetzung der Plattform als solche muss sie als Dienstleistung rentabel und einfach anwendbar für die Akteure sein. Ebenfalls muss es Anreize für die Akteure geben, damit diese ihre Daten bereitstellen.

4 Erwartete Impact-Potenziale des Pilotprojekts

- Auf *volkswirtschaftlicher und gesamtgesellschaftlicher Ebene* kann eine solche datengestützte Modellierung dazu beitragen, politische Handlungsempfehlungen mit klaren Zielvorgaben zu quantifizieren (wie die Festlegung bestimmter Recyclingquoten, zum Beispiel X Prozent des Lithiums aus Batterien müssen recycelt werden).
- Auf *betriebswirtschaftlicher Ebene* können einzelne Akteure auf Grundlage des entwickelten offenen und modularen Modells unter Einbeziehung interner Daten unternehmensspezifische Szenarien entwickeln und die optimale End-of-Life-Verwendung ermitteln, ohne dabei jedoch vertrauliche Informationen öffentlich machen zu müssen.
- Die entwickelten Szenarien können sodann beispielsweise dabei helfen, robuste Entscheidungen hinsichtlich der optimalen Dimensionierung von neuen Recyclinganlagen sowie des richtigen Investitionszeitpunkts zu treffen.

4.1 Einfluss auf das Zielbild 2030

Zur Operationalisierung der Transformation zu einer dekarbonisierten, zirkulären Wirtschaft entwickelten die Teilnehmenden der Arbeitsgruppe Traktionsbatterien ein gemeinsames Zielbild entlang der folgenden fünf Dimensionen. Diese sollen die in ProgRess III definierten Ressourcenproduktivitätsziele 2030¹⁴ berücksichtigen.

- **Regulatorik**
 - Eine (zentrale) Plattform gewährleistet Datenschutz und Sicherheit.
 - Eine kennzahlenbasierte Offenlegung von Potenzialen der Circular Economy fördert und harmonisiert eine hochwertige Weiterverwendung und Responsible Recycling.
 - Ein standardisiertes Verfahren, das die Rezyklatanteile der am Markt verfügbaren Rohmaterialien ermitteln und anrechnen kann, ermöglicht exakte, realitätsgetreue und für Konsumierende transparente Umweltbewertungen von Batterien.

- **Stoffströme**
 - Die Kenntnis über den regionalen Standort, die Menge und Qualität der Traktionsbatterie durch Tracking- und Tracing-Tools liefert einen wichtigen Baustein für die Kapazitäts- und Logistikplanung.
 - Sichere Datenbanken innerhalb der Plattform mit standardisierten Schnittstellen und Daten sowie transparenten Protokollen stellen Akteuren entlang der Wertschöpfungskette maßgeschneiderte Informationen zur Verfügung und gewährleisten gleichzeitig den Schutz intellektuellen Eigentums und Wettbewerbsvorteile (vergleiche International Data Spaces). Hierbei ergänzen sich privatwirtschaftliche Lösungen mit solchen der öffentlichen Hand.
 - Relevante Forschung und Entwicklung bezüglich Batteriealterung, Testing und sicherer Handhabung hat zu Klarheit geführt, inwieweit Vehicle-to-X(V2X)- und Second-Life-Anwendungen von Traktionsbatterien ökonomisch und ökologisch sinnvoll sind. Innerhalb der Entscheidungsfindung der Plattform gewinnen Second-Life-Anwendungen dadurch an Wichtigkeit.
 - Alle Traktionsbatterien werden am Ende ihrer Nutzung eingesammelt und nach eventueller Wartung und/oder, wo sinnvoll, einem weiteren Leben gegebenenfalls in stationärer Anwendung, letztlich effizientem und hochwertigem Recycling zugeführt. Die Plattform liefert für die Auswahl einer bestmöglichen Behandlung eine wichtige Entscheidungsunterstützung.
- **Technische Entwicklung**
 - Design for Circularity und Design for Recycling sind zum Industriestandard geworden und ermöglichen zirkuläre Geschäftsmodelle sowie die Steigerung realer Recyclingraten.
 - Die weite Verbreitung von Tracing- und Trackingtechnologien (Battery Passports und Circular Economy Data Spaces) und die vielseitige Integration in Geschäfts(IT-)systeme stellen die verlässliche Informationsbereitstellung und Informationen über den Verbleib der Batterien unter Gewährleistung von Datenschutz und Sicherheit sicher.
 - Modularer Aufbau von Batterien – zum Teil auch zwischen verschiedenen Batteriesystemherstellern – hilft, die Reparatur, Weiterverwendung und das Recycling von Batterie(-komponenten) effizient zu gestalten.

14 | Vgl. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019.



- Die zunehmende Automatisierung von Wartung und Demontage führt zur Skalierung und Kostensenkung von Wiederverwendungs- und End-of-Life-Maßnahmen.
- Recyclingtechnologien sind im Vergleich zu 2020 durch technische Weiterentwicklung deutlich (energie) effizienter, ökonomischer, sicherer und effektiver (insbesondere bezüglich Ausbeute und Reinheit) in der Erzeugung hochwertiger Rezyklate. Somit kann der Großteil der Materialien hochwertig und ökonomisch wiedergewonnen werden. Eine weitestgehend automatisierte Fließschemasimulation unterstützt bei der Optimierung durch die Offenlegung von Hotspots und dem Vergleich mit anderen Technologien und Prozessen.
- **Wertschöpfungsnetzwerke**
 - Die Plattform trägt maßgeblich zur Kooperation der Akteure und der übergeordneten Netzwerkoptimierung bei, zum Beispiel durch eine Nutzungsverlängerung und Kaskadenwirtschaft sowie eine hochwertige Kreislaufführung von Batteriematerialien.
 - Batterien werden über Akteure hinweg über den gesamten Lebenszyklus gemanagt und erzeugen dadurch völlig neue Geschäftsmodelle und Konstellationen von Akteuren.
 - Es entwickeln sich neue Rollen für existierende Akteure (kein klassisches Denken in Upstream und Downstream) und völlig neue Betätigungsfelder mit neuen Marktspielen. Durch die faire Verteilung von Aufwendungen und Gutschriften innerhalb der Netzwerke schafft die Plattform eine hohe Akzeptanz bei den Akteuren.
 - Die verbreitete Anwendung von digitalen Plattformen für Batterien und ihre Materialien hat zu einer hohen Transparenz und Markteffizienz geführt, die eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle für neue und alte Marktteilnehmer ermöglicht.
 - Damit einher geht eine strategische und operative Integration des Energie- und Transportsektors im Sinne der Sektorkopplung, unterstützt durch nachhaltige technologisch-gesellschaftliche Trends (insbesondere Elektromobilität, Energiewende und Industrie 4.0). Dabei berücksichtigt die Entscheidungsplattform die Verzahnung der Mobilitäts- und Energiewende durch die bestmögliche Ausnutzung von Second-Life-Anwendungen, wie zum Beispiel stationäre Speichersysteme.
- **Innerbetriebliche Umsetzung**
 - Der Aufbau effektiver Demontagenetzwerke (Demontage, Bewertung, Transport) hat zu einer effizienten, sicheren Handhabung der rasch ansteigenden Mengen von End-of-User- und End-of-Life-Batterien geführt. Dabei hat die frühzeitige Steuerung des Markthochlaufs der Demontageanlagen durch die Unterstützung der Plattform eine effiziente Kombination aus dezentralen und zentralen Standorten und Systemen nach sich gezogen.
 - Neue ganzheitliche Kennzahlensysteme (ökonomisch, ökologisch, sozial), die neue zirkuläre Geschäftsmodelle und deren Wertströme auf Organisations- und Produktebene entsprechend abbilden, haben weite Anwendung gefunden und werden gemäß ihrem Beitrag zur Erreichung von (inter)nationalen Zielen für Ressourcenproduktivität und -effizienz veröffentlicht und nachverfolgt.

4.2 Mögliche Austauschbeziehungen (Trade-offs)

Bei der Entscheidungsunterstützung sind Zielkonflikte zu erwarten, da die ökologisch zu bevorzugende Behandlung gebrauchter Batterien nicht auch die betriebswirtschaftlich-ökonomisch sinnvollste darstellen muss. Exemplarisch lässt sich dies anhand der Demontagetiefe in der Aufbereitung erläutern. Umso tiefer demontiert wird, umso potenziell reiner lassen sich Komponenten und enthaltene Materialien trennen, wobei durch oftmals manuelle Prozesse die erzeugten Umweltauswirkungen gering sind. Gleichzeitig bedeuten manuelle Prozesse, insbesondere in Hochlohnländern, hohe Aufbereitungskosten^{15, 16} und mindern folglich die Wirtschaftlichkeit.

Als Grundlage der Entscheidungsplattform ist eine technische Umsetzbarkeit sicherzustellen. Daher sind die übergeordneten Ziele und deren Hierarchie und Gewichtung essenziell für eine nachhaltige und gesellschaftlich akzeptierte Entscheidungsunterstützung. Eine Umsetzung der Circular Economy ist unter der alleinigen Betrachtung von lokalen ökonomischen Faktoren, wie sie in der Regel aktuell genutzt werden, nicht realisierbar. Dem Ziel der Nachhaltigkeit folgend, soll daher neben dem volkswirtschaftlichen auch der ökologische und gesellschaftliche Aspekt in der Entscheidungsunterstützung verstärkt werden. Dabei ist im Sinne einer gesamtgesellschaftlichen unternehmerischen Verantwortung der ökologische und soziale Aspekt den ökonomischen Interessen gleichberechtigt bei- oder – soweit zumutbar – überzuordnen. Um Transparenz und Objektivität zu wahren, sollen dennoch alle Indikatoren dargestellt werden.

15 | Vgl. Canals Casals et al. 2016.

16 | Vgl. Kwade/Diekmann 2018.

5 Handlungsempfehlungen und Roadmap

Ausgehend von den beschriebenen exemplarisch ausgestalteten Entscheidungsplattformen lassen sich nachfolgend Handlungsempfehlungen aussprechen und eine Roadmap für eine weitere

Ausgestaltung einer Entscheidungsplattform innerhalb der Circular Economy festlegen.

5.1 Handlungsempfehlungen für Politik, Wirtschaft, Wissenschaft, Zivilgesellschaft

Auszusprechende Handlungsempfehlungen lassen sich für vier Zielgruppen (Politik, Wirtschaft, Wissenschaft und Zivilgesellschaft) festlegen, sie sind teilweise plattformbetreiber-spezifisch. Nachfolgend sind in Tabelle 4 die Handlungsempfehlungen zusammenfassend aufgelistet.

	Plattformbetreiber		
	Fahrzeughersteller	Behörde/öffentliche Hand	Privatwirtschaft
Politik	- Standardisierung von Berechnungen, Bewertungen und Schnittstellen - Zertifizierung - Anreize für Second-Life-Anwendungen - Datenschutz und Geheimhaltung (politische) Handlungsempfehlungen mit quantifizierten Zielvorgaben		
		- Finanzierung und Steuerung der Plattform - Transparenz und einfache Nutzung der Plattform - Entwicklung einer Plattform mit Datenschnittstellen und Datenbeschränkungen	
Wirtschaft	- Schaffung von Nachfragemärkten - Standardisierung von Berechnungen und Datenschnittstellen - Organisation in Netzwerken - Zusammenarbeit mit Wissenschaft		
	- Finanzierung und Steuerung der Plattform - Datenschutz und Geheimhaltung von Dritten - Entwicklung einer Plattform mit Datenschnittstellen und Datenbeschränkungen		- Finanzierung und Steuerung der Plattform - Datenschutz und Geheimhaltung von Dritten - Entwicklung einer Plattform mit Datenschnittstellen und Datenbeschränkungen
Wissenschaft	- Berechnungsgrundlagen und Kennzahlensysteme weiterentwickeln und validieren (zum Beispiel Life Cycle Assessment(LCA)-Methodik) - Flexibilität gegenüber Produkten und Prozessen frühzeitig mitdenken - Methoden für nachhaltige Entscheidungsfindung automatisieren beziehungsweise durch Software unterstützen - Konzeptionelle Entwicklung und fortlaufende Evaluierung einer Entscheidungsplattform - Anwendbarkeit auch ohne gezieltes Expertenwissen sicherstellen - Anwendungsnahe Querschnittsforschung zur ganzheitlichen Entwicklung und Bewertung vorantreiben		
Zivilgesellschaft	- Bedeutung des Nutzers für Lebenszyklus hervorheben - Verbleibendes wirtschaftliches Potenzial der Gebrauchtbatterien betonen - Nutzung von Second-Life-Anwendungen (stationäre Speicher)		

Tabelle 4: Handlungsempfehlungen in Abhängigkeit des Plattformbetreibers

5.2 Gemeinsame Roadmap für ein Pilotprojekt

Zur Weiterentwicklung des Pilotprojekts sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 Umsetzungsschritte festgelegt und drei Zeit-horizonten zugeordnet.

Dabei gliedern sich die Umsetzungsschritte in der Plattform in hinterlegte standardisierte Berechnungsmethoden, komprimierte und einfache Visualisierungsmethoden sowie Prognosen zu Angebot und Nachfrage. Mittelfristig sollen prototypische Entscheidungsplattformen umgesetzt und weiterentwickelt werden, sodass im Anschluss eine valide und robuste Plattform entwickelt werden kann. Hierfür ist es notwendig, zentral Anreizsysteme für die Akteure entlang des Produktlebenszyklus hin zu einer zirkulären Wertschöpfung zu entwickeln.

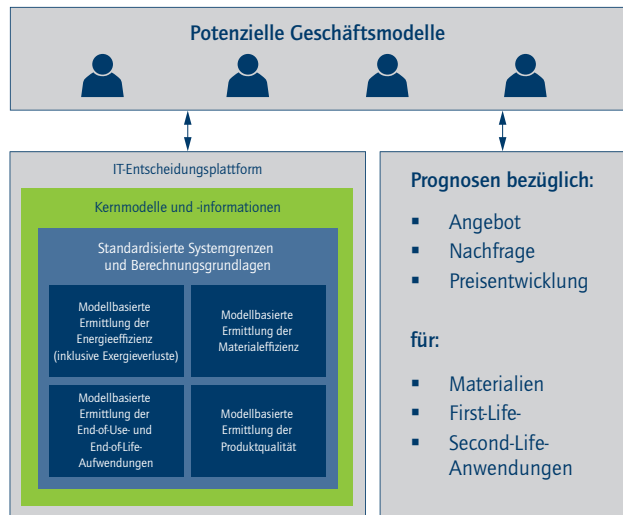


Abbildung 7: Umsetzungsschritte der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)

AP	Arbeitspaket	Horizont 1												Horizont 2	Horizont 3
		Jahr 2021				Jahr 2022				Jahr 2023				bis 2027	bis 2030
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4		
AP1	Entwicklung von Nachfrage- und Preisprognosen für First- und Second-Life-Anwendungen sowie Batteriematerialien in Europa bis 2035													Identifizierung möglicher Geschäftsmodelle und Ausarbeitung eines Plattformbetreibers; gezielte Unterstützung einer Entscheidungsplattform, unter anderem finanziell durch Unterstützung von Prototyping; Entwicklung eines Anreizsystems für zirkuläre Wertschöpfung in Netzwerken	Modelle vervollständigen/weiterentwickeln; Umsetzung der Entscheidungsplattform; Einbindung weiterer Akteure
AP2	Festlegung von internationalen/europäischen Berechnungsstandards, Systemgrenzen und Kennzahlen zur Bewertung von End-of-Use-/End-of-Life-Szenarien														
AP3	Konzeptionelle Entwicklung einer Plattform für verschiedene Betreiber														
AP4	Modellbasierte Ermittlung der Energieeffizienz (inkl. Exergieverlusten) verschiedener Prozessrouten														
AP5	Modellbasierte Ermittlung der Materialeffizienz verschiedener Prozessrouten														
AP6	Modellbasierte Ermittlung notwendiger Aufwendungen und erreichbarer Produktqualitäten verschiedener End-of-Use-/End-of-Life-Behandlungen														
AP7	Entwicklung von anwendungsfreundlichen, komprimierten Berechnungs- und Visualisierungsmethoden														
AP8	Ausarbeitung der Roadmap für eine Entscheidungsplattform für Traktionsbatterien in Europa bis 2035														

Abbildung 8: Roadmap der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)

6 Ausblick

Zur weiteren Ausgestaltung und Abstimmung des Pilotprojekts wird auf das Dachkonzept „Forschungsfabrik Batterie“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) verwiesen. Das BMBF verfolgt mit dem Konzept einen themenorientierten, kohärenten, nationalen Ansatz zur Förderung und Weiterentwicklung der Batterieforschung in Deutschland. Die Initiativen sind eng mit denen des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) mit Blick auf die Errichtung einer großskaligen Batteriezellproduktion sowie die Abdeckung der gesamten Wertschöpfungskette verzahnt. Insbesondere mit der Querschnittsinitiative Batterielebenszyklus und dem Aufbau von zwei neuen Kompetenzclustern soll die Umsetzung einer Circular Economy für mobile Energiespeicher in Deutschland gestärkt werden:

- **Kompetenzcluster „Recycling/Green Battery“:** Im Fokus des Kompetenzclusters steht die nachhaltige Batteriezellproduktion unter der Prämisse eines effizienten Ressourceneinsatzes. Ziel dieses Schwerpunkts ist die Erarbeitung von Konzepten für ein recyclinggerechtes Batteriedesign. Das Design soll hierbei auf den verschiedenen Ebenen einer Batterie (Material-, Zellkomponenten- und Zellebene) realisiert werden. Auch soll mit der (Weiter-)Entwicklung von Recyclingverfahren die funktionserhaltende Materialrückgewinnung aus dem Recyclingstrom und aus Rückständen des Produktionsprozesses adressiert werden.
- **Kompetenzcluster „Batterienutzungskonzepte“:** Im Kompetenzcluster soll Know-how zur Modul- beziehungsweise Zelldiagnose inklusive einer End-of-Life-Schnellcharakterisierung sowie Zustandsbestimmung erarbeitet werden. Zusätzlich werden beschleunigte Alterungsverfahren und Sicherheitskonzepte adressiert. Die gesammelten Daten sollen zurück in die Zellentwicklung und die Fertigungsprozesse fließen. Durch diesen iterativen Prozess tragen sie damit zum Ressourcenschutz bei. Zur erfolgreichen Implementierung des Moduls wird eine ergänzende System- und Anwendungsanalyse vorgeschlagen. Neben der Beobachtung von Trends im

Bereich Energiespeicherung gilt es, die wirtschaftlichen, energetischen und umweltrelevanten Daten zu erfassen und zu analysieren.

Clusterübergreifend werden Kosten und potenzielle Umweltwirkungen entlang des Lebenswegs von Batterien untersucht. Mit dem Ziel einer (Batterie-)Systembewertung werden darüber hinaus auch potenzielle künftige Batteriesysteme auf ihre Wirtschaftlichkeit, Anwendungsrelevanz und Ökobilanz hin analysiert.

6.1 Erwartete Herausforderungen

- Zentral für die angestrebte Modellierung ist eine Spezifizierung des benötigten Dateninputs (zum Beispiel bezüglich des Zustands der Batterie, zukünftiger Hochlaufquoten, Marktdurchdringungsraten). Um eine entsprechende Szenario-bewertung vornehmen zu können, bedarf es einer Einigung und Festlegung auf bestimmte Standards und Zielsysteme, zum Beispiel hinsichtlich verschiedener Second-Use-Anwendungsfälle.
- Auch eine Harmonisierung von Industriestandards an der Schnittstelle zwischen den Anwendungsfällen „mobiler Stromspeicher“ und „stationärer Stromspeicher“ scheint hier relevant.

6.2 Offene Fragen und mögliche nächste Schritte

- Zertifikatehandel für Sekundärrohstoffe als mögliches Anreizsystem
- Einfluss von Stoffverboten auf Stoffströme
- Lernen von der Primärindustrie: Berücksichtigung von Treatment und Refining Charges (Recycling als Dienstleistungsgeschäft, Metalleigentum verbleibt beim Fahrzeughersteller beziehungsweise Anlieferer der Recyclingbatterien)
- Fokussierung des Recyclings auf (zertifizierte) Outputqualität
- Definition von Richtlinien zur Zuordnung, Verteilung und Dokumentation von Gutschriften durch Wiederverwendung und Recycling

Anhang

Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Definition
ACES	Autonomous, Connected, Electric, Shared Mobility (autonome, vernetzte, elektrische, geteilte Mobilität)
BEV	Battery Electric Vehicle (batterieelektrisches Fahrzeug, in der Regel PKW)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
CAN	Controller Area Network
CE	Circular Economy
CEID	Circular Economy Initiative Deutschland
CEPS	Center for European Policy Studies
EC	Europäische Kommission
EE	Erneuerbare Energien
EGD	European Green Deal
ELV	End of Life Vehicle (Altfahrzeug)
EoL	End-of-Life (Ende des (ersten) Produktlebens)
EoU	End-of-Use (Ende der (ersten) Nutzungsphase)
EPR	Extended Producer Responsibility (erweiterte Herstellerverantwortung)
EU	Europäische Union
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (Brennstoffzellenfahrzeug, in der Regel PKW)
GBA	Global Battery Alliance
HEV	(Mild) Hybrid Electric Vehicle; Hybridfahrzeug (ohne Möglichkeit der externen Ladung)
IIOT	Industrial Internet of Things
IP	Intellectual Property
KEA	Kumulativer Energieaufwand
LCA	Life Cycle Assessment
LFP	Lithium-Eisen-Phosphat
LIB	Lithium-Ionen-Batterien
LMO	Lithium-Mangan-Oxid
MaaS	Mobility as a Service
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NCA	Nickel-Kobalt-Aluminium
NMC	Nickel-Mangan-Kobalt
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle; Plug-in Hybrid
PRO	Product Responsibility Organisations
ROI	Return on Investment
SL	Second Life
SoH	State of Health
TCO	Total Cost of Ownership, Lebenszeitkosten
THG	Treibhausgas
V1G	Smart Charging (gesteuertes unidirektionales Laden von Elektrofahrzeugen)
V2G/V2X	Vehicle-to-Grid/Vehicle-to-X (bidirektionales Laden zwischen Fahrzeug und Elektrizitätsnetz (V2G) beziehungsweise Heimspeichern und anderen Elektrizitätskonsumierenden (V2X))



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Konzept der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	5
Abbildung 2:	Modellstruktur der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	6
Abbildung 3:	Entscheidungslogik – Kombination aus Entscheidungsbaum und Fließschemasimulation für Entscheidungen auf Unternehmensebene (Mikroebene) (Quelle: eigene Darstellung)	7
Abbildung 4:	Integration der Netzwerk- und Unternehmensebene in der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	8
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Einbindung einer Plattform in Geschäftsprozesse der Circular Economy (Quelle: eigene Darstellung)	13
Abbildung 6:	Einfluss und Interesse der Akteure in Bezug auf die Ausgestaltung der Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	15
Abbildung 7:	Umsetzungsschritte der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	20
Abbildung 8:	Roadmap der modellbasierten Entscheidungsplattform (Quelle: eigene Darstellung)	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Exemplarische Informationen für die Entscheidungsfindung	10
Tabelle 2:	Ausgestaltung der Entscheidungsplattform in Abhängigkeit des Betreibers	12
Tabelle 3:	Relevante Akteure für Entscheidungsplattform	14
Tabelle 4:	Handlungsempfehlungen in Abhängigkeit des Plattformbetreibers	19

Literatur

Ardente et al. 2018

Ardente, F./Talens Peiró, L./Mathieux, F./Polverini, D.: „Accounting for the environmental benefits of remanufactured products: Method and application“. In: Journal of Cleaner Production, 198, 2018, S. 1545–1558.

Ashby 2016

Ashby, M. F.: Materials and Sustainable Development: Butterworth-Heinemann 2016.

Bartie et al. 2020

Bartie, N. J./Abadías Llamas, A./Heibeck, M./Fröhling, M./Volkova, O./Reuter, M. A.: „The simulation-based analysis of the resource efficiency of the circular economy – the enabling role of metallurgical infrastructure“. In: Mineral Processing and Extractive Metallurgy, 129: 2, 2020, S. 229–249.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit 2019

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit: Referentenentwurf für die Fortschreibung des Deutschen Ressourceneffizienzprogramms ProgRess III, Berlin, 2019.

Canals Casals et al. 2016

Canals Casals, L./Amante García, B./González Benítez, M. M.: „A Cost Analysis of Electric Vehicle Batteries Second Life Businesses“. In: Ayuso Muñoz, J. L./Yagüe Blanco, J. L./Capuz-Rizo, S. F. (Hrsg.): Project Management and Engineering Research, 2014, Cham: Springer International Publishing 2016 (Lecture Notes in Management and Industrial Engineering), S. 129–141.

DIN EN ISO 14040:2009-11 2009

DIN EN ISO 14040:2009-11: „Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)“ 2009.

Ellen MacArthur Foundation 2020

Ellen MacArthur Foundation: Publications, 2020. URL: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications> [Stand: 23.06.2020].

Europäische Union 2008

Europäische Union: Richtlinie 2008/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien. Richtlinie 2008/98/EG 22.11.2008.

Europäische Union 2019

Europäische Union: Verordnung (EU) Nr. 631/2019 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. April 2019 zur Festsetzung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und für neue leichte Nutzfahrzeuge und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 443/2009 und (EU) Nr. 510/2011. Verordnung (EU) 631/2019 25.04.2019.

Kwade/Diekmann 2018

Kwade, A./Diekmann, J.: Recycling of Lithium-Ion Batteries, Cham: Springer International Publishing 2018.

Ohlendorf 2006

Ohlendorf, M.: Simulationsgestützte Planung und Bewertung von Demontagesystemen, Essen: Vulkan-Verl. 2006.

Outotec

Outotec: Outotec HSC Chemistry Software. URL: <https://www.outotec.com/products-and-services/technologies/digital-solutions/hsc-chemistry/> [Stand: 23.06.2020].

Reuter 2016

Reuter, M. A.: „Digitalizing the Circular Economy“. In: Metallurgical and Materials Transactions B, 47: 6, 2016, S. 3194–3220.

Reuter et al. 2019

Reuter, M. A./van Schaik, A./Gutzmer, J./Bartie, N./Abadías Llamas, A.: „Challenges of the Circular Economy: A Material, Metallurgical, and Product Design Perspective“. In: Annual Review of Materials Research, 49: 1, 2019, S. 253–274.

Steinborn et al. 2010

Steinborn, J./Schmidt, K./Walther, G./Spengler, T. S.: „Integrierte Produktions- und Aufarbeitungsplanung in Unternehmensnetzwerken“. In: uwf UmweltWirtschaftsForum, 18: 2, 2010, S. 83–89.



Circular Economy Initiative Deutschland

Herausgeber:

**acatech – Deutsche Akademie der
Technikwissenschaften**
Karolinenplatz 4
80333 München

**Geschäftsstelle Circular Economy
Initiative Deutschland**
Karolinenplatz 4
80333 München

SYSTEMIQ Ltd
69 Carter Lane
London EC4V
United Kingdom

Reihenherausgeber:

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, 2020

Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München
T +49 (0)89/52 03 09-0
F +49 (0)89/52 03 09-900

Hauptstadtbüro
Pariser Platz 4a
10117 Berlin
T +49 (0)30/2 06 30 96-0
F +49 (0)30/2 06 30 96-11

Brüssel-Büro
Rue d'Egmont/Egmontstraat 13
1000 Brüssel (Belgien)
T +32 (0)2/2 13 81-80
F +32 (0)2/2 13 81-89

info@acatech.de
www.acatech.de

Vorstand i.S.v. § 26 BGB: Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath, Karl-Heinz Streibich, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier, Prof. Dr. Reinhard F. Hüttel, Dr. Stefan Oschmann, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier, Prof. Dr. Martina Schraudner

Diese Kurzfassung entstand auf Grundlage von: Circular Economy Initiative Deutschland, 2020: Ressourcenschonende Batteriekreisläufe – mit Circular Economy die Elektromobilität antreiben. Kwade, A., Hagelüken, C., Kohl, H., Buchert, M., Herrmann, C., Vahle, T., von Wittken, R., Carrara, M., Daelemans, S., Ehrenberg, H., Fluchs, S., Goldmann, D., Henneboel, G., Hobohm, J., Krausa, M., Lettgen, J., Meyer, K., Michel, M., Rakowski, M., Reuter, M., Sauer, D.U., Schnell, M., Schulz, M., Spurr, P., Weber, W., Zefferer, H., Blömeke, S., Bussar, C., Cerdas, J., Gottschalk, L., Hahn, A., Reker-Gluhić, E., Kobus, J., Muschard, B., Schliephack, W., Sigel, F., Stöcker, P., Teuber, M. und Kadner, S. acatech/SYSTEMIQ, München/London.

Die Publikation ist erhältlich unter www.circular-economy-initiative.de und www.acatech.de/publikationen.

