

Chancen der Kreislaufwirtschaft für Deutschland

Analyse von Potenzialen und Ansatzpunkten
für die IKT-, Automobil- und Baustoffindustrie



Über Accenture

Accenture ist ein weltweit führendes Dienstleistungsunternehmen, das eine breite Palette von Services und Lösungen in den Bereichen Strategie, Consulting, Digital, Technologie und Operations anbietet. Mit umfassender Erfahrung und spezialisierten Fähigkeiten über mehr als 40 Branchen und alle Unternehmensfunktionen hinweg – gestützt auf das weltweit größte Delivery-Netzwerk – arbeitet Accenture an der Schnittstelle von Business und Technologie, um Kunden dabei zu unterstützen, ihre Leistungsfähigkeit zu verbessern und nachhaltigen Wert für ihre Stakeholder zu schaffen. Mit rund 401.000 Mitarbeitern, die für Kunden in über 120 Ländern tätig sind, treibt Accenture Innovationen voran, um die Art und Weise, wie die Welt lebt und arbeitet, zu verbessern. Besuchen Sie uns unter www.accenture.de.

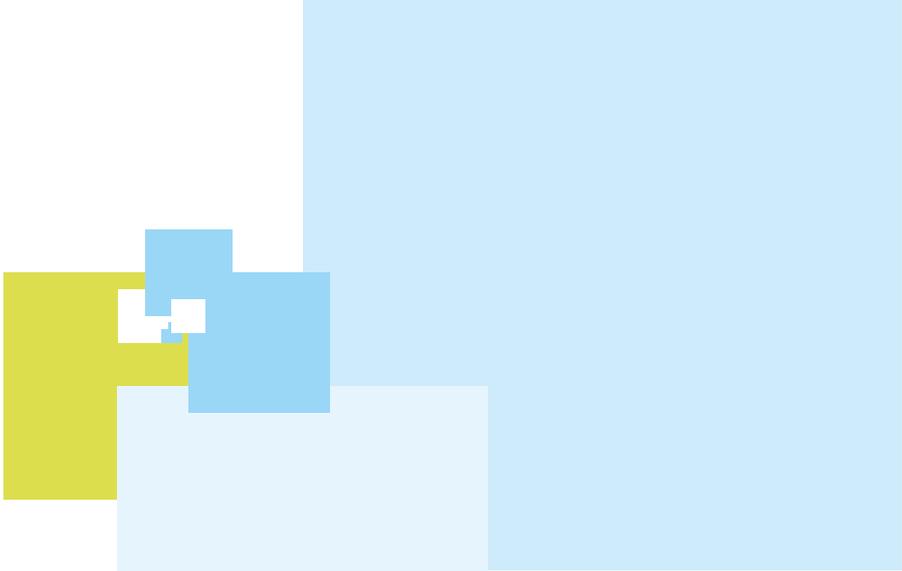
Über Accenture Strategy

Accenture Strategy agiert an der Schnittstelle von Business und Technologie. Wir unterstützen unsere Kunden dabei, industriespezifische Strategielösungen zur Umsetzung unternehmensweiter Transformationsprozesse zu entwickeln und realisieren. Dabei bringen wir ausgeprägte Fähigkeiten aus den Bereichen Business-, Technologie-, operative Geschäfts- und Funktionsstrategie zusammen. Durch unseren Fokus auf den digitalen Wandel, Wettbewerbsfähigkeit, globale Betriebsmodelle, Personalentwicklung und Unternehmensführung helfen wir dabei, sowohl Effizienz als auch Wachstum zu adressieren. Folgen Sie uns für weitere Informationen @AccentureStrat oder besuchen Sie uns unter www.accenture.com/strategy.

Über den Rat für Nachhaltige Entwicklung

Der Rat für Nachhaltige Entwicklung wurde erstmals im April 2001 von der Bundesregierung berufen. Dem Rat gehören 15 Personen des öffentlichen Lebens an. Die Aufgaben des Rates sind die Entwicklung von Beiträgen für die Umsetzung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, die Benennung von konkreten Handlungsfeldern und Projekten sowie Nachhaltigkeit zu einem wichtigen öffentlichen Anliegen zu machen. In der Wahl seiner Themen und Aktionsformen ist der Rat unabhängig. Ergebnisse aus der laufenden Arbeit sind zum Beispiel der Deutsche Nachhaltigkeitskodex, Stellungnahmen zum Regierungsentwurf der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, zu den Globalen Nachhaltigkeitszielen, zur Klimapolitik, zur Rohstoffpolitik und zur fiskalischen Nachhaltigkeit, zum Ökolandbau, die zivilgesellschaftlichen Initiativen von Projekt Nachhaltigkeit, der Strategiedialog zur nachhaltigen Stadtentwicklung mit Oberbürgermeistern, die Impulse Jugendlicher und junger Erwachsener zur kommunalen Nachhaltigkeit und zur deutschen Nachhaltigkeitspolitik sowie Beiträge zur „Green Economy“.

Mehr unter www.nachhaltigkeitsrat.de



Chancen der Kreislaufwirtschaft für Deutschland

Analyse von Potenzialen und Ansatzpunkten
für die IKT-, Automobil- und Baustoffindustrie

Diese Studie wurde von Accenture Strategy
unter Mitwirkung der Ökopol GmbH
für den Rat für Nachhaltige Entwicklung erstellt.

Kreislaufwirtschaft: Neuanfang für die globalen Nachhaltigkeitsziele

VORWORT VON

PROF. DR. GÜNTHER BACHMANN, GENERALSEKRETÄR, RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG
ALEXANDER HOLST, MANAGING DIRECTOR, ACCENTURE STRATEGY SUSTAINABILITY

Diese Wahrheit tut gut: Deutschland ist reich an Rohstoffen.¹ Der Schulatlas spricht noch vom rohstoffarmen Deutschland, aber da liegt er völlig falsch. Noch nie zuvor gab es in Deutschland mehr Metalle, mehr Plastik, mehr ölbasierte Verbundstoffe oder mehr Mineralien. Nur ist dieser Reichtum abstrakt und theoretisch. Denn trotz des Rohstoffüberflusses führen wir Rohstoffe aus aller Welt ein. Wir haben alles und glauben aber, immer mehr zu brauchen. Der Grund: Eingesetzte Rohstoffe gelangen über den Lebenszyklus eines Produkts hinaus nicht wieder vollständig in den Produktionsprozess zurück. Ausnahmen gibt es, aber Recycling, Wiederaufbereitung und neue Nutzungsformen haben nur einen geringen Umfang. Im Wesentlichen haben wir immer noch eine Linearwirtschaft, keine Kreislaufwirtschaft. Das ist ökologisch fatal, ökonomisch leichtfertig und sozial wenig intelligent. Dennoch sieht sich Deutschland gern als Recycling-Weltmeister. Aber die deklarierten Recyclingquoten beziehen sich auf die eingesammelten Abfälle, die in eine Aufbereitungsanlage gebracht werden, nicht auf das, was dabei herauskommt. Henning Frieg schätzt Deutschlands reale Quote des stofflichen Recyclings auf etwa 35 %, wobei dieser Anteil die leicht zu recycelnde Massenware widerspiegelt, nicht die zukunftsstrategischen Hightech-Stoffe². Kostendruck, lineare Logistik und das Produktdesign entscheiden noch allzu häufig gegen das Recycling; Bequemlichkeit, Ideologosigkeit und mangelnde Aufklärung tun ihr Übriges.

Die vorliegende Studie regt zum Weiterdenken an. Denn Lobbys und überkommene Besitzstandswahrung

haben alle Reformen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes mehrfach blockiert. Sie blockieren moderne, digital-innovative Lösungen. Sie blockieren letztlich den Fortschritt, zu dem die soziale Marktwirtschaft fähig ist.

Accenture Strategy und Ökopol zeigen am Beispiel von drei Stoffströmen, dass eine ambitionierte Kreislaufwirtschaft auch unter heutigen Rahmenbedingungen möglich ist, ja mehr noch: profitable Chancen bietet. Das Denken in Kreisläufen und Kooperationen, der Aufbau der hierfür notwendigen Fähigkeiten sowie Innovationen im Verhalten von Nutzern und bei Herstellern können Ressourcen schonen und Geschäftschancen erschließen. Neue Geschäftsmodelle und Kooperationsformen liefern dazu eine profitable und langfristig solide Grundlage.

Die globalen Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals) sind die Grundlage für die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Im Grunde sind sie ein großes Reformprogramm für die Gesellschaft und Wirtschaft. Fortschritt und Lösungen im Sinne dieser Ziele fordern die Mechanismen des Marktes ebenso heraus wie auch die Politik; das Neue ist, dass weder der Markt noch die Regulation jeweils allein Erfolge versprechen. Es kommt also auf das Zusammenspiel von Wirtschaft und Politik an, um marktfähige Lösungen in einem sicheren regulativen Umfeld zu entwickeln. Neue Wege in Richtung Kreislaufwirtschaft müssen erdacht und im Dialog getestet werden. Die Zeit hierfür ist günstig, auch wegen der Digitalisierung. Wir laden hierzu mit dieser Studie ein.

1 Rat für Nachhaltige Entwicklung (2011)

2 Frieg (2015)

Inhaltsverzeichnis

Kreislaufwirtschaft: Neuanfang für die globalen Nachhaltigkeitsziele	2
Zusammenfassung	4
1. Der Kreislaufwirtschaft den Weg ebnen	6
2. Potenziale der Kreislaufwirtschaft erkennen und nutzen	8
2.1 IKT-Industrie	8
Fallstudie Router	9
2.2 Automobilbranche	15
Fallstudie Traktionsbatterien	18
2.3 Baubranche	24
Fallstudie Gips	24
3. Potenziale der Kreislaufwirtschaft in der deutschen Wirtschaft heben	29
Quellenverzeichnis	30
Anhang	36
Abbildungsverzeichnis	38
Tabellenverzeichnis	38
Abkürzungsverzeichnis	39
Impressum	40

Zusammenfassung

Die Circular Economy (CE) ist das Wirtschaftsmodell der Zukunft, da es Wachstum und Ressourcenverbrauch entkoppelt und dadurch wirtschaftliche Aktivität innerhalb der ökologischen Belastungsgrenzen ermöglicht. Die weite Verbreitung der Circular Economy wird jedoch nur gelingen, wenn CE-Lösungen profitabel umsetzbar sind. Im vorliegenden Bericht wird die Frage untersucht, ob die Circular Economy für drei deutsche Schlüsselindustrien solche profitabel umsetzbaren Konzepte anbietet. Folgende Industrien werden betrachtet:

- Die Informations- und Kommunikationstechnologiebranche (IKT), die für den am schnellsten wachsenden Abfallstrom¹, die Elektroaltgeräte, verantwortlich ist und durch die steigende Sammelforderung gemäß der Elektroaltgeräteverordnung unter zusätzlichem Handlungsdruck steht.
- Die Automobilbranche, die zentral für die Zukunftsfähigkeit der gesamten deutschen Industrie ist und in der Circular Economy zunehmend die Möglichkeit erkennt, steigenden Umweltaforderungen an die Branche durch innovative Kreislaufwirtschaftskonzepte zu begegnen.
- Die Bauindustrie, die durch Baustoffabfälle den mengenmäßig größten Abfallstrom in Deutschland verursacht² und durch den Rückgang der Kohleverstromung eine Alternative zum REA-Gips aus Kohlekraftwerken braucht.

Für die **IKT-Branche** wird anhand des Produktbeispiels *Router* gezeigt, dass vier Hebel adressiert werden müssen, um die Chancen der Kreislaufwirtschaft in bestehenden und neuen Geschäftsmodellen erfolgreich zu nutzen: Design, (Wieder-)Verkauf/Vermietung, Sammlung und Aufarbeitung/Remanufacturing. Durch geringfügige Designänderungen wie beispielsweise den Einsatz matter Oberflächen lassen sich etwa die Kosten für die Aufarbeitung um 50 % reduzieren. Bei Produkten, die an den Kunden vermietet werden und bei denen die Verantwortung für den weiteren Lebenszyklus entsprechend beim Inverkehrbringer bleibt, werden diese vier Ansatzpunkte bereits heute in die Produktstrategien integriert. In Summe stellen wir fest, dass unter ökologischen, ökonomischen und sozialen Gesichtspunkten

die Vermietung von Routern dem Verkauf **überlegen ist. Das Mietmodell wird bei Routern**, die von Telekommunikationsanbietern vertrieben werden, bereits zu 50 % angewendet. Die Fallstudie zeigt, dass bei diesem Geschäftsmodell im Einkauf eine Kosteneinsparung von ungefähr 35 % ermöglicht und der Ressourcenverlust von Gold und Kunststoffen über die gesamte Nutzungsdauer um bis zu 80 % reduziert werden kann. Durch Ausweitung des Mietmodells oder Anpassung des Kaufmodells entlang der vier skizzierten Hebel können diese Vorteile für den breiteren Routermarkt und ähnliche Elektrogeräte realisiert werden.

Bei der Analyse von Circular-Economy-Geschäftsmodellen für die **Automobilindustrie** werden Potenziale für *Traktionsbatterien* aus Elektrofahrzeugen diskutiert. Da Traktionsbatterien nach einer Nutzungsdauer von fünf bis zehn Jahren im Fahrbetrieb ausgetauscht werden, aber zu diesem Zeitpunkt noch über eine Restkapazität von etwa 80 % verfügen, kommen sie für eine Zweitnutzung als stationäre Batteriespeicher infrage. Hier sind verschiedene Modelle denkbar. Beispielsweise können Batteriespeicher unterschiedlicher Größe am Energiemarkt Erlöse durch die Bereitstellung von Regelleistung erzielen oder, z.B. in Kombination mit Erneuerbare-Energien-Anlagen, als Lastpuffer im privaten und gewerblichen Bereich dienen. Durch Zweitwendungen wird die Lebensdauer der Batterien deutlich verlängert – dies entspricht der ersten bzw. zweiten Stufe der Abfallhierarchie nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz und hat positive ökologische und ökonomische Effekte. Zum einen erspart die Zweitnutzung einer Traktionsbatterie die Produktion einer Neubatterie, zum anderen wird das schlussendlich notwendige Recycling der Traktionsbatterien – welches derzeit noch unwirtschaftlich ist – weiter in die Zukunft verlagert. Die Second-Life-Nutzung von Traktionsbatterien als Energiespeicher ist damit ein geeignetes Kreislaufwirtschaftskonzept und verdeutlicht die enge Verbindung von Elektromobilität und dem Ausbau erneuerbarer Energien – beide Handlungsfelder sind für die Transformation des Energiesystems von Bedeutung.

Die **Baustoffindustrie** kann einen erheblichen Beitrag zur Ressourcenschonung leisten, denn mineralische Bauabfälle stellen mengenmäßig den größten

1 Huisman (2012)
2 Destatis (2016a)

Abfallstrom in Deutschland dar. Durch eine verstärkte Kreislaufführung von Baustoffen kann die Ressourcenproduktivität gesteigert werden. Anhand des vielseitig eingesetzten Baustoffs *Gips* wird dabei deutlich, dass die Baubranche zu einem wichtigen Treiber der Kreislaufwirtschaft werden kann – aber nur, wenn wesentliche Hemmnisse überwunden werden.

Bislang wird das Potenzial zur Verwertung von Gipsabfällen und zur Herstellung von Recyclinggips in Deutschland nicht ausgeschöpft, da die Produktion derzeit noch unwirtschaftlich ist. Geht in Zukunft die Kohleverstromung zurück, werden daraus Engpässe

in der Produktion von REA-Gips resultieren. Hier besteht Handlungsbedarf: Um die entstehende Lücke zu schließen und ein effektives Recycling von Gips zu ermöglichen, sollte die Kreislaufführung verbessert werden. Zu den notwendigen Schritten gehört schon die Berücksichtigung der Verwertungsmöglichkeiten im Design von gipshaltigen Bauelementen, aber auch die Bereitstellung von Informationen darüber, in welchen Gebäuden Gips in welcher Form und Menge verbaut ist. Der selektive Rückbau und die Separation von unterschiedlichen Abfallfraktionen sind grundlegend für eine hochwertige Verwertung von Bauabfällen und für die Bereitstellung von Recycling-Baustoffen.

AUS DEN FALLSTUDIEN LASSEN SICH **FÜNF HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN** ABLEITEN:

Herstellerverantwortung stärken: Das Beispiel Router zeigt für die IKT-Branche, dass der Verbleib der Produktverantwortung beim Inverkehrbringer ökonomische, ökologische und soziale Chancen bietet. Die Automobilbranche kann ihrer Produktverantwortung für Traktionsbatterien nachkommen, indem sie Zweitnutzungskonzepte verfolgt und damit die Lebensdauer der Batterien verlängert. Der Inverkehrbringer eines Produkts besitzt eine Marktmacht, die er nutzen wird, um die Ressourcennutzung entlang des gesamten Produktlebenszyklus zu optimieren und beispielsweise Circular-Economy-Designkriterien in der Herstellung zu berücksichtigen. Für andere Geschäftsmodelle bedarf es einer Anpassung der Rahmenbedingungen zur Stärkung der Herstellerverantwortung.

CE-Designfähigkeiten aufbauen: Wirtschaftlich tragfähige Geschäftsmodelle der Circular Economy ergeben sich meist nur, wenn die Konzepte von Anfang an in die Produktstrategie integriert werden. Im Fall der Traktionsbatterie bedeutet dies, dass die Zweitnutzungsphase schon bei Design und Produktion berücksichtigt werden muss. Werden die Produkte sowohl für die Erst- als auch für die Zweitnutzung optimiert, ermöglicht dies zusätzliche Erträge durch eine Second-Life-Nutzung in der Zukunft. Hier ist Raum für neue Akteure – respektive neue Tätigkeiten für bestehende Akteure –, um den Übergang von der Erst- zur Zweitnutzung effizient und wirtschaftlich zu gestalten.

Bereichsübergreifende Zusammenarbeit ermöglichen: Sowohl das Router- als auch das Batteriebeispiel zeigen, dass die vollen CE-Vorteile nur realisiert werden können, wenn alle relevanten Bereiche wie Strategie, Entwicklung, Einkauf, Logistik etc. das gleiche Ziel verfolgen und eng miteinander abgestimmt sind.

CE Business Case ganzheitlich berechnen: Die vollen Vorteile der Circular Economy werden für Unternehmen häufig nur sichtbar, wenn bereichsbezogene Finanzkennzahlen ergänzt werden, beispielsweise durch Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership, TCO), Berücksichtigung von Mehrumsätzen durch Zweitverwertung, Reduzierung von Reputationsrisiken bzw. Abwendung möglicher Strafzahlungen etc.

Informationen über Stoffe bereitstellen und Trennung ermöglichen: Das Beispiel Gips zeigt, dass die Verfügbarkeit von Informationen darüber, welche Stoffe wo und in welcher Menge und Zusammensetzung verbaut sind, eine Grundvoraussetzung für deren Recycling ist. Um hochwertiges Recycling zu ermöglichen, müssen Baustoffe separiert werden – statt des einfachen Abrisses von Gebäuden bedarf es eines Rückbaus. So lässt sich das Bauschutttaufkommen verringern und letztendlich die Menge an eingesetzten Sekundärrohstoffen im Bauwesen erhöhen.

1. Der Kreislaufwirtschaft den Weg ebnen

Das globale Wirtschaftswachstum und der Ressourcenverbrauch sind weiterhin eng gekoppelt. Auch wenn das globale Wirtschaftswachstum im Laufe des letzten Jahrhunderts um das 23-Fache stieg und die Materialentnahme sich im gleichen Zeitraum nur um das 8-Fache erhöhte, kann lediglich von einer relativen Entkopplung bei weiter ansteigendem Ressourcenverbrauch gesprochen werden.³ Um zukünftigen Wohlstand zu sichern, müssen heutige Produktions- und Konsumsysteme daher nachhaltiger gestaltet und ressourceneffizienter genutzt werden. Die Kreislaufwirtschaft wird dabei als ein wichtiger Teil der Lösung betrachtet, da sie ökonomische und ökologische Chancen verknüpft. Dies wird beispielsweise in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie⁴, dem Deutschen Ressourceneffizienzprogramm (ProgRess II)⁵, dem Circular-Economy-Paket der Europäischen Union⁶ und den Sustainable Development Goals (SDGs) der Vereinten Nationen⁷ deutlich zum Ausdruck gebracht. Mit der Ökodesign-Richtlinie und der Richtlinie für Elektro- und Elektronikaltgeräte wurden auch produktspezifische Gesetze erlassen.

Die Potenziale der Circular Economy liegen nicht nur in der Rückgewinnung von Rohstoffen im Recycling,

sondern auch in der Nutzung bislang verschwendeter Kapazitäten aufgrund geringer Auslastung sowie in der Verlängerung von Lebenszyklen und der Nutzung nachwachsender Materialien im Produktdesign. Ein klassisches Beispiel für die geringe Auslastung von Gebrauchsgegenständen sind Autos, die oft nur sporadisch genutzt werden. Einer Untersuchung zufolge stehen zu jedem Zeitpunkt Autos im Wert von 7 Billionen US\$ ungenutzt herum.⁸ Über Sharing-Modelle können Unternehmen und Verbraucher diese Verschwendung reduzieren. Um die Potenziale der Kreislaufwirtschaft zu nutzen, muss die gesamte Wertschöpfungskette zirkulär gedacht werden.⁹ Hier kann eine strukturierte Analyse des Status quo anhand von fünf konkreten Circular-Economy-Ansätzen helfen. Die Modelle sind in Kasten 1 abgebildet.¹⁰

Der vorliegende Bericht analysiert die Relevanz von Geschäftsmodellen einer Kreislaufwirtschaft für die IKT-, Automobil- und Baustoffbranche anhand von exemplarischen Fallstudien und leitet daraus verallgemeinerbare Handlungsempfehlungen ab.

3 UNEP (2011)

4 Bundesregierung (2016)

5 BMUB (2016)

6 EU (2015)

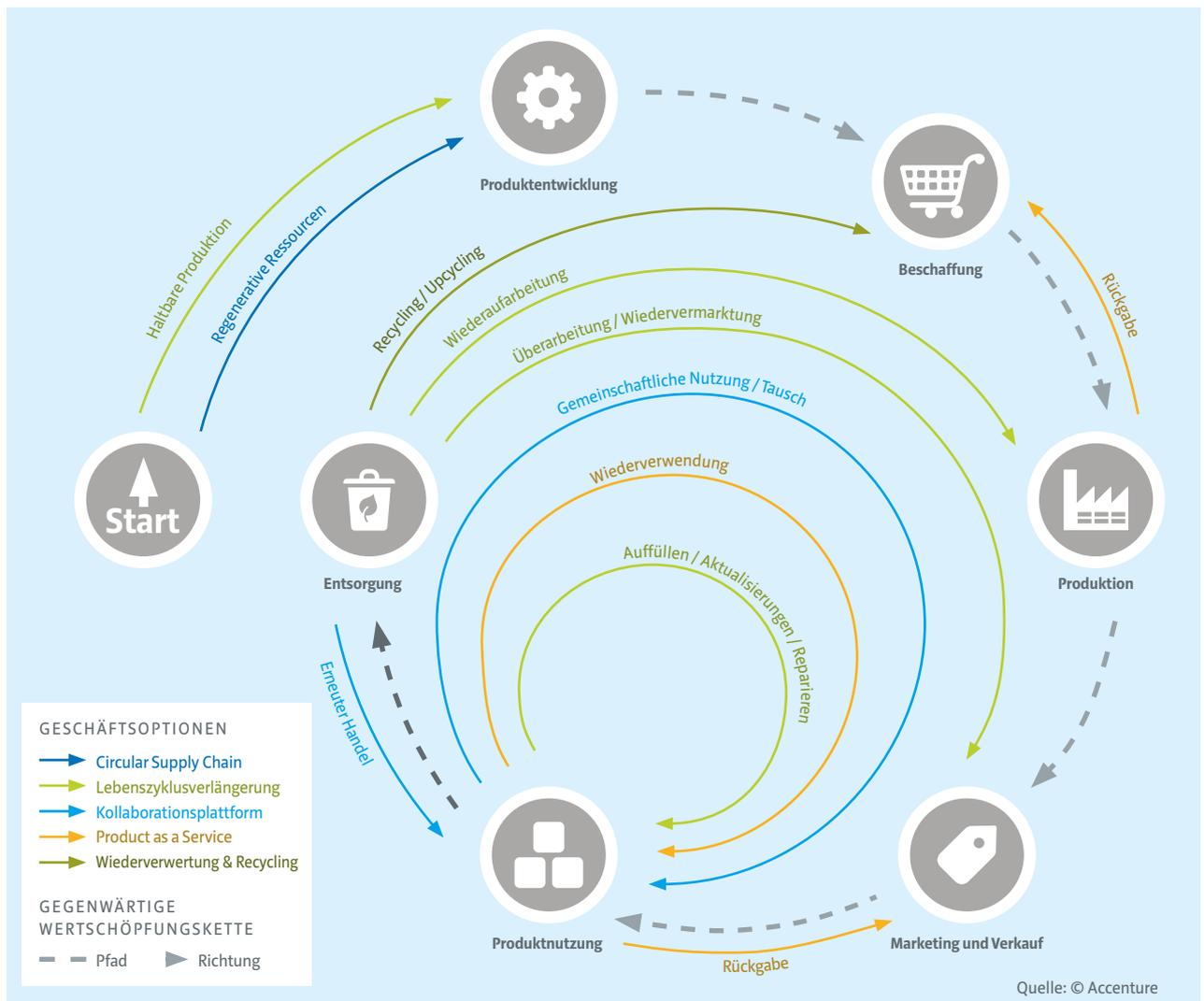
7 UN (2015)

8 Accenture Strategy (2016)

9 Lacy et al. (2015)

10 Ebd.

KASTEN 1, ABBILDUNG 1
FÜNF GESCHÄFTSOPTIONEN DER CIRCULAR ECONOMY



- **Circular Supply Chain:** Nutzung von regenerativer Energie, biobasierten oder potenziell vollständig recycelbaren Materialien, z. B. Ecovative-Verpackungsmaterial aus Agrarabfällen und Pilzmyzel, um beispielsweise styroporbasierte Materialien zu ersetzen
- **Wiederverwertung und Recycling:** Gewinnung von verwertbaren Ressourcen oder Energie aus Abfall oder aus Nebenprodukten, z. B. Desso-Teppiche aus alten Teppichen
- **Lebenszyklusverlängerung:** Verlängerung des Lebenszyklus durch Reparatur, Wiederaufbereitung, Upgrading und Weiterverkauf, z. B. iFixit, eine Internetplattform für den Austausch von Reparaturhinweisen zwischen Nutzern
- **Kollaborationsplattform:** Erhöhte Nutzungsraten durch kollaborative Modelle für Nutzung, Zugang oder Besitz, z. B. Via, eine technologiebasierte Möglichkeit, um Taxifahrten zu bündeln
- **Product as a Service:** Angebot der Produktnutzung mit Verbleib des Produktbesitzes beim Hersteller zur Steigerung der Ressourcenproduktivität, z. B. Licht als Service von Philips

2. Potenziale der Kreislaufwirtschaft erkennen und nutzen

Die Circular Economy kann durch verbesserte Ressourcennutzung eine bis 2030 drohende Lücke in der Ressourcenverfügbarkeit in Höhe von 8 Milliarden Tonnen in einen weltweiten BIP-Beitrag von 4,5 Billionen US\$ übersetzen.¹¹ In einem alternativen Basisszenario, das zwar technischen Fortschritt in der Ressourceneffizienz, aber keine verstärkte Nutzung von Circular-Economy-Ansätzen unterstellt, drohen vor allem ressourcenintensiven Industrien deutliche Einbußen.¹²

2.1 IKT-Industrie

Die IKT-Branche ist eine interessante Industrie für die Diskussion von Circular-Economy-Lösungen. Ihre Produkte erzeugen ein Spannungsfeld: Während die Anwendung von Informations- und Kommunikationstechnologien beispielsweise global bis 2030 zu einer Reduktion der CO₂e-Emissionen¹³ um 20 % im Vergleich zum Basisszenario des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) führen kann¹⁴, werden für die Produktion viele, teilweise kritische, Rohstoffe benötigt.¹⁵ Aufgrund der wachsenden Nachfrage und der kürzer werdenden Lebens- bzw. Nutzungsdauer der Geräte stellen Elektrogeräte mit einer jährlichen Zunahme von 3 bis 5 % einen der am schnellsten wachsenden Abfallströme dar.¹⁶ Zwischen 2014 und 2018 wird mit einer Zunahme um 21 % gerechnet.¹⁷ Im Jahr 2014 sind weltweit ca. 42 Mio. t Elektroaltgeräte (davon ca. 6 Mio. t bzw. 14 % IKT-Altgeräte) angefallen.¹⁸ Lediglich 6,5 Mio. t bzw. 15,5 % wurden durch offizielle Rücknahmesysteme erfasst. Die restlichen Mengen wurden z.B. im Hausmüll oder außerhalb offizieller Verwertungssysteme entsorgt. Durch unsachgemäße Entsorgung können schädliche Stoffe in die Umwelt gelangen und Wertstoffe verloren gehen. Laut UNEP¹⁹ werden z.B. global nur 15 % des Golds in Elektroaltgeräten zu-

rückgewonnen. Hierdurch bleiben neben ökologischen auch große ökonomische Potenziale ungenutzt.

Um die Ressourcenverschwendung und Umweltbelastung durch Elektroaltgeräte zu reduzieren, hat die Europäische Kommission 2002 eine Richtlinie zu Elektro- und Elektronikaltgeräten erlassen. In dieser Richtlinie betont die Kommission die Notwendigkeit der Veränderung heutiger Entwicklungs-, Produktions-, Verbrauchs- und Verhaltensmuster und fordert eine vorrangige Vermeidung von Abfällen. Die Novellierung dieser Richtlinie von 2012 schreibt erhöhte Sammelquoten und produktspezifische Verwertungsquoten vor und setzt so das Prinzip der Herstellerverantwortung um. Die Sammelquote von 45 %, die seit 2016 gilt und ab 2019 bei 65 % liegen wird, erfüllt Deutschland bislang nicht. So wurden 2014 lediglich 43 % der in Verkehr gebrachten Geräte im offiziellen Sammelsystem erfasst.²⁰ Ob und welche ökonomischen Folgen die längerfristige Nichterreichung für Unternehmen haben könnte, z.B. Strafzahlungen, ist bislang noch offen, vor dem Hintergrund der Ressourcenproblematik aber zu erwarten.

Abbildung 2 zeigt, welche Geschäftsmodelle sich für die IKT-Branche ergeben, um die beschriebenen Herausforderungen anzugehen. Die in Kapitel 1, Kasten 1 beschriebenen fünf Modelle lassen sich alle in der IKT-Branche umsetzen. Im Bereich Verlängerung des Produktlebenszyklus wurden beispielsweise drei Modelle identifiziert:

- Die Reparatur der Produkte während der Nutzungsphase (z.B. Teiletausch bei mechanischen Schäden).
- Das Refreshing von Produkten nach der Sammlung, um sie Kunden als gebrauchte Produkte anzubieten. Dies umfasst z.B. lediglich eine Reinigung und optische Aufbereitung.
- Das Remanufacturing, bei dem gebrauchte Geräte nach der Sammlung wiederaufbereitet werden, wobei bestimmte Komponenten durch neue oder gebrauchte Komponenten ersetzt werden.

Inwieweit die in Abbildung 2 dargestellten Geschäftsmodelle dazu beitragen können, neue Ertragsquellen zu erschließen, den Abfallstrom zu verringern und

11 Lacy et al. (2015)

12 UNEP (2013)

13 CO₂e: Durch CO₂-Äquivalente können Stoffe mit unterschiedlich starkem Treibhauspotenzial zusammengefasst werden. Methan wird beispielsweise mit dem Faktor 25 in CO₂-Äquivalente umgerechnet, da die Treibhauswirkung von Methan 25-mal höher ist als von CO₂.

14 GeSi Global e-Sustainability Initiative (2015)

15 Z. B. Nordmann et al. (2013)

16 Huisman, J. (2012); Mohan et al. (2008)

17 UNU (2015)

18 Baldé et al. (2015)

19 UNEP (2013)

20 Eurostat (2016)

ABBILDUNG 2
GESCHÄFTSMODELLE DER CIRCULAR ECONOMY IN DER IKT-BRANCHE



das Recycling zu verbessern, wird im Folgenden anhand des Fallbeispiels Router diskutiert. Die vier Ansatzpunkte, die in einer umfassenden Circular-Economy-Produktstrategie adressiert werden sollten, um die Potenziale nutzen zu können, sind in Abbildung 3 hervorgehoben. Der Router wurde als Beispielprodukt gewählt, da für dieses Produkt bereits Circular-Eco-

nomy-Konzepte genutzt werden und so Lernerfahrungen für die Skalierung und Übertragung auf weitere Produkte der IKT-Branche abgeleitet werden können.

Fallstudie Router

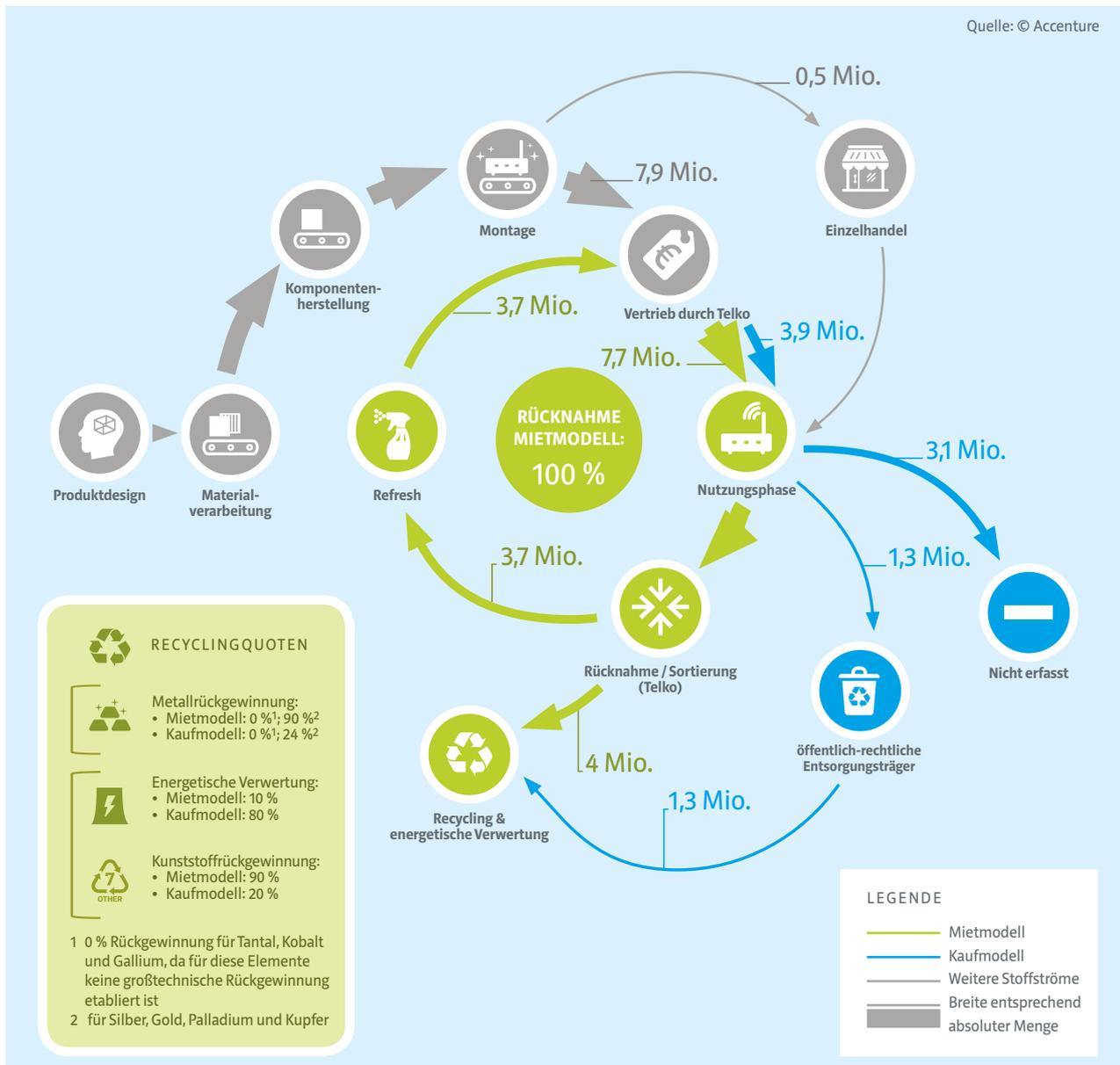
Das Internet stellt eine wichtige Basis für die heutige Digitalgesellschaft dar. 2016 lag der Anteil der deutschen Haushalte mit Internetanschluss bei 84%.²¹ Unter Berücksichtigung der aktuellen Anzahl deutscher Haushalte (2015 etwa 37,2 Mio.²²) und unter der

21 Destatis (2016b)

22 Destatis (2016b)

Annahme, dass jeder Haushalt, der über einen Internetanschluss verfügt, auch mit einem Router ausgestattet ist, sind ca. 31 Mio. Router in Nutzung. In Deutschland gibt es zurzeit drei Möglichkeiten für Konsumenten, einen Router zu beziehen. Er kann entweder im Einzelhandel oder bei einem Telekommunikationsanbieter (Telko) gekauft (Kaufmodell) oder bei einem Telko gemietet werden (Mietmodell).

ABBILDUNG 3
BERECHNETE VOLUMENSTRÖME EINES ROUTERNUTZUNGSZYKLUS ÜBER VIER JAHRE



Unter Berücksichtigung der im Anhang zusammengefassten Annahmen lassen sich die in Abbildung 3 dargestellten Volumenströme für einen Routernutzungszyklus über insgesamt vier Jahre berechnen. Basierend auf diesen Volumenströmen werden die Umweltwirkungen und die ökonomische Wirtschaftlichkeit der beiden Modelle verglichen. Der Vergleich zeigt, dass das Mietmodell in Hinblick auf ökologische, ökonomische und soziale Aspekte dem Kaufmodell überlegen ist (Zusammenfassung siehe Tabelle 1).

Die Bewertung der Umweltwirkung wird auf Basis des Verlusts von Rohstoffen durchgeführt, die als Masse und in CO₂-Äquivalenten angegeben sind. Das Ergebnis ist deutlich: Wenn Router von Telkos ausschließlich über das Mietmodell vertrieben würden, könnten im Vergleich zum Status quo bis zu 80 % der Rohstoffverluste und 45 % der CO₂e-Emissionen vermieden werden. Dies liegt vor allem an der höheren Sammel- und Rückgewinnungsquote im Mietmodell. Die Materialien, deren Rückgewinnung maßgeblich ist, sind Gold und Kunststoffe.

Für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit werden die Kosten eines Neuprodukts mit denen ei-

nes aufbereiteten Routers verglichen. Durch das Verwenden von aufbereiteten Routern können ca. 35 % der Kosten im Vergleich zum Einkauf von Neugeräten gespart werden.²³

Neben ökologischen und ökonomischen Vorteilen bietet das Mietmodell auch soziale Vorteile, denn die Aufbereitung und die stoffliche Verwertung schaffen mehr Beschäftigung als die energetische Verwertung. So rechnet die amerikanische Umweltbehörde EPA damit, dass die Verbrennung von 10.000 t Abfall einen Arbeitsplatz, die Depositionierung der gleichen Menge sechs Arbeitsplätze und die stoffliche Verwertung 36 Arbeitsplätze schafft.²⁴ Die Aufbereitung von Elektro(alt)geräten soll verschiedenen Angaben zufolge zwischen 296 und 800 Arbeitsplätze pro 10.000 t aufbereiteter Geräte schaffen.²⁵ Die Aufbereitung von Elektro(alt)geräten kann zudem geförderte Arbeitsplätze als Qualifikation von Langzeitarbeitslosen oder für Menschen mit Behinderungen schaffen – so beschäftigt beispielsweise das Sozialunternehmen AfB etwa zur Hälfte Menschen mit Behinderung.

23 Nicht öffentliches Experteninterview mit Industrievertretern

24 EPA (2002).

25 RREUSE (2015)

TABELLE 1
ÜBERSICHT ÜBER VORTEILE DES MIETMODELLS
GEGENÜBER DEM KAUFMODELL FÜR ROUTER

ÖKONOMISCHE VORTEILE	Einsparung von ca. 35 % der Kosten im Vergleich zum Einkauf von Neugeräten
ÖKOLOGISCHE VORTEILE	Verringerung der Rohstoffverluste um 80 % und der CO ₂ e-Emissionen um 45 %
SOZIALE VORTEILE	Schaffung von mind. 250 Arbeitsplätzen pro 10.000 t bei der Aufbereitung von Elektro(alt)geräten im Vergleich zur stofflichen Verwertung, als Zugang zum Arbeitsmarkt für Langzeitarbeitslose oder für Menschen mit Behinderung

Die Router-Fallstudie zeigt deutlich, welche Hebel Unternehmen nutzen können, um die Potenziale der Kreislaufwirtschaft zu heben. Diese Ansatzpunkte sollten gesamtheitlich in die Produktstrategie integriert werden. Nur so können die Chancen der Kreislaufwirtschaft vollständig genutzt werden.

- 1) **Design:** Entscheidung über Materialien, Form, Zusammenbau und Verarbeitung der Produkte, die Langlebigkeit, Aufbereitbarkeit und Recyclierbarkeit fördern
- 2) **(Wieder-)Verkauf/Vermietung:** Definition von Eigentumsverhältnissen entlang des Produktlebenszyklus und der Preisgestaltung
- 3) **Sammeln und Sortieren:** Entwicklung von Rücknahmekonzepten und -prozessen sowie Sortierprozessen
- 4) **Aufbereitung/Remanufacturing:** Optimierung und Skalierung von Prozessen der Wiederaufbereitung

Bei Produkten, die an den Kunden vermietet werden und bei denen die Verantwortung über den Lebenszyklus entsprechend beim Inverkehrbringer bleibt, werden diese Aspekte häufig bereits von Anfang an in die Produktstrategie integriert. Um die Circular-Economy-Potenziale ganzheitlich zu nutzen, müssen alle vier Ansatzpunkte berücksichtigt werden. Im Folgenden sind die vier Hebel mit jeweiligen Handlungsempfehlungen skizziert.

Design

Während der Designphase werden Produkteigenschaften festgelegt, die maßgeblich für Kosten und Umweltwirkung des Produkts sind. So zeigt die Router-Fallstudie, dass zurzeit ca. 53% der Geräte nach Sammlung im Mietmodell als „defekt“ entsorgt werden. Eine im Design angelegte Langlebigkeit und Reparierbarkeit kann diesem Verlust an Geräten vorbeugen. Auch kann für Router die Daumenregel angesetzt werden, dass sich die Kosten für die Wiederaufbereitung um ca. 50% reduzieren, wenn im Design die Wiederaufbereitung des Routers bereits mitgedacht wurde.²⁶ Dies liegt vor allem an der Materialwahl, bei der

beispielsweise weniger kratzanfällige Materialien genutzt werden.

Die Reparierbarkeit von Produkten wird ebenfalls in der Designphase festgelegt. Momentan lohnen sich technische Reparaturen wirtschaftlich nicht, da sie Zeit, höher qualifizierte Mitarbeiter und Ersatzteile erfordern. Durch entsprechendes Design kann der Aufwand für Reparaturen reduziert und so wirtschaftlich werden.

Auch in Bezug auf stoffliche Verwertung können in der Designphase grundsätzliche Weichen gestellt werden. Die Aufbereitung von Kunststoffgemischen für ein qualitativ hochwertiges Recycling ist für die meisten Behandler zu aufwendig. Um gute Voraussetzungen für das qualitativ hochwertige Recycling zu schaffen, sollte daher die Anzahl der Kunststoffe minimiert werden bzw. sollten Kunststoffe eingesetzt werden, die in Standardaufbereitungsschritten mit wenig Aufwand getrennt werden können.

Inverkehrbringer, die ihre Produkte im Mietmodell anbieten, haben ein Interesse daran, diese Ansätze zu verfolgen. Sie sollten ihre Marktmacht nutzen, um das Produktdesign entsprechend zu beeinflussen. Beim Kaufmodell kann die Kundennachfrage nach kreislauffähigen Produkten einen Anreiz darstellen, das Design anzupassen. Im Vertrieb wird diese Nachfrage teilweise wahrgenommen. Da die Nachfrage jedoch noch vergleichsweise gering ist und der „Pull“ noch nicht in den Entwicklungsabteilungen der Unternehmen ankommt, sind hier kaum Fortschritte zu erwarten.

(Wieder-)Verkauf/Vermietung

Die Router-Fallstudie zeigt, dass das Mietmodell im Vergleich zum Kaufmodell ökonomische, ökologische und soziale Vorteile bietet. 50% der Router von Telkos werden bereits über dieses Modell vertrieben und wirken so den Problemen der Ressourcenverschwendung entgegen. Das Mietmodell setzt ähnlich wie das in Kapitel 1 skizzierte „Product as a Service“-Geschäftsmodell Anreize für Unternehmen, entlang des gesamten Lebenszyklus eines Produkts kosteneffiziente und damit meist auch ressourceneffiziente Ent-

²⁶ Nicht öffentliches Experteninterview mit Industrievertretern

scheidungen zu treffen. Das Design ist auf die Aufbereitung ausgelegt, Rücknahmewege sind etabliert und Prozesse für die Wiederaufbereitung werden effizient eingesetzt. Wie im Kreislaufwirtschaftskonzept vorgesehen, werden also alle vier hier beschriebenen Hebel berücksichtigt.

Geeignet ist dieses Geschäftsmodell besonders für Produkte, bei denen dem Nutzer nicht das Produkt selbst, sondern die Funktion des Produkts wichtig ist. Damit das Modell rentabel ist, muss das Produkt entweder

- **einen hohen Anschaffungspreis haben** und so dem Kunden die Kaufhürde durch eine Monatsmiete verringern,
- zusätzliche, mit der Nutzung des Geräts verknüpfte, **Zahlungsströme für den Anbieter ermöglichen** und/oder
- **nach der Erstnutzung noch einen attraktiven Marktwert haben**, um auf dem Gebrauchtgeräte-markt verkauft werden zu können.

Neben Routern sind beispielsweise auch TV-Set-Top-Boxen Produkte, bei denen das Mietmodell angewendet wird. Für funktionsorientierte Kundensegmente ist das Modell z. B. auch bei Mobiltelefonen denkbar.

Auch bei Produkten, die nicht über das Mietmodell oder „Product as a Service“-Modell vertrieben werden können, gibt es wirtschaftliche Möglichkeiten für Unternehmen, den Produktlebenszyklus zu verlängern. Die Wirtschaftlichkeit hängt maßgeblich von den Kosten für eine Aufbereitung und dem auf dem Gebrauchtmarkt erzielbaren Preis ab. Durch den Verkauf von Gebrauchtgeräten können beispielsweise neue Kundengruppen adressiert werden. Das Labeln von Produkten als „pre-owned“ kann zur Einführung eines Niedrigpreissegments genutzt werden, ohne dafür Produkte veränderten Designs produzieren und zusätzliche Aufwände in Kauf nehmen zu müssen.

Eine weitere Vermarktungsstrategie ist das Schnüren von „grünen“ Produktpaketen. Diese könnten beispielsweise ein gebrauchtes IKT-Gerät und eine mit erneuerbarem Strom erbrachte Dienstleistung bein-

halten. Auch solche „Pakete“ würden neue Kundengruppen ansprechen.

Die Herausforderung beim Angebot gebrauchter Geräte außerhalb des Mietmodells ist die Sicherstellung eines regelmäßigen Volumenstroms geprüfter und aufbereiteter Gebrauchtgeräte. Diese Problematik verdeutlicht, dass sich Circular-Economy-Potenziale am besten über einen ganzheitlichen Ansatz erschließen lassen. Ansätze für die Rücknahme von Geräten werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

Sammeln und Sortieren

Der Hebel „Sammeln und Sortieren“ ist eine Voraussetzung für die Verlängerung der Produktlebenszyklen. Um Geräte aufbereiten und für eine zweite Nutzungsphase zur Verfügung stellen zu können, müssen sie von den Haushalten oder Unternehmen zurückgegeben werden. Zwei Bereiche können adressiert werden, um den Materialverlust an dieser Stelle des Systems zu verringern.

Durch bessere Sammelkonzepte und -prozesse kann der Verlust aufgrund nicht erfasster Geräte reduziert werden. In der Router-Fallstudie zeigt sich, dass derzeit 36% der Router bzw. 3,1 Mio. Geräte nicht erfasst werden. Dieser Teil verbleibt in den Haushalten oder wird im gemischten Siedlungsabfall bzw. informell entsorgt. Um die verbesserte und möglichst gerätespezifische Rückgabe zu fördern, gibt es zwei Möglichkeiten, ökonomische Anreize zu setzen. Im Mietmodell können vertragliche Strafzahlungen festgelegt werden, wenn Geräte nicht zurückgegeben werden. Im Kaufmodell können Kunden beispielsweise über Gutscheine oder Gutschriften gelockt werden. Letztere können auch zur Kundenbindung und zum Anreiz des Kaufs eines neuen Geräts genutzt werden.

Wichtig ist, die Barrieren für den Kunden so niedrig wie möglich zu halten. So sollten Vorlagen für den postalischen Versand oder einfach zugängliche Rückgabeorte (z. B. in Elektrofachgeschäften oder sogar Geschäften des täglichen Bedarfs) etabliert werden. Aufgrund der nach § 17 ElektroG verpflichtenden kostenlosen Rücknahme von kleinen Elektroaltgeräten aus privaten Haushalten in Geschäften, in denen

sie vertrieben werden und die eine Verkaufsfläche für Elektrogeräte von mindestens 400 m² haben, besteht hier für Unternehmen Handlungsbedarf. Da Elektrogeschäfte über geschützte Lagermöglichkeiten, Sicherheitsvorkehrungen und geschultes Personal verfügen, sind sie auch für eine Rücknahme von Geräten, die für die Wiederaufbereitung vorgesehen sind, gut aufgestellt.

Der zweite Ansatzpunkt bezieht sich auf das Recycling. Die Router-Fallstudie zeigt, dass neben der Erhöhung der Sammelquote auch die Erhöhung der Rückgewinnungsquote der Materialien im Recyclingprozess möglich ist. Diese Erhöhung kann durch eine bessere Getrennthaltung von verschiedenen Geräten im Sammelprozess erreicht werden. Bei gut sortierten oder sogar reinen Chargen (Monochargen) können die Geräte manuell bzw. geräteorientiert angepasst mechanisch aufgeschlossen werden, was die Rückgewinnung im Vergleich zu unsortiert geschredderten Geräten erhöht.²⁷ Entsprechend können Unternehmen für Altgeräte in Monochargen auch höhere Preise am Markt erzielen (ca. 0,55 €/kg Router).²⁸

Ein Faktor, der in der Berechnung der Router-Fallstudie nur eine untergeordnete Rolle spielt, ist die Logistik. Dies liegt daran, dass die für Unternehmen aufgrund der Wiederaufbereitung zusätzlich anfallenden Transportkosten pro Router (und die damit verbundenen CO₂-Emissionen) bei ausgelasteten Transportern minimal sind und der Rückversand zum Telko im erstellten Modell vom Kunden erfolgt. Wird dieser Kostenpunkt jedoch internalisiert, ergeben sich über die Optimierung der Distribution und der Sammelprozesse Potenziale, Kosten und CO₂-Emissionen einzusparen. Eine weitere Möglichkeit wäre, den Austausch der Router nach zwei Jahren auszusetzen. Dies

könnte durch Ferndiagnosen ermöglicht werden: Nur wenn der Router das Signal gibt, dass er ausgetauscht werden muss, wird ein Wechsel vorgenommen. Diese Funktion muss allerdings bereits in der Designphase angelegt werden. Dies zeigt ein weiteres Mal die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Hebeln und die Notwendigkeit der systemischen Betrachtung.

Aufbereitung/Remanufacturing

Die Herausforderung bei der Wiederaufbereitung von Produkten ist es, den Prozess kosteneffizient durchzuführen. Dadurch kann beim Verkauf des gebrauchten Geräts eine größere Gewinnspanne bzw. beim Mietmodell eine höhere Kostenreduktion im Vergleich zum Neugerät erzielt werden. Wie schon in der Designphase beschrieben, ist ein entsprechend optimiertes Design hilfreich. Externe Dienstleister, die auf die Aufbereitung von Routern spezialisiert sind, erbringen die Sortierung und Aufbereitung oft zu einem wesentlich günstigeren Preis, als es intern möglich ist. Die Kosten belaufen sich auf weniger als 20 € pro Router, sodass ungefähr zwei Drittel der Anschaffungskosten für ein Neugerät eingespart werden können.

Zusammenfassung

Die Analyse der Router-Fallstudie zeigt, dass Konzepte der Kreislaufwirtschaft dazu beitragen können, die Abfallströme zu verringern und die darin gebundenen Ressourcen zurückzugewinnen. Hieraus ergeben sich nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische und soziale Vorteile. Um die Potenziale nutzen zu können, bedarf es einer ganzheitlichen Integration von Circular-Economy-Ansätzen in die Produktstrategie, wobei alle vier vorgestellten Hebel genutzt werden sollten. Die diskutierten Handlungsempfehlungen sind in Kasten 2 noch einmal zusammengefasst.

27 Chancereel et al. (2009); Salhofer et al. (2010); Chancereel et al. (2010); Sander et al. (2015)

28 Gebrüder Meisterjahn GmbH (2017)

KASTEN 2

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN ZUR FÖRDERUNG EINER KREISLAUFWIRTSCHAFT FÜR DAS FALLBEISPIEL ROUTER

Handlungsempfehlungen im Überblick:

Design

- **Hersteller:** Design für Wiederaufbereitung optimieren, um Kosten für die Wiederaufbereitung um ca. 50 % zu reduzieren (z. B. durch den Einsatz von kratzfestem Plastik)
- **Politik:** Erhöhen bereits existierender ökonomischer Anreize, z. B. durch Ökodesignvorgaben und eine Stärkung der Herstellerverantwortung, um Design für Wiederaufbereitung zu fördern

Wiederverkauf/Vermietung

- **Inverkehrbringer:** Anwenden des Mietmodells oder „Product as a Service“-Geschäftsmodells bei geeigneten Produkten, um ökologische und ökonomische Potenziale entlang des Produktlebenszyklus für sich zu nutzen
- **Inverkehrbringer:** Aufnehmen gebrauchter Geräte in das Portfolio, um durch Einsparung von ca. 35 % der Einkaufskosten gegenüber dem

Neugeräteeinkauf neue Kundengruppen zu erschließen

Sammeln/Sortieren

- **Inverkehrbringer:** Schaffen von Anreizen für die Rückgabe durch Gutschriften oder vertragliche Regeln, um die Sammelquote zu erhöhen
- **Sammler von Elektroaltgeräten:** Ermöglichen einer besseren Getrennthaltung der Geräte in Sammelvorrichtungen, um höhere Preise für Elektroaltgeräte beim Erstbehandler zu erzielen und gleichzeitig eine höhere Rückgewinnungsquote zu ermöglichen

Aufbereitung/Remanufacturing

- **Inverkehrbringer:** Bündeln der Wiederaufbereitungsprozesse bei externen, spezialisierten Dienstleistern und Aushandeln attraktiver Fallpauschalen, um Kosten zu reduzieren

2.2 Automobilbranche

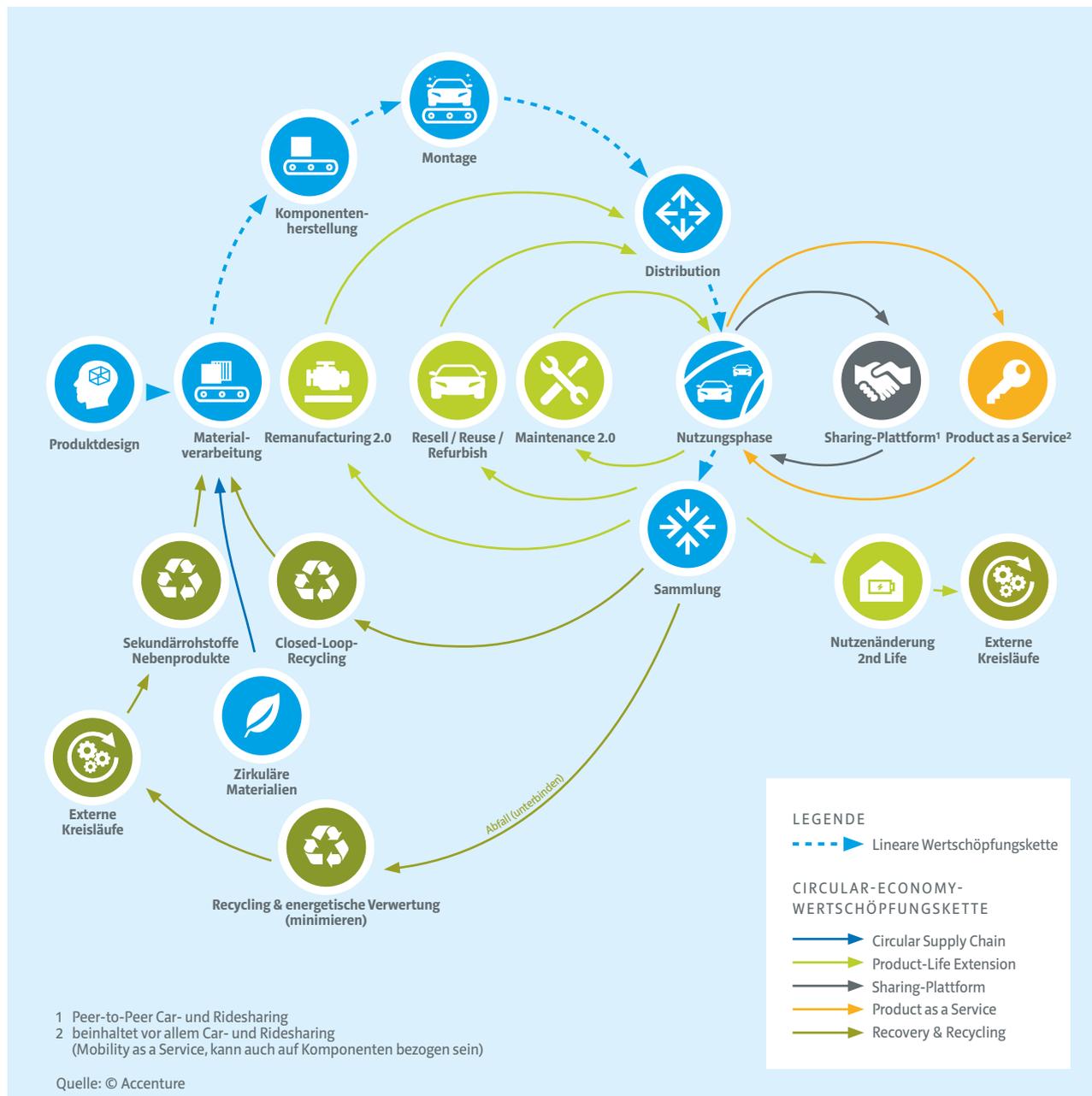
Deutschland ist dem Klimaschutz verpflichtet und will seine Treibhausgasemissionen bis 2050 um 80 bis 95 % reduzieren. Da der Verkehrssektor 2014 rund 18 % der gesamten CO₂-Emissionen in Deutschland verursachte²⁹, ist die emissionsfreie Mobilität ein wichtiger Hebel für das Erreichen klimapolitischer Ziele. Unter der Voraussetzung der zunehmenden Nutzung erneuerbarer Energien kann eine Emissionsreduktion des Verkehrssektors beispielsweise durch die Elektrifizierung erfolgen.

Der Ausbau der Elektromobilität kann darüber hinaus Möglichkeiten für zirkuläre Geschäftsmodelle ergeben.

Abbildung 4 gibt einen Überblick der Circular-Economy-Geschäftsmodelle für die Automobilbranche. Sie zeigt, dass die in Kapitel 1, Kasten 1 beschriebenen fünf Ansätze auch auf die Automobilbranche übertragbar sind. In den vergangenen Jahren entstanden beispielsweise verstärkt Sharing-Plattformen oder „Product as a Service“-Angebote, die die Auslastung von Fahrzeugen erhöhen und damit die Leerkapazität verringern. Geschäftsmodelle, die im Zusammenhang mit Elektromobilität stehen, können auch der Sektorkopplung mit dem Energiemarkt dienen.

29 UBA (2016a)

ABBILDUNG 4
GESCHÄFTSMODELLE DER CIRCULAR ECONOMY IN DER AUTOMOBILBRANCHE

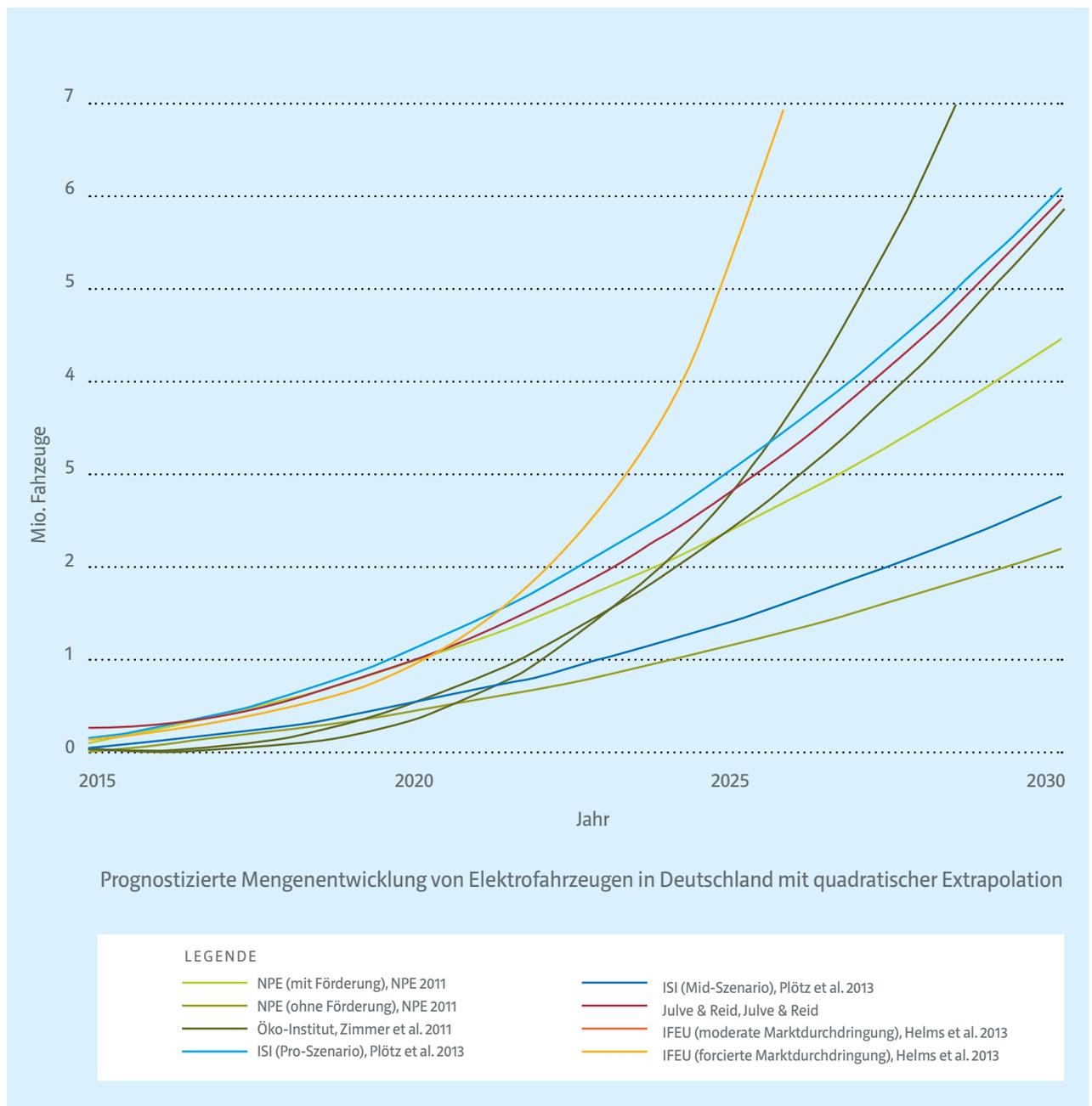


Die Bundesregierung hatte bislang die Zielmarke von 1 Mio. E-Fahrzeugen bis 2020 gesetzt³⁰, im Mai 2017 jedoch eingestanden, dass dieses Ziel voraussichtlich nicht erreicht wird.³¹ Mehrere Studien haben in den vergangenen Jahren die Mengenentwicklung in

Deutschland in den Jahren bis 2020 respektive bis 2030 modelliert. Die Szenarien ergeben dabei Spannbreiten zwischen unter 500.000 bis über 1 Mio. Elektrofahrzeuge im Jahr 2020 und knapp 6 Mio. bis über 22 Mio. im Jahr 2030 (siehe Abbildung 5).

³⁰ Bundesregierung (2009)
³¹ Bundesregierung (2017)

ABBILDUNG 5
MENGENENTWICKLUNG VON ELEKTROFAHRZEUGEN IN DEUTSCHLAND



Mit weiterhin wachsenden Reichweiten der Elektrofahrzeuge und stetig sinkenden Batteriekosten erwartet die Industrie ein starkes Wachstum der Elektromobilität innerhalb der kommenden zehn Jahre. Experten gehen von einem dynamischen Wachstum ab 2020 aus, wenn die Gesamtbetriebskosten (Total Cost of

Ownership, TCO) während der Lebensdauer von Elektrofahrzeugen so weit gesunken sind, dass diese auf dem Massenmarkt wettbewerbsfähig sind.³² Im Folgenden werden mögliche Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft am Beispiel der Traktionsbatterie vorgestellt.

32 CAM (2016)

Fallstudie Traktionsbatterien

Neue Geschäftsmodelle durch Elektromobilität

Die von der Bundesregierung initiierte Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) begreift E-Mobility als System, zu dem neben Fahrzeug- und Antriebstechnologien auch Aspekte wie Standardisierung, Stadtplanung oder Qualifizierung und Arbeitplatzeffekte gehören.³³ Damit ermöglicht die Elektromobilität auch neue Geschäftsmodelle, die sich von den in der Industrie bislang etablierten Modellen unterscheiden werden.

Automobile mit Verbrennungsmotoren folgen einem Geschäftsmodell, welches die Zweitnutzung einzelner Fahrzeugkomponenten weitestgehend ausschließt. Einzelne Komponenten werden nur dann ausgetauscht, wenn die Reparatur nicht möglich oder nicht lohnend ist, und dienen in erster Linie der Verlängerung der Lebensdauer des Fahrzeugs an sich. Sowohl die wirtschaftlichen Potenziale für die Hersteller als auch die Möglichkeiten zur Zweitnutzung dieser Komponenten sind entsprechend begrenzt. Im Rahmen der erweiterten Produktverantwortung sind die Hersteller für die Rücknahme und Verwertung von Altfahrzeugen verantwortlich und kooperieren mit Vertragswerkstätten und Demontagebetrieben, um dieser gesetzlichen Verpflichtung nachzukommen. Auch hierbei spielt die Rückführung gebrauchter Komponenten keine Rolle.

Der Betrieb von Elektrofahrzeugen birgt hingegen neue Möglichkeiten für zirkuläre Geschäftsmodelle, in denen einzelne Komponenten weiter genutzt werden können. Insbesondere Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen bieten in dieser Hinsicht wirtschaftliche und ökologische Potenziale und können zur Sektorkopplung von Mobilität und Energiemarkt beitragen. Entsprechende Ansätze können sowohl für Autohersteller als auch für weitere Akteure entlang der Wertschöpfungskette relevant sein. Chancen ergeben sich, da die Batterien zu unterschiedlichen Zeitpunkten als stationäre Energiespeicher eingesetzt werden können:

- **als Speicher im laufenden Betrieb**, wenn E-Fahrzeuge ans Stromnetz angeschlossen sind und

durch intelligentes Laden Lastspitzen im System ausgleichen;

- **als lagernde Batterien**, die vor ihrem Einsatz auf der Straße als stationäre Speicher dienen;
- **als stationäre Batteriespeicher**, die von der Restkapazität gebrauchter Traktionsbatterien in einer Zweitnutzung Gebrauch machen.

Die vorliegende Fallstudie beschränkt sich auf die letztgenannte Möglichkeit, da hier Potenziale für Geschäftsmodelle bestehen, die neben ökonomischen Vorteilen auch positive ökologische Effekte aufweisen und einen Teil einer zukünftigen Kreislaufwirtschaft darstellen können.

Erstnutzungsdauer und Verfügbarkeit von gebrauchten Traktionsbatterien

Die Dauer der Erstnutzung von Traktionsbatterien im Elektrofahrzeug wird in der Regel vom Kapazitätsverlust der Batterie während des Betriebs bestimmt. Dieser ist abhängig von verschiedenen sich gegenseitig beeinflussenden Parametern wie der Anzahl der Ladezyklen, der Entladetiefe, der Umgebungstemperatur, den Lastprofilen und der chemischen Zusammensetzung der Batterie.

Bis zu einer Restkapazität von etwa 80 % verläuft die Kapazitätsabnahme nur schwach linear und die für den Fahrbetrieb notwendige Leistung kann gewährleistet werden.³⁴ Deshalb hat die Automobilindustrie diesen Wert als gängigen Grenzwert für den Austausch von Batterien festgelegt. Einige Hersteller garantieren diese Mindestkapazität für die ersten acht Jahre.³⁵ Studien gehen abhängig von den gefahrenen Kilometern von einem Zeitraum zwischen fünf und sieben Jahren aus.³⁶ Dies bedeutet, dass Lithium-Ionen-Batterien (LIB) in der Regel nach fünf bis zehn Jahren mit einer Restkapazität von etwa 80 % für eine Zweitnutzung zur Verfügung stehen.

Die Verfügbarkeit von gebrauchten Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen (im Folgenden auch Second-Life-Batterien oder SL-LIB) ist abhängig von der allgemeinen Marktentwicklung der Elektromobilität

³⁴ Konietzko und Gernuks (2011); Fischhaber et al. (2016)

³⁵ Fischhaber et al. (2016); Helms et al. (2013)

³⁶ Julve und Reid (2016)

³³ Vgl. www.nationale-plattform-elektromobilitaet.de/

(s. o.). Die zeitliche Verzögerung, die sich durch den Betrieb im Fahrzeug ergibt, kann von Unternehmen genutzt werden, um sich ergebende Geschäftsmöglichkeiten durch Zweitnutzungskonzepte zu explorieren und vorzubereiten. Dies wird in Form von Forschungsprojekten und Pilotvorhaben bereits von einigen Akteuren umgesetzt. Dort gewonnene Erkenntnisse werden im vorliegenden Bericht berücksichtigt.

Nach der Erstnutzung: gesetzliche Verpflichtungen und Handlungsoptionen

E-Mobility-Traktionsbatterien gelten laut Batteriegesetz (BattG) nicht als Fahrzeug-, sondern als Industriebatterien. Zur Rücknahme nach der Erstnutzung ist grundsätzlich der Autohersteller verpflichtet. Nach dem Gesetz können für diese Batterien jedoch auch abweichende Vereinbarungen zwischen Herstellern und weiteren Akteuren getroffen werden. Die Zweitnutzung gebrauchter LIB ist in beiden Fällen möglich.

Nach der Erstnutzung ergeben sich grundsätzlich zwei Handlungsoptionen: Die Batterie kann direkt in das Recycling gegeben oder in einer Zweitnutzung weiterverwendet werden.

Das Recycling von Traktionsbatterien ist trotz der enthaltenen wertvollen Rohstoffe derzeit nicht wirtschaftlich durchführbar. Die Verfahren zur Rückgewinnung der Rohstoffe in LIB sind nicht nur kosten-, sondern auch hoch energieintensiv und weisen damit eine schlechte Ökobilanz auf. Aufgrund technologischer Weiterentwicklungen und gesteigerter Effizienz der Prozesse werden allerdings in der Zukunft stark sinkende Recyclingkosten und sogar Gewinne erwartet.³⁷ Die Schwelle zur Kostenneutralität wird dabei schneller erreicht, wenn das Altbatterieaufkommen deutlich ansteigt. Entsprechend der Marktentwicklung in der Elektromobilität wird dies für LIB der Fall sein. Der Zeitpunkt ist jedoch auch von einer möglichen Zweitnutzungsdauer abhängig.

Die anfallenden Kosten für Recycling sprechen momentan dafür, die Zweitnutzung von gebrauchten LIB als Handlungsoption zu wählen. Hierdurch können mögliche neue Einnahmequellen erschlossen sowie die

stoffliche Verwertung hinausgezögert werden. Dies sollte, wenn möglich, mindestens so lange geschehen, bis dem Hersteller oder Betreiber durch das Recycling der Batterie kein wirtschaftlicher Nachteil mehr entsteht. Unter der Annahme der zukünftigen Effizienzsteigerung im Recycling kann die Zweitnutzung und damit einhergehende Verzögerung also sowohl aus wirtschaftlicher als auch aus ökologischer Sicht zu einer verbesserten Verwertung der Batterie beitragen. Dies kann wiederum langfristig den Wert von Altbatterien und die Wirtschaftlichkeit einer Zweitnutzung erhöhen.

Möglichkeiten zur Zweitnutzung von Traktionsbatterien

Die Nutzung von Traktionsbatterien nach ihrem „First Life“ im Elektrofahrzeug geht sowohl mit wirtschaftlichen als auch ökologischen Potenzialen einher. Die oben dargestellte Mengenentwicklung zeigt, dass die Menge an LIB, die für eine Zweitnutzung infrage kommen, kontinuierlich wächst – und zwar zeitlich verzögert zur E-Mobility-Marktentwicklung. Damit werden etwa ab dem Jahr 2025 gebrauchte Traktionsbatterien in einer Menge zur Verfügung stehen, die eine Anwendung im größeren Maßstab erlaubt. In welchen Second-Life-Anwendungen gebrauchte Traktionsbatterien als Energiespeicher eingesetzt werden können und welche Schritte zur Wiederaufbereitung dafür notwendig sind, wird im Folgenden dargestellt.

Batteriespeicher zur Bereitstellung und Vermarktung von Primärregelleistung

Gebrauchte Traktionsbatterien können nach ihrer Nutzung in Elektrofahrzeugen zu größeren Batteriespeichern zusammengeschlossen werden. Die so erzeugte kumulierte Speicherleistung kann u. a. als Primärregelleistung³⁸ vermarktet werden.

Batteriespeicher sind aufgrund ihrer kurzen Aktivierungszeit und hoher erzielbarer Leistungsgradienten besonders gut geeignet für die Bereitstellung von Primärregelleistung. Der Einsatz von gebrauchten LIB hat dabei einen zusätzlichen ökologischen Nutzen,

37 Fischhaber et al. (2016)

38 Primärregelleistung dient dazu, kurzfristige Schwankungen im Stromnetz auszugleichen. Solche Schwankungen nehmen mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien zu, weil die dadurch eingespeisten Strommengen fluktuieren. Um Stromausfälle zu vermeiden und die Gleichgewichtsfrequenz von 50 Hertz im bundesdeutschen Energienetz aufrechtzuerhalten, vergeben die Übertragungsnetzbetreiber Aufträge zur Bereitstellung von Primärregelleistung. Im ersten Quartal 2017 wurde Primärregelleistung mit durchschnittlich 2.700 € je MW vergütet (www.regelleistung.net).

da die Nutzungsdauer dieser Batterien im Sinne der EU-Abfallhierarchie verlängert wird und die Wiederverwendung Vorrang vor dem Recycling erhält.

Der Anteil an installierten Batteriespeichern mit LIB zur Bereitstellung von Primärregelleistung steigt derzeit stark an: Allein im Jahr 2016 wurden Batteriespeicher mit einer Nennleistung von ca. 150 MW in Betrieb genommen, davon ungefähr 20 MW aus Second-Life-Batterien.³⁹

Batteriespeicher zur Erbringung von Primärregelleistung müssen dabei nicht notwendigerweise als einzelne Anlagen direkt vermarktet werden, sondern können auch mit anderen zu einem Kraftwerkspool zusammengeschlossen werden. So kann die eigene Kapazität als Teil eines virtuellen Kraftwerks bereitgestellt werden. Betreiber von Batteriespeichern vermarkten ihre Regelleistung über einen Dritten. Aufwand und Kosten für den Energiehandel entfallen. So können z.B. auch Stadtwerke vorhandene Speicherkapazitäten ohne signifikanten Mehraufwand am Markt einsetzen.

Gebrauchte Traktionsbatterien im Einsatz als Speicher für Privathaushalte und Firmengebäude

Seit etwa 2013 ist die Erzeugung von Photovoltaik-Strom (PV) in Deutschland in der Regel günstiger als der Bezug von Haushaltsstrom aus dem Netz, sodass der Kostenvorteil durch Eigenverbrauch stetig steigt.⁴⁰ Mit sinkenden Einspeisevergütungen für Strom aus PV-Anlagen wird eine Zwischenspeicherung von überschüssig erzeugter Energie zunehmend attraktiver. So kann der Eigenbedarf zu einem höheren Anteil aus der eigenen Anlage gedeckt und der Strombezug aus dem Netz verringert oder zu Zeiten hohen Strombedarfs ins Netz eingespeist werden. Für diese Zwischenspeicherung bedarf es eines Speichersystems, für das auch gebrauchte LIB aus Elektrofahrzeugen eingesetzt werden können – im kleinen Maßstab genügt dabei schon eine einzige Batterie. Der Gesamtabsatz von Speichersystemen in Deutschland war 2016 um 40 % höher als im Vorjahr, etwa 90 % davon auf Basis von neuen Lithium-Ionen-Batterien (zwischen 23.000 und 25.000 verkaufte Systeme).⁴¹

39 Stenzel (2016)

40 Destatis (2017); Forschungsradar (2014)

41 PV magazine (2016)

Der Einsatz von Batteriespeichern ist nicht auf Privathaushalte beschränkt – auch mit einem PV-Dach ausgestattete Gebäude wie Fabrikhallen, Supermärkte oder Lagerhäuser können durch den Einsatz von Second-Life-Batterien den Eigenverbrauch erhöhen. Neben dieser gewerblichen Anwendung haben Unternehmen mit zeitweise hohem Stromverbrauch die Möglichkeit, Batteriespeicher zum Senken von Lastspitzen einzusetzen (Peak Shaving) und somit Versorgungsengpässe zu vermeiden. Gleichzeitig reduziert sich durch die Lastverlagerung das zu zahlende Leistungsentgelt.

Weitere Zweitnutzungsoptionen

Mit dem Ausbau der Elektromobilität muss auch die Ladeinfrastruktur wachsen, wodurch insbesondere der Bedarf an Schnellladesäulen steigen wird. Hier können SL-LIB zum Einsatz kommen. In der HafenCity Hamburg gibt es bereits ein Pilotprojekt von BMW, Vattenfall und Bosch: Der Einsatz von gebrauchten Batterien als Puffer für Schnellladesäulen ist nach einer Probephase mittlerweile in den Regelbetrieb gegangen.⁴² Betreiber von Raststätten an deutschen Autobahnen können mithilfe von Schnellladesäulen gewährleisten, dass Elektrofahrzeuge in kurzer Zeit geladen werden können, ohne dass es lokal zu einer Überlastung kommt.

Weitere potenzielle Nutzungsoptionen von SL-LIB, die an dieser Stelle nicht detaillierter beschrieben werden, bestehen in folgenden Anwendungen:

- Notstromversorgung
- Flurförderfahrzeuge
- Stromversorgung in abgelegenen Gebieten (Micro Grid)
- Container-Batteriespeicher in Quartieren zur Speicherung lokal erzeugter erneuerbaren Stroms (Skalierung der o. g. Hausspeichersysteme)

Wiederaufbereitung von LIB zur Vorbereitung der Second-Life-Nutzung

Die Wiederaufbereitung von gebrauchten Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen ist wesentlicher Bestandteil von Second-Life-Konzepten und stellt aufgrund der zu erwartenden Marktentwicklung der

42 Vgl. BMW (2014)

E-Mobility ein wachsendes Betätigungsfeld innerhalb der Kreislaufwirtschaft dar.

Es ist zu erwarten, dass die Kosten für neue LIB in den kommenden Jahren aufgrund von Innovationen stark fallen werden. Dies beeinflusst wiederum die Wettbewerbsfähigkeit von gebrauchten Batterien. Langfristig wird der maximale Verkaufswert einer SL-LIB mit einer Restkapazität von 80 % ungefähr 50 % der Kosten einer Neubatterie betragen.⁴³ Der Restwert einer Second-Life-Batterie wird dabei maßgeblich von den Kosten für die Wiederaufbereitung beeinflusst. Eine Zweitnutzung von SL-LIB ist daher wirtschaftlich nur sinnvoll, wenn die Wiederaufbereitung effizient und möglichst kostengünstig durchgeführt werden kann. Somit sind Aktivitäten am Übergang zwischen Erst- und Zweitnutzung einer Batterie entscheidend dafür, wie schnell sich Zweitnutzungen von Traktionsbatterien im Sinne der Kreislaufwirtschaft etablieren lassen.

Bislang findet die Wiederaufbereitung nur für und im Rahmen von Pilotvorhaben statt, die von einzelnen Akteuren (z. B. Energieversorger) oder mehreren Kooperationspartnern (z. B. Automobilhersteller, Energieversorger und Projektierer) angestoßen werden. Somit ist die Wiederaufbereitung noch keine marktgängige Leistung. Hier besteht eine Reihe von Herausforderungen, die gleichzeitig Ansatzpunkte und Stellschrauben sind, um die Wiederaufbereitung gebrauchter Batterien kosteneffizient zu gestalten: zum einen beim Wiederaufbereitungsprozess an sich und zum anderen beim Design der Traktionsbatterie, welche Auswirkungen auf spätere Arbeitsschritte hat:

- Ausgediente Batterien sind Gefahrgut und müssen entsprechend transportiert werden.
- Transportwege sollten reduziert werden, indem Speicher dort projektiert werden, wo gebrauchte Batterien anfallen. Entsprechend sollten Bedarfe des Stromnetzes bei der Standortplanung von Wiederaufbereitungszentren für Batterien berücksichtigt werden.
- Aufgrund ihrer spezifischen Bauart für die Verwendung in Fahrzeugen müssen Batterien vor der Zweitnutzung geöffnet und mit anderen Elektrik-

43 Fischhaber et al. (2016)

und Elektronikkomponenten versehen werden.

Dafür kann es notwendig sein, die Batterien auf Modulebene zu zerlegen.

- Die notwendigen Arbeitsschritte müssen möglichst einfach und effizient gestaltet werden, z. B. durch leicht und schnell zu öffnende Batterien. Dies sollte schon in der Designphase berücksichtigt werden.
- Die aufbereiteten Batterien müssen sinnvoll in Schränke und/oder Container eingebaut und mit einer bedarfsgerechten Luftkühlung ausgestattet werden. Für die Verschaltung des Energiespeichers bis hin zum Übertragungsnetz oder der EE-Anlage sind verschiedene Systemarchitekturen möglich, in denen Wechselrichter und andere Komponenten eingesetzt werden.⁴⁴
- Batterie und Systemarchitektur sollten möglichst früh aufeinander abgestimmt werden. Schon in der Designphase sollte berücksichtigt werden, dass Batterien zur Zweitnutzung mit anderen Komponenten zusammengeschlossen werden müssen.
- Der Betrieb als stationärer Speicher bedarf einer besonderen Programmierung des Batteriemanagementsystems (BMS), welches im Regelfall geschlossen ist und daher nicht umprogrammiert werden kann, sondern ausgetauscht werden muss.
- Die Zweitnutzung sollte schon bei der Programmierung des BMS berücksichtigt werden – idealerweise durch das werkseitige Einspielen von Programmen sowohl für den Fahr- als auch den stationären Betrieb oder durch das Ermöglichen einer einfachen Umprogrammierung.
- Zur effizienten Aufbereitung muss der Aufwand für die notwendige Leistungsdiagnostik der Batterien möglichst gering bleiben.
- Batterien sollten daher mit BMS ausgestattet werden, bei denen das Auslesen der Nutzungsdaten aus der Erstnutzung leicht durchführbar ist. Die Entwicklung und Anwendung entsprechender Software zur Ermittlung der dem Zustand entsprechenden optimalen Zweitnutzung ist somit Voraussetzung für eine kosteneffiziente Aufbereitung nach der Erstnutzung.

44 Kölch (2015)

Gegenwärtig sind die Automobil- bzw. Batteriehersteller die entsprechenden Akteure, für die eine Zweitnutzung wirtschaftlich durchführbar ist, da sie den Zugriff auf die eigenen Batterien sicherstellen können. Zusätzlich bieten sich in absehbarer Zukunft an der Schnittstelle zwischen Erst- und Zweitnutzung wirtschaftliche Potenziale für Dienstleister, die sich auf die Wiederaufbereitung von gebrauchten LIB spezialisieren.

Die Wiederaufbereitungskosten lassen sich reduzieren, indem die Zweitnutzung der Batterien schon beim Design der LIB berücksichtigt und bei der Produktion „mitgedacht“ wird. Hersteller sollten schon zu Beginn des Entwicklungsprozesses Einfluss auf die Zweitnutzungsphase nehmen, um die Lebensdauer ihrer Batterien zu verlängern und das Recycling in die Zukunft zu verlagern. Damit erfüllen sie auch die gesetzlichen Vorgaben zu Herstellerverantwortung und Abfallhierarchie und können in Kooperationen mit weiteren Akteuren neue Geschäftsfelder erschließen, die die E-Mobility sinnvoll ergänzen. Innerhalb der Automobilunternehmen ist dafür aber eine bereichsübergreifende Zusammenarbeit notwendig: zum einen, um eine Traktionsbatterie so zu gestalten, dass Aspekte entlang des gesamten Lebenszyklus berücksichtigt werden können; zum anderen, um den damit verbundenen Business Case mit den entsprechenden finanziellen Kennzahlen abzubilden und ganzheitlich zu berechnen. Dies umfasst auch das Berücksichtigen von Mehrumsätzen durch die Zweitnutzung.

Wirtschaftlichkeit und ökologische Effekte einer Zweitnutzung

Wirtschaftlichkeit

In puncto Wirtschaftlichkeit kann eine Zweitnutzung von SL-LIB im Vergleich zum Einsatz einer Neubatterie als direkte Konkurrenz bei der Energiespeicherung angesehen werden. Neubatterien sind aufgrund technischer Weiterentwicklungen zwar im Vorteil und weisen noch keine Alterungserscheinungen auf, sind jedoch auch teurer als gebrauchte Batterien.

Das Schaufenster Elektromobilität hat die Wirtschaftlichkeit mittels der Kapitalwertmethode nachgewiesen und kommt zu dem Ergebnis, dass sich der Einsatz

von gebrauchten Batterien lohnt (20-jähriger Betrachtungszeitraum): In der Anwendung als Speicher zur Bereitstellung von Primärregelleistung steigt der Kapitalwert verglichen mit dem Einsatz einer Neubatterie um 33%, der Second-Life-Speicher amortisiert sich schon nach wenigen Jahren.⁴⁵

Ökologische Effekte einer Zweitnutzung

Die Verlängerung der Nutzungsdauer von Traktionsbatterien geht mit deutlichen ökologischen Vorteilen gegenüber einer Produktion von Neubatterien einher, wenn durch die Nutzung von SL-LIB die Produktion und der Einsatz neuer Batterien vermieden werden: Das Treibhausgas-Einsparpotenzial pro kWh ursprüngliche Nennkapazität durch vermiedene Neubatterie-Produktion beträgt 34 bis 106 kg CO₂-Äquivalente.⁴⁶

Wie hoch das Einsparpotenzial bei Ressourcen und Emissionen tatsächlich ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie etwa der Umweltwirkung der Neuproduktion einer Batterie, ihrem Alterungsverhalten und damit einhergehend der Nutzungsdauer und dem Wirkungsgrad der Batterie in der Zweitnutzung sowie dem Aufwand für die Wiederaufbereitung der gebrauchten Traktionsbatterie. Durch eine Verlängerung der Nutzungsdauer in Zweitnutzungen kann die Rohstoffproduktivität der LIB aber deutlich gesteigert werden.

Ein ökologischer Effekt von Batteriespeichern besteht bereits darin, dass durch die Speicherung der Anteil der erneuerbaren Energien am gesamten Strommix erhöht werden kann. Werden in solchen Batteriespeichern wiederaufbereitete Traktionsbatterien eingesetzt, erhöht sich der ökologische Effekt durch Einsparung von Energie und Ressourcen in der Neuproduktion.

Zusammenfassung

Traktionsbatterien werden nach einer Nutzungsdauer von fünf bis zehn Jahren im Fahrbetrieb ausgetauscht und verfügen zu diesem Zeitpunkt noch über eine Restkapazität von etwa 80%. Damit kommen sie für eine Zweitnutzung als stationäre Batteriespeicher infrage, die u. a. zur Bereitstellung von Regelleistung und als Lastpuffer im privaten und gewerblichen Bereich

⁴⁵ Rahimzei et al. (2016)

⁴⁶ Ebd.

eingesetzt werden können. Durch Zweitanwendungen wird die Lebensdauer der Batterien deutlich verlängert – dies entspricht der Abfallhierarchie und hat positive ökologische und ökonomische Effekte. Zum einen ersetzt die Zweitnutzung einer Traktionsbatterie die Produktion einer Neubatterie, zum anderen wird das schlussendlich notwendige Recycling der Traktionsbatterien – welches derzeit noch unwirtschaftlich ist – weiter in die Zukunft verlagert.

Unternehmen aus der Automobilindustrie sind diejenigen Akteure, die entsprechende Lösungen entwickeln und umzusetzen können. Hersteller von Elektrofahrzeugen und Traktionsbatterien sollten Second-Life-Anwendungen schon am Anfang der Wert-

schöpfungskette einplanen, sowohl um zukünftige Erträge zu sichern und die Zweitnutzung profitabler zu machen als auch um positive ökologische Effekte durch die Verlängerung der Lebensdauer zu bewirken. Dafür müssen Erst- und Zweitnutzung möglichst gut aufeinander abstimmt und die Wiederaufbereitung bereits in Design und Produktion berücksichtigt werden.

Die Automobilindustrie kann mit den oben beschriebenen Ansätzen der Kreislaufwirtschaft für Traktionsbatterien einen deutlich größeren Beitrag zur Transformation der Energielandschaft und zur Dekarbonisierung leisten als nur durch die Substitution von Verbrennungsmotoren durch Elektroantriebe.

KASTEN 3

ABGESCHLOSSENE ODER LAUFENDE FORSCHUNGS- UND FÖRDERUNGSPROJEKTE ZUR ZWEITNUTZUNG VON TRAKTIONSBATTERIEN AUS DER ELEKTROMOBILITÄT

Praxisnahe und anwendungsbezogene Forschung

Eine Reihe von abgeschlossenen und laufenden Forschungsvorhaben beschäftigt sich mit der Zweitnutzung von Traktionsbatterien am Ende ihres Einsatzes auf der Straße. Die Vorhaben verfolgen unterschiedliche Zielrichtungen, haben aber eines gemeinsam: Neben Forschungseinrichtungen sind auch privatwirtschaftliche Akteure beteiligt, wodurch die wichtige Nähe zur tatsächlichen Anwendung neuer Entwicklungen in der Praxis ermöglicht wird.

Beispielhaft seien genannt:

- **Die Projekte LithoRec I + II**⁴⁷, welche an der Entwicklung von wirtschaftlich und ökologisch tragfähigen Recycling-Lösungen im industriellen Maßstab zur Rückgewinnung von Lithium und anderen Aktivmaterialien arbeiten. So sollen Materialien als Sekundärrohstoffe in die Batterieherstellung zurückgeführt werden.
- **Die Entwicklung integrierter Lösungen und Informationssysteme** für die Weiterverwendung

von Traktionsbatterien aus Elektrofahrzeugen (EOL-IS⁴⁸), um eine optimale Zweitnutzung für eine gebrauchte Batterie vorzuschlagen und die dafür relevanten Dienstleistungen zu empfehlen.

Darüber hinaus fördert die Bundesregierung Elektromobilität mit unterschiedlichen Programmen und Initiativen, z. B.:

- **Schaufenster Elektromobilität**, dessen Ziel es ist, Kompetenzen in den Bereichen Elektrofahrzeug, Energieversorgung und Verkehrssystem zu bündeln und sichtbar zu machen.⁴⁹
- **Die Nationale Plattform Elektromobilität (NPE)** agiert als Beratungsgremium der Bundesregierung. Sie betrachtet die wirtschaftlichen, sozialen und ökologischen Potenziale der Elektromobilität und spricht Handlungsempfehlungen für Politik und Wirtschaft aus.⁵⁰

47 www.lithorec.de/ und www.lithorec2.de/

48 www.eol-is.de/

49 www.eol-is.de/

50 www.nationale-plattform-elektromobilitaet.de/

2.3 Baubranche

Mineralische Bauabfälle stellen mit 192 Mio. t (2012)⁵¹ mengenmäßig den größten Abfallstrom in Deutschland dar. Gleichzeitig beeinflusst der Einsatz von Baustoffen den Indikator zur Messung der Ressourcenschonung⁵² maßgeblich. Die Baubranche spielt daher eine herausragende Rolle bei Bemühungen um eine Förderung der Kreislaufwirtschaft. Die Notwendigkeit einer verstärkten Kreislaufführung von Baustoffen lässt sich am Beispiel der Gipsindustrie darstellen, nicht zuletzt aufgrund ihrer Verbindung zum Energiesektor und zum Klimaschutz.

Fallstudie Gips

Verfügbarkeit von Gips

In Deutschland werden jährlich ca. 7,5 Mio. t Gips in der Gips- und Zementindustrie verbraucht. Diese Nachfrage wird fast ausschließlich durch die inländische Produktion befriedigt, die zum einen auf dem flächenintensiven Abbau von Naturgips und zum anderen auf der REA-Gips-Produktion der Rauchgasentschwefelung in Braun- und Steinkohlekraftwerken beruht. Letztere hatte 2013 einen Anteil von 62 % an der Gipsproduktion (siehe Abbildung 6).⁵³

Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele Deutschlands wird es zu einer Reduzierung des Braunkohle- und Steinkohleanteils an der Stromerzeugung kommen müssen⁵⁴, welche zu einem Rückgang der verfügbaren Mengen an REA-Gips führen wird. Gleichzeitig wird von einem steigenden Gipsverbrauch in den kommenden Jahren ausgegangen⁵⁵, so dass andere Herkunftsquellen erschlossen werden

51 UBA (2016c)

52 Indikator 8.1 der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie: Gesamtrohstoffproduktivität (Bundesregierung 2016)

53 Weitere kleinteiligere Verbrauchsbereiche sind u. a. der Landwirtschafts- und Lebensmittelsektor, der Medizinbereich sowie der Kunst- und Modellbau. Hierzu sind allerdings keine Daten für das Jahr 2013 verfügbar (Bundesverband der Gipsindustrie 2017).

54 In der Energieeffizienzprognose des BMWi wird im Trendszenario davon ausgegangen, dass es erst nach 2030 zu einer signifikanten Reduktion des Braun- und Steinkohleanteils an der Bruttostromerzeugung kommt und im Jahr 2050 bei der Braunkohle ein Rückgang von 80 % und bei Steinkohle ein Rückgang von 50 % im Vergleich zu 2011 stattfindet (Schlesinger et al. 2014). Im Jahr 2035 würden demnach immer noch 5,3 Mio. t REA-Gips produziert (BBS 2016). Eine Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) rechnet dagegen vor, dass „für die Erreichung der Klimaschutzziele im Stromsektor [...] die Erzeugung von Braun- und Steinkohlekraftwerken bis 2030 um mehr als 50 % gegenüber dem Jahr 2014 reduziert werden [muss]“ (Hermann et al. 2017, S. 4). Im Falle dieses Zielszenarios würde die REA-Gips-Menge im Jahr 2035 auf 3,3 Mio. t zurückgehen (BBS 2016).

55 Deilmann et al. (2014); Buchert et al. (2017)

müssen, damit die ausreichende Verfügbarkeit von Gips auch in Zukunft gewährleistet ist. Zwei Optionen sind hier denkbar: der Ausbau der Gewinnung von Naturgips und die Produktion von Recycling-Gips.

Der Ausbau der Gewinnung von Naturgips ist mit schweren Eingriffen in die Natur verbunden und steht dem angestrebten Ziel einer Reduzierung des Flächenverbrauchs in Deutschland entgegen.⁵⁶ Aus diesem Grund wird im Folgenden die Möglichkeit einer verstärkten Verwertung von Gips sowie die Produktion von Recycling-Gips aus dem im Häuserbestand verbauten Gips betrachtet.

Gips ist prinzipiell ein Rohstoff, der von seinen chemischen Eigenschaften her in hoher Qualität wiederverwertet werden kann⁵⁷ und damit für eine Kreislaufführung gut geeignet ist. Voraussetzungen sind eine hohe Sortenreinheit der Gipsabfälle und geringe Anteile an Störstoffen.⁵⁸ Die hochwertige Verwertung von gipshaltigen Bauabfällen zur Herstellung von Recycling-Gips fand in Deutschland jedoch anders als in anderen europäischen Ländern bislang kaum statt⁵⁹ (abgesehen vom Recycling von Produktionsausschüssen). In den Niederlanden und Belgien lag die geschätzte Recyclingquote von Gipsplatten im Jahr 2013 bei 40,4 %, in Großbritannien bei 21,7 % und in Frankreich bei 15,2 %. Für die höheren Verwertungsquoten außerhalb Deutschlands werden verschiedene Treiber benannt, u. a. höhere Deponiekosten, Deponierungsverbot unsortierter oder verwertbarer Gipsabfälle, oder abweichende Qualitätsanforderungen.

In Deutschland beträgt die Menge an Gipsprodukten im Wohn- und Nichtwohngebäudebestand derzeit ca. 168 Mio. t.⁶⁰ Bei Umbauten und Abrissarbeiten wird Gips aus dem Bestand ausgetragen. So fallen jährlich ca. 600.000 t Bauabfälle auf Gipsbasis an.⁶¹ Diese werden entweder im Deponie- und Bergbau verwertet (52 %)

56 UBA (2016b); Bundesregierung (2016)

57 Müller (2016); GtG (2015a); Demmich (2014)

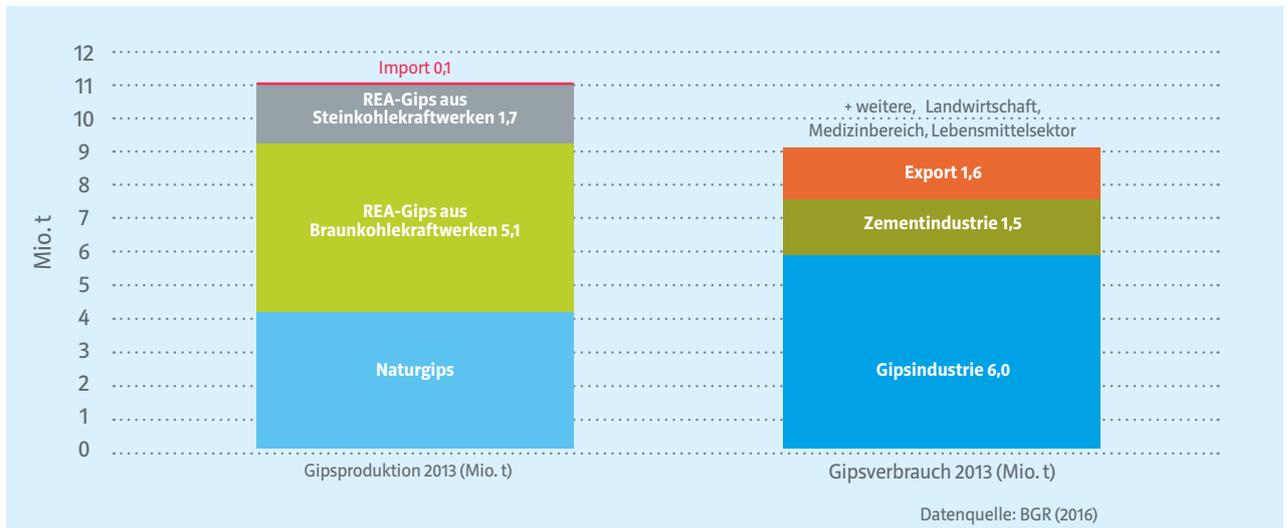
58 Müller (2012)

59 GtG (2013); Bunzel und Wilczek (2016)

60 Schiller et al. (2015)

61 UBA (2016c)

ABBILDUNG 6
GIPSPRODUKTION UND GIPSVVERBRAUCH IN DEUTSCHLAND 2013



oder auf Deponien beseitigt (48%).⁶² Um das Recycling zu fördern, hat der Bundesverband der Gipsindustrie ein Recyclingkonzept für vornehmlich gipsgebundene Platten erstellt und Kapazitäten zur Verarbeitung von Recycling-Gips in Höhe von 150.000 t pro Jahr geschaffen.⁶³ Im Jahr 2015 wurden jedoch weniger als 20.000 t Gipsplatten recycelt. Der Austrag an Gips aus dem Gebäudebestand steigt jährlich, allerdings steht nicht die gesamte Menge für ein Recycling zur Verfügung. Schätzungen gehen von Gipsplattenabfällen zwischen 0,67 und 1,34 Mio. t im Jahr 2030 (verwertbarer Anteil: 0,55 bis 1,10 Mio. t) aus⁶⁴, die Zahlen für alle gipshaltigen Abfälle sind weitaus höher: Hier liegt die aus dem Bauwesen ausgetragene Menge Gips bei 0,8 bis 5,5 Mio. t pro Jahr. Trotz dieser Spanne wird evident, dass gerade bei diesem Abfallstrom ein wachsendes Potenzial für höhere Verwertungsquoten im Vergleich zum Status quo sowie für eine Kreislaufführung besteht.

Eine bevorstehende Gesetzesänderung könnte sich laut Entwurf positiv auf die Separation von gipshaltigen Baustoffen und anderen mineralischen Bauabfällen wie Beton auswirken. Da das in Gips enthaltene Sulfat die Baustoffeigenschaften von Gesteinskörnun-

gen durch Sulfatreiben verschlechtern und einen Einsatz als Recyclingwertstoff beeinträchtigen kann⁶⁵, sieht der Entwurf der Mantelverordnung des BMUB⁶⁶ eine erhebliche Reduktion des Gipsanteils in Recyclingbaustoffen vor. Um die Grenzwerte einzuhalten, müssen Baustoffe demnach zukünftig noch stärker separiert werden.⁶⁷

Wirtschaftlichkeit des Gipsrecyclings

Die Kosten des Gipsrecyclings setzen sich im Wesentlichen aus den Kosten des Recyclingverfahrens selbst sowie den Transportkosten von der Baustelle zur Recyclinganlage zusammen (siehe Abbildung 6).

Die Wirtschaftlichkeit des Recyclings wird durch den Preisvergleich mit anderen möglichen Verbleibswegen bestimmt. Liegen beispielsweise die Deponierungskosten für Gipskartonplatten deutlich unter 50 € pro Tonne wird das Recycling als unwirtschaftlich eingeschätzt.⁶⁸ Ein kostengünstiger Verbleibsweg für Gipskartonabfälle ist auch die Verbringung nach Tschechien, wo sie als Stabilisierungsmaterial in Schlammteichen eingesetzt werden.⁶⁹

62 Kreislaufwirtschaft Bau (2015)

63 Bundesverband der Gipsindustrie (2013)

64 Buchert et al. (2017)

65 Weimann et al. (2013)

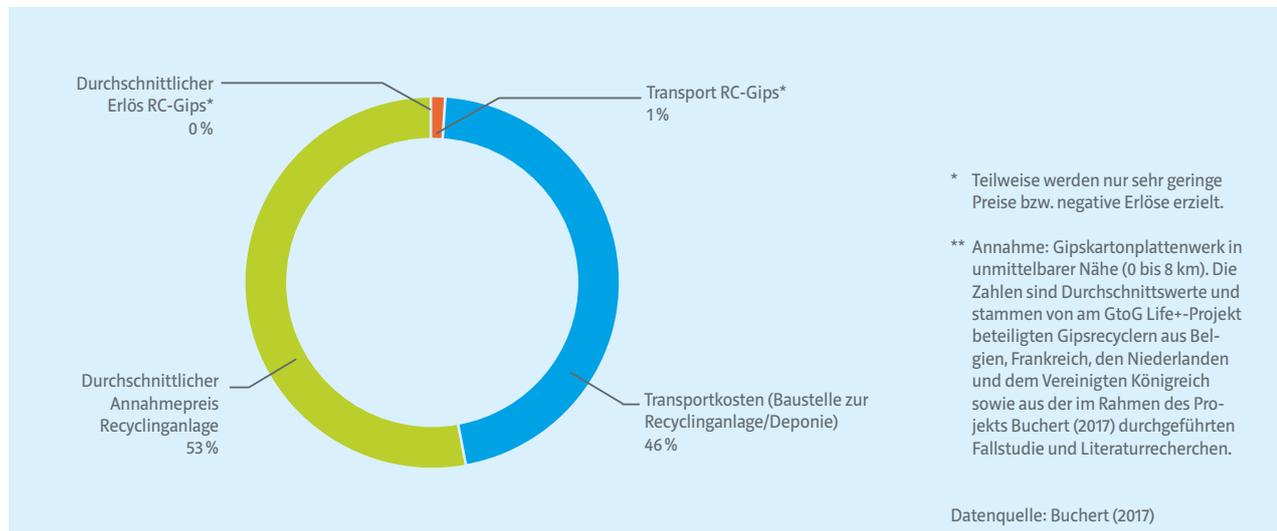
66 BMUB (2017)

67 Meetz et al. (2015)

68 Buchert (2017) mit Bezug zu den Ergebnissen des GtoG Life++-Projektes

69 Bunzel (2016), ähnlich Buchert (2017)

ABBILDUNG 7
KOSTENVERTEILUNG RECYCLING VON GIPSKARTON (EU-DURCHSCHNITTSWERTE)



Schritte zur verbesserten Kreislaufführung von Gips

Folgende Schritte sind Grundvoraussetzungen für ein effektives Recycling von Gips.

1. Design

Gips wird in verschiedenen Varianten im Innenausbau verwendet, am häufigsten in Form von relativ leicht zu separierenden Gipsplatten. Deren Anteil hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen und wird dies auch zukünftig tun.⁷⁰ Außerdem wird Gips in Trocken-, Fließ- und Verbundestrichen sowie Gipswand- und Gipsdeckenputzen verwendet. Da das Design der Gipsbauteile und wie sie verbaut werden maßgeblich die Verwertungsmöglichkeiten bestimmt, sollte bereits bei der Herstellung gipshaltiger Bauelemente die Möglichkeit der späteren Verwertung berücksichtigt werden. Recyclinganforderungen sollten zudem beim Baudesign, bei der Bauplanung durch die Architekten und auch bei der Ausbildung von Planern und Architekten mit einbezogen werden.

2. Informationsverfügbarkeit

Voraussetzung für eine sortenreine Erfassung gipshaltiger Bauteile ist das Wissen darüber, wo sie verbaut wurden. Vor dem Rückbau oder Abriss eines Gebäudes sind daher verschiedene Vorkehrungen nötig, um ggf.

gipshaltige Bauteile aus dem heutigen Bestand separieren zu können. Dies beinhaltet das Aufstellen eines Abfallwirtschaftsplans für das entsprechende Gebäude inklusive eines vor dem Rückbau durchgeführten Audits zur Feststellung der Gebäudezusammensetzung und der Bestandsaufnahme gipshaltiger Bauteile. Dies ermöglicht das Festlegen des geeignetsten und kosteneffizientesten Vorgehens. Ebenfalls notwendig ist eine möglichst hohe On-site-Separierung, die durch Schulungen für Mitarbeiter bezüglich des fachgerechten Rückbaus, Sortierens und Lagerns der Abfälle und die entsprechende Logistik unterstützt werden sollte.

Für zukünftige Bauvorhaben könnte die detaillierte Bestandsaufnahme vor dem Rückbau entfallen, wenn sich der Building Information Modeling (BIM)-Ansatz in der Bauwirtschaft etabliert.⁷¹ Bei diesem Ansatz werden alle relevanten Daten und Informationen über ein geplantes Gebäude in ein 3-D-Modell eingespeist und allen Projektbeteiligten verfügbar gemacht. Ursprünglicher Zweck ist die Effizienzsteigerung der Lebensphasen des Planens, Bauens und Betreibens von Bauwerken. Im Sinne einer Kreislaufführung von Bau-

70 Weimann et al. (2013)

71 Die im Jahr 2015 von Verbänden der Planungs-, Bau- und Immobilienwirtschaft gegründete Initiative „planen bauen 4.0“ treibt diesen Ansatz voran. Die Initiative will die Digitalisierung der Bauwirtschaft und BIM fördern (<http://planen-bauen40.de/>).

stoffen sollte jedoch auch die Rückbauphase bereits bei der Planung mit einbezogen werden, um den Rückbauunternehmen Informationen bezüglich der verbauten Rohstoffe verfügbar machen zu können. Unterstützend könnte eine digitale Kennzeichnung von gipshaltigen Bauteilen wie Gipsplatten wirken, mit der relevante Informationen ausgelesen werden können.⁷² Die Adressaten solcher Anforderungen umfassen (beinahe) den gesamten Lebenszyklus von Bauprodukten und Bauten von der Gestaltung der Bauprodukte über den Einbau im Baukörper bis zur Informationsaufnahme vor und beim Rückbau.

3. Angepasste Rückbaumaßnahmen

Eine Separierung gipshaltiger Elemente aus gemischtem Bauschutt ist sehr aufwendig. Für eine möglichst sortenreine Separierung von gipshaltigen Innenausbauaterialien sind daher selektive Rückbaumaßnahmen notwendig. Die Durchführung von entsprechenden Arbeitsschritten sollte in allen Phasen des Rückbauprojekts angestrebt werden. Während Gipsplatten, Trockenestriche und schwimmend verlegte Fließestriche in der Regel verhältnismäßig einfach von Hand oder mittels Werkzeugen entfernt werden können, sind Fließestriche und gipshaltige Wand- und Deckenputze aufgrund der guten Haftung dieser Materialien an Beton nur schwer zu separieren.⁷³ Zudem sind sie teilweise aufgrund mineralischer Störstoffe für ein stoffliches Recycling ungeeignet.⁷⁴ Für mengenrelevante Nutzungsfelder, in denen vergleichsweise geringe Kosten für die Separation im Rahmen des Rückbaus entstehen, sollte geprüft werden, ob über einen angepassten Rechtsrahmen (Anforderungen an den kontrollierten Rückbau gipshaltiger Bauprodukte) eine effektive Unterstützung des Recyclings erreicht werden kann.

4. Angepasste Aufbereitung von Bauabfällen

Ein vollständiger selektiver Rückbau gipshaltiger Baustoffe ist aufgrund von verschiedenen Verbundarten kompliziert. Zur Reduzierung des Sulfatgehalts in Bauschutt, der die Recyclingfähigkeit und Wiederverwendbarkeit von RC-Baustoffen beeinträchtigt,

sollte daher eine optimierte Bauschutttaufbereitung durch (Vor-)Sortierung, Zerkleinerung und Klassierung erfolgen. Je störstoffärmer die Bauschuttfraktionen durch selektiven Rückbau sind, desto weniger aufwendig ist dieser Schritt. Mit mobilen und vor allem stationären Anlagen lässt sich der Anteil an gips- bzw. sulfathaltigen Bestandteilen im Bauschutt deutlich reduzieren.⁷⁵ Mit nahinfrarotgesteuerten Anlagen zur Bauschutttaufbereitung lässt sich der Gipsanteil auf unter 1% reduzieren.⁷⁶ Auch thermische Verfahren können zum Einsatz kommen.⁷⁷ Dennoch sind weitere Verbesserungen der Aufbereitungstechniken zur Sulfatreduzierung in Bauschutt erforderlich.⁷⁸

Ausblick

Aufgrund seiner positiven Eigenschaften als Baumaterial findet Gips zunehmend Verwendung im Gebäudebau. Gipsprodukte im Bestand betragen derzeit ca. 168 Mio. t und stellen damit potenziell eine wertvolle Ressourcenquelle dar. Während die erfasste Menge an Bauabfällen auf Gipsbasis derzeit ca. 600.000 t beträgt, ist der tatsächliche Austrag an Gips in allen Bauabfallfraktionen aus dem Gebäudebestand mit bis zu 5,5 Mio. t deutlich höher und wird in den kommenden Jahren weiter ansteigen. Gips kann grundsätzlich ohne Beeinträchtigung der Materialeigenschaften und der Qualität beliebig oft recycelt werden. Hierfür muss er aber in einem sortenreinen Zustand vorliegen, und dieser ist häufig nicht gegeben.

Die Verwertung von Gipsabfällen und die Herstellung von Recycling-Gips sind in anderen Ländern – allen voran in den Niederlanden und Belgien – bereits deutlich mehr etabliert als in Deutschland.⁷⁹ Hierzulande bestehen bereits Kapazitäten zur Herstellung von 150.000 t Recycling-Gips pro Jahr, die allerdings nicht voll ausgelastet sind. Angesichts des jährlichen Bedarfs der Gipsindustrie von 6 Mio. t und eines geschätzten Gipsplattenanfalls zwischen 0,67 und 2,7 Mio. t im Jahr 2030 kann dies allerdings nur der Anfang sein. Im Hinblick auf den zu erwartenden Rückgang von REA-Gips besteht hier erhöhter Handlungs-

72 Siehe hierzu z. B. das aktuelle Forschungsprojekt „BIM-basiertes Bauen mit RFID“

73 Müller (2016)

74 Bunzel und Wilczek (2016)

75 Weimann et al. (2013)

76 Pak und Lambertz (2016); siehe auch Müller (2016)

77 Deilmann et al. (2014)

78 Müller (2016); Pak und Lambertz (2016)

79 GtG (2013)

bedarf. Eine Ausweitung der Naturgips-Förderung muss aus ökologischen Gründen allerdings vermieden werden. Ein weiterer Ausbau des Netzwerks an Recyclinganlagen in Deutschland ist auch deshalb wichtig, weil dadurch Transportdistanzen zwischen Baustellen und Recyclinganlagen verringert werden. Dies erhöht den Vorteil der Ökobilanz von Recycling-Gips gegenüber Natur- oder REA-Gips.⁸⁰

Betreiber von Anlagen zur Gipsverwertung in Deutschland bemängeln, dass Anlagen derzeit nicht ausgelastet sind, da gipshaltige Abfälle aufgrund geringerer Kosten überwiegend ins osteuropäische Ausland verbracht und dort deponiert werden.⁸¹ Dies habe einen deutlichen Preisverfall und eine Qualitätsverschlechterung der Gipsabfälle mit sich gebracht, da Abbruch- und Entsorgungsunternehmen Abfälle in geringerem Maße separierten.⁸² Um eine hochwertige Verwertung zu ermöglichen und die Ziele des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu erfüllen, bedarf es Anreizen für die

Trennung von Baustoffen, um eine der Voraussetzungen für Gips-Recycling zu schaffen. Zusätzlich sollten die Anforderungen des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zu einer hochwertigen Verwertung entsprechend § 8 Abs. 2 für Gipskartonabfälle in der Praxis umgesetzt werden.⁸³

Der selektive Rückbau und die Separation von unterschiedlichen Abfallfraktionen sind die Schlüssel für eine hochwertige Verwertung von Bauabfällen und für eine bessere Vermarktung der Recycling-Baustoffe. Der selektive Rückbau ist dabei eine Möglichkeit zur Kostenoptimierung – dies zeigt die Erfahrung in anderen Ländern.⁸⁴ Unterstützung bieten dabei z.B. Leitfäden zum selektiven Rückbau.⁸⁵ In der gesamten Bauwirtschaft ist eine weitere Sensibilisierung für diese Themen erforderlich, damit die unterschiedlichen Lebensphasen von Gebäuden inkl. des Rückbaus mitgedacht und Rohstoffkreisläufe weiter geschlossen werden.

80 Buchert et al. (2017)

81 Ebd.

82 Bunzel und Wilczek (2016); Vogt (2016)

83 Das Kreislaufwirtschaftsgesetz bestimmt in § 8 („Rangfolge und Hochwertigkeit der Verwertungsmaßnahmen“) in Abs. 2: „Die Bundesregierung bestimmt nach Anhörung der beteiligten Kreise (§ 68) durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates für bestimmte Abfallarten auf Grund der in § 6 Absatz 2 Satz 2 und 3 festgelegten Kriterien 1. den Vorrang oder Gleichrang einer Verwertungsmaßnahme und 2. Anforderungen an die Hochwertigkeit der Verwertung.“

84 Demmich (2014)

85 Vgl. Meetz et al. (2015); GtG (2015b)

3. Potenziale der Kreislaufwirtschaft in der deutschen Wirtschaft heben

Die deutsche Wirtschaft steht beim Übergang in die Circular Economy noch ganz am Anfang. Etliche Unternehmen experimentieren mit CE-Pilotvorhaben, aber nur wenige haben ihre gesamten Geschäftsaktivitäten im Sinne der Circular Economy neu strukturiert. Demzufolge gibt es bislang kein Produkt und keine Branche, in der ein wertschöpfungsstufenübergreifendes CE-Ökosystem etabliert worden wäre.

Die Fallstudien liefern illustrative Schlaglichter: Für die Branchen profitable CE-Ansätze gibt es in der IKT- und der Automobilindustrie, während Herausforderungen bei Recyclingkosten Hemmnisse in der Bauindustrie darstellen. Neben den fallbeispielbezogenen Hebeln lassen sich aus den Fallstudien **fünf Handlungsempfehlungen** ableiten:

- **Herstellerverantwortung stärken:** Durch einen gesetzlich vorgeschriebenen Verbleib der Produktverantwortung beim Hersteller wird dieser motiviert, seine Strategie so auszurichten und seine Marktmacht so einzusetzen, dass die Ressourceneffizienz entlang des gesamten Produktlebenszyklus und sogar über Lebenszyklen hinweg verbessert wird.
- **CE-Designfähigkeiten aufbauen:** Durch das Aufbauen von Designfähigkeiten in den Entwicklungsabteilungen von Unternehmen kann eine profitable Reparatur, Wiederaufbereitung oder Zweitnutzung von Produkten und Materialien ermöglicht werden.
- **Bereichsübergreifende Zusammenarbeit ermöglichen:** Durch enge Abstimmung und das Verfolgen bereichsübergreifender Ziele aller relevanten

Bereiche in Unternehmen (wie Strategie, Entwicklung, Einkauf, Logistik etc.) lassen sich die vollen CE-Vorteile realisieren.

- **CE Business Case ganzheitlich berechnen:** Durch das Ergänzen bereichsbezogener Finanzkennzahlen um übergreifende Indikatoren wie Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership, TCO) können Unternehmen realistische CE Business Cases berechnen. Im Zuge dessen sollten u. a. zusätzliche Erträge durch die Zweitverwertung, Reduzierung von Reputationsrisiken bzw. die Abwendung möglicher Strafzahlungen berücksichtigt werden.
- **Informationen über Materialien und Materialzusammensetzungen bereitstellen:** Durch das gemeinsame Entwickeln und Durchsetzen von Informationsstandards können Hersteller und Entsorger eine Grundvoraussetzung für ein qualitativ hochwertiges Recycling und letztendlich für die Bereitstellung von Sekundärrohstoffen erfüllen. Die Informationen sollten aufzeigen, welche Stoffe wo und in welcher Menge und Zusammensetzung verwendet werden bzw. verbaut sind.

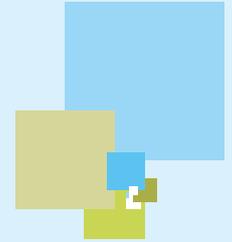
Deutschland ist international als Pionier des grünen Wirtschaftswachstums anerkannt. Mit der Einführung des Dualen Systems 1990 und der Energiewende hat Deutschland international jeweils eine Führungsrolle übernommen. Die energische Umsetzung der Circular Economy bietet Deutschland die Chance, die Ziele der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie, verbesserte Ressourceneffizienz sowie sichere Rohstoffversorgung und Innovationsführerschaft neu zu beleben.

Quellenverzeichnis

- Accenture Strategy (2016): Automotive's latest model: Redefining competitiveness through the circular economy. https://www.accenture.com/t20161216T034331__w__/us-en/_acnmedia/PDF-27/Accenture-POV-CE-Automotive.pdf (abgerufen: 04.05.2017).
- Baldé, C. P.; Wang, F.; Wong, J.; Kuehr, R.; Huisman, J. (2015): The global e-waste monitor – 2014. United Nations University. IAS – SCYCLE. Bonn, Germany.
- BMW (2014): BMW i Batterien werden als „Second Life Batteries“ flexible Speicher für erneuerbare Energien und sichern die Stabilität des Stromnetzes. Pressemitteilung vom 12. September 2014. <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0193200DE/bmw-i-batterien-werden-als-%E2%80%99Esecond-life-batteries%E2%80%99C-flexible-speicher-fuer-erneuerbare-energien-und-sichern-die-stabilitaet-des-stromnetzes?language=de> (abgerufen: 06.02.2017).
- Buchert, M.; Sutter, J.; Alwast, H.; Schütz, N.; Weimann, K. (2017): Ökobilanzielle Betrachtung des Recyclings von Gipskartonplatten. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-04-24_texte_33-2017_gipsrecycling.pdf (abgerufen: 04.05.2017).
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) (2016): Deutschland – Rohstoffsituation 2015. https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Min_rohstoffe/Downloads/Rohsit-2015.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (abgerufen: 27.01.2017).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2016): ProgReSS II: Programm zur nachhaltigen Nutzung und zum Schutz der natürlichen Ressourcen, Berlin, 2016. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/progress_ii_broschuere_bf.pdf (abgerufen: 05.05.2017).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB) (2017): Referentenentwurf vom 06.02.2017 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: Verordnung zur Einführung einer Ersatzbaustoffverordnung, zur Neufassung der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung und zur Änderung der Deponieverordnung und der Gewerbeabfallverordnung, Berlin, 2017, http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Gesetze/mantelv_vorblatt_begruendung.pdf (abgerufen 05.05.2017).
- Bundesregierung (2017): Bulletin 52-2: Rede von Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel beim Arbeitnehmerkongress der CDU/CSU-Bundestagsfraktion am 15. Mai 2017 in Berlin. <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Bulletin/2017/05/52-2-bkin-arbeitnehmer.html> (abgerufen: am 26.05.2017).
- Bundesregierung (2016): Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016. http://www.bundesregierung.de/Content/DE/_Anlagen/2017/01/2017-01-11-nachhaltigkeitsstrategie.pdf?__blob=publicationFile&v=5 (abgerufen: 01.02.2017).
- Bundesregierung (2009): Nationaler Entwicklungsplan Elektromobilität der Bundesregierung. https://www.bmbf.de/files/nationaler_entwicklungsplan_elektromobilitaet.pdf (abgerufen: 04.05.2017).
- Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden e. V. (2016): Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. http://www.win-ev.org/fileadmin/win-ev.org/Verband/Studie_bbs_Sekund%C3%A4rrohstoffe_2016.pdf (abgerufen: 01.02.2017).

- Bundesverband der Gipsindustrie (2013): Recycling von gipshaltigen Bauabfällen. http://www.gips.de/fileadmin/user_upload/download/publikationen/allgemeine_publikationen/Recycling_flyer.pdf (abgerufen: 27.01.2017).
- Bundesverband der Gipsindustrie (2017): Spezialitäten aus Gips. <http://www.gips.de/wissen/spezialitaeten-aus-gips/keramik-metallguss/> (abgerufen: 02.03.2017).
- Bunzel, J.-M.; Wilczek, M. (2016): Industrielles Recycling von gipshaltigen Abfällen – Betriebserfahrungen und Produktqualität der Aufbereitungsanlage in Großpösna/Störmthal. In: Recycling und Rohstoffe: Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 3. S. 487–497.
- CAM (2016): Elektromobilität im internationalen Vergleich. Bilanz 2015 und Prognose. <https://kommunalwirtschaft.eu/images/presse/pdf/87ee9d8567ba0c8a9b0f868c40ba56b-Pressemitteilung-Elektro-Jan-2016-v01.pdf> (abgerufen: 04.05.2017).
- Chancerel, P.; Meskers, C.; Hagelüken, C.; Rotter, V. (2009): Assessment of Precious Metal Flows During Preprocessing of Waste Electrical and Electronic Equipment, Journal of industrial ecology, Volume 13, c 2009 by Yale University, DOI: 10.1111/j.1530-9290.2009.00171.x
- Chancerel, P.; Rotter, V. S.; Bollaand, T. (2010): Stand der Erstbehandlung für Elektro- und Elektronikaltgeräte in Deutschland und Auswirkung auf die Rückgewinnung von Edelmetallen, Recycling und Rohstoffe. Band 3. Karl J. Thomé-Kozmiensky, Daniel Goldmann, S. 627–639.
- Deilmann, C.; Krauß, N.; Gruhler, K.; Reichenbach, J. (2014): Sensitivitätsstudie zum Kreislaufwirtschaftspotenzial im Hochbau. Endbericht Stand 17. Juli 2014. Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). https://www.ioer.de/fileadmin/internet/IOER_Projekte/PDF/FB_E/Endbericht_REP.pdf (abgerufen: 17.02.2016).
- Demmich, J. (2014): Vom Gips zu Gips – Von der Produktion zum Recycling – Ein EU-Life+ Projekt. In: Recycling und Rohstoffe: Mineralische Nebenprodukte und Abfälle. S. 441–448.
- Destatis (2016a): Umwelt Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallkennzahlen, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen). Wiesbaden. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltstatistischeErhebungen/Abfallwirtschaft/AbfallbilanzPDF_5321001.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen: 04.05.2017).
- Destatis (2016b): Ausstattung privater Haushalte mit Informations- und Kommunikationstechnik – Deutschland, https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/EinkommenKonsumLebensbedingungen/AusstattungGebrauchsgueter/Tabellen/Infotechnik_D.html (abgerufen: 21.01.2017).
- Destatis (2017): Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis März 2017. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf?__blob=publicationFile (abgerufen: 04.05.2017).
- EPA (2002): Resource Conservation Challenge: Campaigning Against Waste. <https://nepis.epa.gov> (abgerufen: 04.05.2017).

- EU (2015): Closing the loop: Commission adopts ambitious new Circular Economy Package to boost competitiveness, create jobs and generate sustainable growth. http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-6203_en.htm (abgerufen: 04.05.2017).
- Eurostat (2016): Waste statistics – electrical and electronic equipment. http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment (abgerufen: 04.05.2017).
- Fischhaber, S.; Regett, A.; Schuster, S. F.; Hesse, Dr. H. (2016): Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. Analyse von Nachnutzungsanwendungen, ökonomischen und ökologischen Potenzialen. Herausgeber: Deutsches Dialog Institut GmbH. Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW). Ergebnispapier Nr. 18. http://schaufenster-elektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente_der_begleit_und_wirkungsforschung/EP18_Studie_Second_Life_160210_A4_online.pdf (abgerufen: 18.01.2017).
- Forschungsradar (2014): Studienvergleich: Stromgestehungskosten verschiedener Erzeugungstechnologien. http://www.forschungsradar.de/fileadmin/content/bilder/Vergleichsgrafiken/Stromgestehungskosten_okt2014/AEE_Dossier_Studienvergleich_Stromgestehungskosten_sep14.pdf (abgerufen: 09.05.2017).
- Friege, H. (2015): Ressourcenmanagement und Siedlungsabfallwirtschaft. Challenger Report für den Rat für Nachhaltige Entwicklung. texte Nr. 48, Januar 2015. http://www.nachhaltigkeitsrat.de/uploads/media/Challenger_Report_Ressourcenmanagement_und_Siedlungsabfallwirtschaft_texte_Nr_48_Januar_2015_01.pdf (abgerufen 07.06.2017) und Kurzfassung des Challenger Report „Ressourcenmanagement und Siedlungsabfallwirtschaft“ http://nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/_migrated/media/20150224_Kurzfassung_Friege_Challenger_Report_an_den_RNE.pdf (abgerufen: 09.06.2017).
- Gebrüder Meisterjahn GmbH (2017): Mündliche Mitteilung vom 20.01.2017, Gebrüder Meisterjahn GmbH.
- GeSi Global e-Sustainability Initiative (2015): Quantifying the Opportunity. <http://smarter2030.gesi.org/the-opportunity/> (abgerufen: 05.05.2017).
- Gypsum to Gypsum (GtG) (2013): GtoG Project. From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. LIFE PROGRAMME. LIFE11 ENV/BE/001039. DA1-Inventory of Current Practices. Executive Summary. September 2013.
- Gypsum to Gypsum (GtG) (2015a): A Circular Economy for the Construction Sector: Laymans report. http://gypsumto-gypsum.org/documents/laymans-report_de.pdf (abgerufen: 17.02.2017).
- Gypsum to Gypsum (GtG) (2015b): GTOG: From production to recycling: a circular economy for the European gypsum Industry with the demolition and recycling Industry. Inventory of best practices.
- Helms, H.; Lambrecht, U.; Jöhrens, J.; Pehnt, M.; Liebich, A.; Weiß, U.; Kämper, C. (2013): Ökologische Begleitforschung zum Flottenversuch Elektromobilität. Endbericht (Revision April 2014). [https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/Flottenversuch%20Elektromobilitaet%20-%20Endbericht%20ifeu%20\(final\)%20-%20Rev%20Apr2014.pdf](https://www.ifeu.de/verkehrundumwelt/pdf/Flottenversuch%20Elektromobilitaet%20-%20Endbericht%20ifeu%20(final)%20-%20Rev%20Apr2014.pdf) (abgerufen: 20.01.2017).



- Hermann H.; Loreck, C.; Ritter, D.; Greiner, B.; Keimeyer, F.; Cook, V.; Bartelt, N.; Bittner, M.; Nailis, D.; Klinski, Prof. Dr. S. (2017): Klimaschutz im Stromsektor 2030 – Vergleich von Instrumenten zur Emissionsminderung. Endbericht. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/publikationen/2017-01-11_cc_02-2017_strommarkt_endbericht.pdf (abgerufen: 31.01.2017).
- Huisman, J. (2012): Eco-efficiency evaluation of WEEE take-back systems. In: Goodship, V.; Stevels, A., Eds.: Waste electrical and electronic equipment (WEEE) handbook. Woodhead Publishing Ltd: Cambridge. The United Kingdom. 2012.
- Julve, J.; Reid, G. (2016): Second Life-Batteries As Flexible Storage For Renewables Energies. Kurzstudie im Auftrag des Bundesverbandes Erneuerbare Energie e. V. und der Hannover Messe.
- Kölch, J. (2015): Die Wiederverwendung von gebrauchten Elektrofahrzeug-Batterien in stationären Anwendungen. EVA Fahrzeugtechnik GmbH. https://www.evafahrzeugtechnik.de/fileadmin/media/Bilder/40_Infocenter/Publikationen/Portfolioinfos/EVA-Whitepaper_3_Wiederverwendung_von_Elektrofahrzeug-Batterien.pdf (abgerufen: 04.05.2017).
- Konietzko, S.; Gernuks, M. (2011): Ressourcenverfügbarkeit von sekundären Rohstoffen. Potenzialanalyse für Lithium und Kobalt. Umbrella-Arbeitsgruppe Ressourcenverfügbarkeit im Rahmen der BMU-geförderten Projekte LithoRec und LiBRi. Abschlussbericht.
- Kreislaufwirtschaft Bau (2015): Mineralische Bauabfälle Monitoring 2012. Bericht zum Aufkommen und zum Verbleib mineralischer Bauabfälle im Jahr 2012. <http://kreislaufwirtschaft-bau.de/Arge/Bericht-9.pdf> (abgerufen: 27.01.2017).
- Lacy, P.; Rutqvist, J.; Buddemeier, P. (2015): Waste to Wealth. Palgrave Macmillan.
- Meetz, M.; Mettke, A.; Liesemeier, B.; Schmidt, S.; Verheyen, F. (2015): Brandenburger Leitfaden für den Rückbau von Gebäuden. Steigerung der Ressourceneffizienz des Recyclings von mineralischen Bau- und Abbruchabfällen. Herausgeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg.
- Mohan, M.P.R.; Garg, I.; Kumar, G. (2008): Regulating e-waste: a review of the international and national legal framework on e-waste. In: Johri, R. (Ed.): E-Waste. Implication, Regulations, and Management in India and current global best practices. Teri Press. New Delhi.
- Müller, A. (2012): Bauschutt ohne Gips. In: Steinbruch und Sandgrube 11/2012. S. 40–45.
- Müller, A. (2016): Erschließung der Ressourceneffizienzpotenziale im Bereich der Kreislaufwirtschaft Bau. Endbericht Stand 12.02.2016. Studie im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). http://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/FP/ZB/Auftragsforschung/2NachhaltigesBauenBauqualitaet/2016/ressourceneffizienzpotenziale/Endbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (abgerufen: 17.02.2017).
- Nationale Plattform Elektromobilität (NPE) (2011): Zweiter Bericht der Nationalen Plattform Elektromobilität. Berlin.

- J. Nordmann, J.; Stengel, Dr. O.; Bienge, K.; Kennedy, K.; Lemken, T.; Seibt, A.; Alexopoulou E. (2013): 18 Factsheets zum Thema Mobiltelefone und Nachhaltigkeit. Wuppertal Institut. Gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung. https://wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/Mobiltelefone_Factsheets.pdf (abgerufen: 05.05.2017).
- Pak, C.; Lambertz, O. (2016): Aufwertung der Produktströme in der Bauschutttaufbereitung durch Einsatz sensorbasierter Sortierung – Beispiel Gips aus Bauschutt. In: Recycling und Rohstoffe: Mineralische Nebenprodukte und Abfälle, Band 3. S. 481–486.
- Plötz P.; Gnann, T.; Kühn, A.; Wietschel, M. (2013): Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge. Langfassung. Studie des Fraunhofer ISI im Auftrag der acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften und der Arbeitsgruppe 7 der Nationalen Plattform Elektromobilität (NPE). Korrigierte Version 20. Januar 2014. <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fraunhofer-ISI-Markthochlaufszszenarien-Elektrofahrzeuge-Langfassung.pdf> (abgerufen: 18.01.2017).
- PV magazine (2016): EuPD Research: Sonnen und Senec führend auf deutschem Photovoltaik-Speichermarkt. Artikel vom 27. Oktober 2016. http://www.pv-magazine.de/nachrichten/details/beitrag/eupd-research--sonnen-und-senec-fhrend-auf-deutschen-photovoltaik-speichermarkt_100024898/ (abgerufen: 03.02.2017).
- Rahimzei, E.; Regett, A.; Fischhaber, S.; Schuster, S. F. (2016): Maßnahmenpapier zur Studie: Second-Life-Konzepte für Lithium-Ionen-Batterien aus Elektrofahrzeugen. Herausgeber: Deutsches Dialog Institut GmbH. Begleit- und Wirkungsforschung Schaufenster Elektromobilität (BuW). Ergebnisrapier Nr. 28. http://schaufenster-elektromobilitaet.org/media/media/documents/dokumente_der_begleit_und_wirkungsforschung/EP28_Massnahmenpapier_Studie_Second_Life.pdf (abgerufen: 23.01.2017).
- Rat für Nachhaltige Entwicklung (RNE) (2011): Wie Deutschland zum Rohstoffland wird. Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung. texte Nr. 39, Juni 2011. https://www.nachhaltigkeitsrat.de/uploads/media/RNE_Rohstoffland_Deutschland_texte_Nr_39_Juni_2011_01.pdf (abgerufen 07.06.2017).
- RREUSE (2015): Briefing on job creation potential in the re-use sector. <http://www.rreuse.org/wp-content/uploads/Final-briefing-on-reuse-jobs-website-2.pdf> (abgerufen: 05.05.2017).
- Salhofer, S.; Spitzbart, M.; Schöps, D.; Meskers, C.; Kriegl, M.; Panowitz, G. (2009): Verfahrensvergleich zur Gewinnung von Wertstoffen aus Elektroaltgeräten.
- Sander, K.; Schilling, S.; Wagner, L.; Marscheider-Weidemann, F.; Wilts, H.; Hobohm, J.; Hartfeil, T.; Schöps, D.; Heymann, R. (2015): Abfallwirtschaftliche Produktverantwortung unter Ressourcenschutzaspekten, Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, September 2015, Veröffentlichung für 2017 geplant.
- Schiller, G.; Ortlepp, R.; Krauß, N.; Steger, S.; Schütz, H.; Acosta Fernández, J.; Reichenbach, J.; Wagner, J.; Baumann, J. (2015): Kartierung des anthropogenen Lagers in Deutschland zur Optimierung der Sekundärrohstoffwirtschaft. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_83_2015_kartierung_des_anthropogenen_lagers.pdf (abgerufen: 27.01.2017).

- Stenzel, Dr. P. (2016): Bereitstellung von Primärregelleistung durch stationäre Großbatteriespeicher. LRST Kolloquium Regenerative Energien SS 2016 31.05.2016. <http://juser.fz-juelich.de/record/809893/files/Vortrag%20LRST%202016%20PRL.pdf> (abgerufen: 13.01.2017).
- Umweltbundesamt (UBA) (2016a): Emissionsquellen. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#textpart-1> (abgerufen: 26.01.2017).
- Umweltbundesamt (UBA) (2016b): Flächenverbrauch für Rohstoffabbau. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaechennutzung/flaechenverbrauch-fuer-rohstoffabbau#textpart-1> (abgerufen: 01.02.2017).
- Umweltbundesamt (UBA) (2016c): Bauabfälle. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/abfall-kreislaufwirtschaft/entsorgung-verwertung-ausgewaehlter-abfallarten/bauabfaelle#textpart-2> (abgerufen: 27.01.2016).
- UN (2015): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015. http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E (abgerufen: 04.05.2017).
- UNEP (2011) Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel. Fischer-Kowalski, M.; Swilling, M.; von Weizsäcker, E.U.; Ren, Y.; Moriguchi, Y.; Crane, W.; Krausmann, F.; Eisenmenger, N.; Giljum, S.; Hennicke, P.; Romero Lankao, P.; Siriban Manalang, A.; Sewerin, S.
- UNEP (2013): Metal Recycling Opportunities, Limits, Infrastructure. http://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8423/-Metal%20Recycling%20Opportunities%2c%20Limits%2c%20Infrastructure-2013Metal_recycling.pdf?sequence=3&isAllowed=y (abgerufen: 04.05.2017).
- UNU (2015): Discarded Kitchen, Laundry, Bathroom Equipment Comprises Over Half of World E-waste. Pressemitteilung vom 19.04.2015. <https://unu.edu/media-relations/releases/discarded-kitchen-laundry-bathroom-equipment-comprises-over-half-of-world-e-waste-unu-report.html#info> (abgerufen: 04.05.2017).
- Weimann, K.; Matyschik, J.; Adam, C.; Schulz, T.; Linß, E.; Müller, A. (2013): Optimierung des Rückbaus/Abbaus von Gebäuden zur Rückgewinnung und Aufbereitung von Baustoffen unter Schadstoffentfrachtung (insbes. Sulfat) des RC-Materials sowie ökobilanzieller Vergleich von Primär- und Sekundärrohstoffeinsatz inkl. Wiederverwertung. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/4430.pdf> (abgerufen: 27.01.2017).
- Zimmer, W.; Buchert, M.; Dittrich, S.; Hacker, F.; Harthan, R.; Hermann, H.; Jenseit, W.; Kasten, P.; Loreck, C.; Götz, K.; Sunderer, G.; Birzle-Harder, B.; Deffner, J. (2011): OPTUM: Optimierung der Umweltentlastungspotenziale von Elektrofahrzeugen – Integrierte Betrachtung von Fahrzeugnutzung und Energiewirtschaft. Öko-Institut e. V.; Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE). Berlin.

Anhang

ANNAHMEN DER ROUTER FALLSTUDIE

Annahmen zur Berechnung der Stoffströme

Für gekaufte Router wird eine Nutzungsdauer von vier Jahren angenommen. Nach dieser Zeit werden lediglich 27% von öffentlich-rechtlichen Entsorgungsbetrieben (öRE) erfasst. Die restlichen 73% werden entweder im gemischten Siedlungsabfall oder durch den informellen Sektor entsorgt oder verbleiben in den Haushalten. Da eine Separierung von Routern bei der Erfassung bzw. Sammlung nicht erfolgt, werden sie im Recyclingprozess geschreddert. Hier kommt es zu hohen Wertstoffverlusten durch den Austrag von Wertstoffen in Outputfraktionen, in denen diese nicht zurückgewonnen werden (z.B. Austrag von Gold in eine gemischte Metallfraktion, die im Stahlwerk verwertet wird). Zum anderen hat die Vermischung von Stoffen in der Kunststoff-Outputfraktion zur Folge, dass ein qualitativ hochwertiges Recycling unwahrscheinlich wird.

Im Mietmodell werden die Router laut Aussagen von führenden deutschen Telkos durchschnittlich zwei Jahre lang genutzt, bevor sie wieder an den Anbieter zurückgeschickt und sortiert werden. 43%

der Router werden einem „Refreshing“ unterzogen und einer zweiten Nutzungsphase zugeführt. Die übrigen 57% werden als gut sortierte Fraktion (Monocharge) ins Recycling gegeben. Aufgrund der guten Sortierung sind eine manuelle Zerlegung oder ein gerätespezifischer schonender mechanischer Aufschluss und damit eine sehr hohe stoffliche Rückgewinnung von Metallen sowie ein qualitativ hochwertiges Recycling von Kunststoffen möglich.

Annahmen zur Abschätzung ökologischer Lasten

Zur Berechnung der ökologischen Lasten wurde die in einem Demontageversuch für das Umweltbundesamt ermittelte durchschnittliche Zusammensetzung angenommen. Demnach besteht ein Router aus ca. 226 g Kunststoff (ABS) und 166 g Leiterplatte. Der angenommene Metallgehalt der Leiterplatte ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Tabelle zeigt außerdem, welche CO₂-Äquivalente bei Verlust der Materialien beim Recycling in der Berechnung genutzt werden.

TABELLE 2
ANGENOMMENER METALLGEHALT IN LEITERPLATTEN

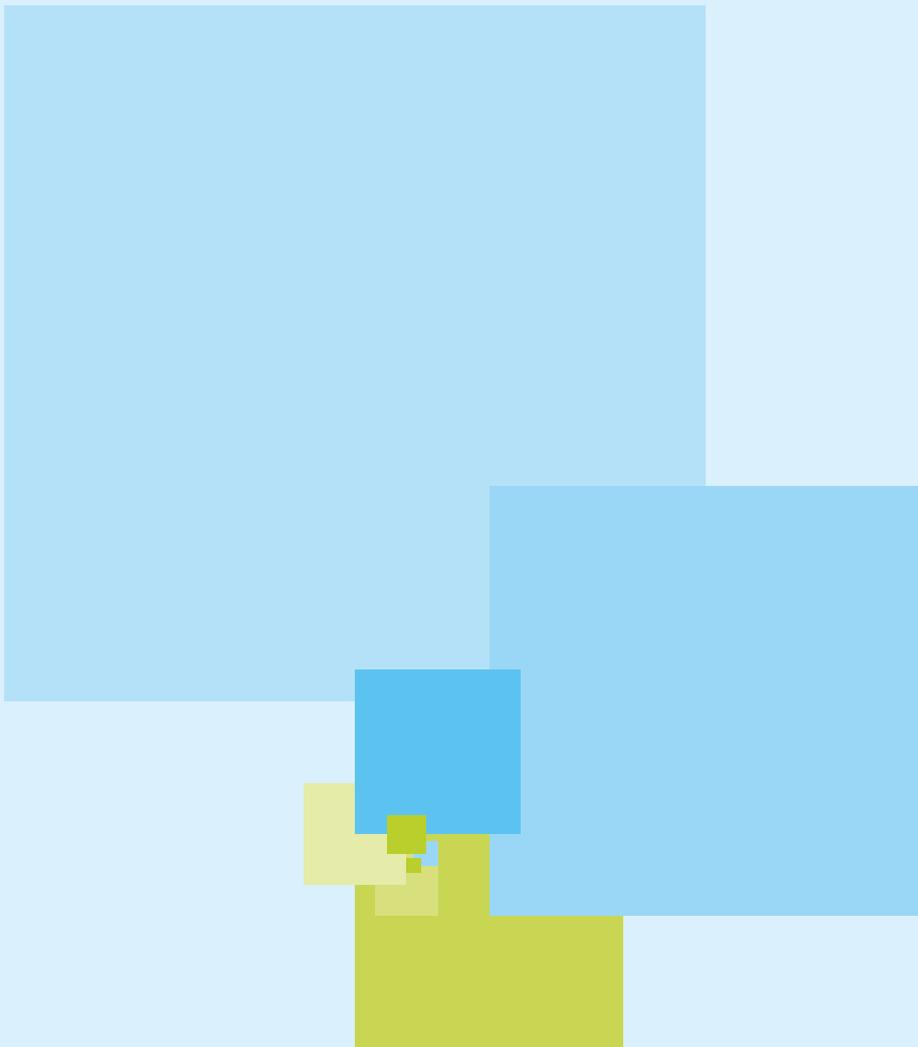
	ABS	AG	AU	PD	CU	GA	TA
[g]		0,7	0,07	0,05	33	0,01	0,93
CO ₂ e/kg	3,1	196	12.500	3.880	2,8	205	260
Recyclingquote Kaufmodell [%]	20	24	24	24	24	0	0
Recyclingquote Mietmodell [%]	90	90	90	90	90	0	0

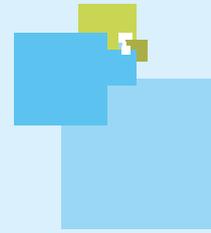
Annahmen zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Für die Abschätzung wurden auf Basis von Interviews mit Telekommunikationsanbietern Annahmen bezüglich der Kosten für Router und deren Aufbereitung getroffen. Diese Annahmen sind in Tabelle 2 dargestellt.

TABELLE 3
KOSTEN FÜR ROUTEREINKAUF UND -AUFBEREITUNG

KOSTENPUNKT	KOSTEN IN €
Einkauf Router [€/Router]	77
Pauschale für Aufbereitung von Routern inkl. Material und Logistik	20





Abbildungsverzeichnis

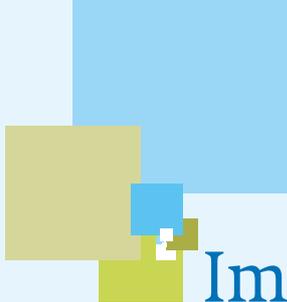
Abbildung 1		
Fünf Geschäftsoptionen der Circular Economy		7
Abbildung 2		
Geschäftsmodelle der Circular Economy in der IKT-Branche		9
Abbildung 3		
Berechnete Volumenströme eines Routernutzungszyklus über vier Jahre		10
Abbildung 4		
Geschäftsmodelle der Circular Economy in der Automobilbranche		16
Abbildung 5		
Mengenentwicklung von Elektrofahrzeugen in Deutschland mit quadratischer Extrapolation		17
Abbildung 6		
Gipsproduktion und Gipsverbrauch in Deutschland 2013		25
Abbildung 7		
Kostenverteilung Recycling von Gipskarton (EU-Durchschnittswerte)		26

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1		
Übersicht über Vorteile des Mietmodells gegenüber dem Kaufmodell für Router		11
Tabelle 2		
Angenommener Metallgehalt in Leiterplatten		36
Tabelle 3		
Kosten für Routereinkauf und -aufbereitung		37

Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr	kWh	Kilowattstunde
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol	LIB	Lithium-Ionen-Batterie
Abs.	Absatz	Mio.	Millionen
Ag	Silber	MW	Megawatt
Au	Gold	NPE	Nationale Plattform Elektromobilität
BattG	Batteriegelgesetz	o. J.	ohne Jahr
BGR	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe	örE	öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger
BIM	Building Information Modeling	Pd	Palladium
BMS	Batteriemanagementsystem	PV	Photovoltaik
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie	RC	Recycling
bzw.	beziehungsweise	REA	Rauchgasentschwefelungsanlage
ca.	circa	RFID	Radio Frequency Identification
Cu	Kupfer	S.	Seite
Ebd.	Ebenda	SL	Second Life
etc.	et cetera	SL-LIB	Second-Life-Lithium-Ionen-Batterie
Ga	Gallium	t	Tonne
GtG	Gypsum to Gypsum	Ta	Tantal
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien	TCO	Total Cost of Ownership
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	u. a.	unter anderem
kg	Kilogramm	UNEP	United Nations Environment Programme
		UBA	Umweltbundesamt
		Vgl.	Vergleiche
		z. B.	zum Beispiel



Impressum

© 2017 Rat für Nachhaltige Entwicklung
c/o Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
www.nachhaltigkeitsrat.de

Verantwortlich:
Falko Leukhardt, Wissenschaftlicher Referent,
Rat für Nachhaltige Entwicklung

Autoren:
Philipp Buddemeier, Director Accenture Strategy Sustainability
Laura Rheinbay, Analyst Accenture Strategy Sustainability

Mitarbeit:
Ökopol Institut für Ökologie und Politik GmbH, Hamburg

Lektorat:
Petra Thoms, Berlin

Layout und Satz, Infografiken:
Katrin Richter | Büro für Grafikdesign, Berlin

Titelfoto:
Patrick Baum, Frankfurt

Druck:
Druckerei Lokay e. K.
Diese Broschüre wurde klimaneutral gedruckt
auf Recyclingpapier EnviroTop.

