



Hemmnisse und Lösungen: Light-out-Disassembly

**Ein Beitrag zur Entwicklung
der Circular Economy am
Industriestandort Deutschland**

Florian Hansen, Marius Schlage & Jan H. Seelig

1 Demontage für die Kreislaufwirtschaft

Eine steigende Weltbevölkerung bei gleichzeitig steigendem Ressourcenverbrauch per capita macht einen sorgsameren Umgang mit Ressourcen unumgänglich. Ein Lösungsansatz bietet die Circular Economy, nach der insbesondere versorgungskritische und daher relativ werthaltige Ressourcen im Kreislauf geführt werden sollen. Eine Reihe von Verordnungen auf Europäischer Ebene zielt auf die Etablierung der Circular Economy in Europa in den kommenden Jahrzehnten ab. Um diese Ressourcen aus der Flut an Verbrauchsgütern am Ende der Nutzung in geeigneter Qualität zurückzugewinnen und dabei ein Downcycling zu vermeiden, bedarf es neben verschiedenen Recyclingtechnologien auch stabiler Input-Stoffströme für deren Aufbau und langfristigen Erfolg.

Das Projekt DeMoBat – *Industrielle Demontage von Batteriemodulen und E-Motoren zur Sicherung wirtschaftsstrategischer Rohstoffe für die E-Mobilität* (Förderkennzeichen L7520102) verfolgt dafür einen Lösungsansatz, dessen wesentlicher Kern die Demontage elektrischer Antriebsaggregate und Traktionsbatterien ist. Über das stoffliche Recycling hinaus können dabei Einzelkomponenten einer Wiederverwendung zugeführt werden, was zu einer verlängerten Einsatzdauer führt. Eine manuelle Demontage komplexer Produkte – wie beispielweise elektrischer Antriebsaggregate – lässt sich in Hochlohnländern nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich betreiben. Für die Anwendung dieser hochwertigen Form der Kreislaufführung auf ein möglichst breites Produktspektrum ist es naheliegend, Demontageprozesse zu automatisieren.

Parallel zum Bedarf an effizienteren Verwendungs- und Verwertungsstrukturen hat sich in den letzten Jahrzehnten die

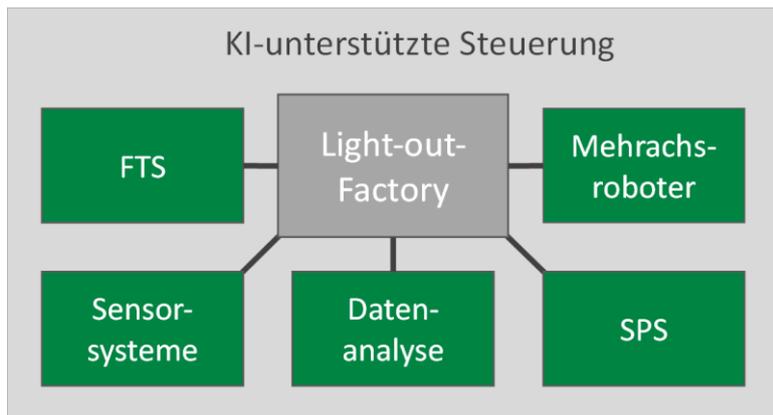
Automatisierung von Produktionsprozessen weiterentwickelt, sodass immer effizienter und variantenreicher produziert werden kann. Das als Industrie 4.0 bezeichnete Produktionszeitalter stützt sich vor allem auf Fortschritte in Computer- und Informationstechnologien, Robotik sowie hochentwickelte Logistikkonzepte. Eine jüngere Entwicklung stellt hierbei die sogenannte Light-out-Factory (LoF) dar. Die Bezeichnung rührt von der Idee her, den Automatisierungsgrad einer Fabrik so weit zu steigern, dass keinerlei menschliche Eingriffe mehr benötigt werden. Folglich kann das Licht in einer LoF ausgeschaltet werden. Ebenso bieten LoFs den Vorteil, bei Systemen wie Heizungen, Ventilation oder Klimatisierung Ressourcen einzusparen.

Der im Projekt DeMoBat verfolgte Ansatz für die Demontage elektrischer Antriebsaggregate greift den Kerngedanken der LoF auf, um hochwertige Recyclingansätze wirtschaftlich am Hochlohnstandort Deutschland zu etablieren. Im Folgenden sollen die Light-out-Factory, die Hindernisse sowie Lösungsansätze in der Realisierung einer LoF und auch deren Übertragbarkeit auf die automatisierte Demontage beschrieben werden. Zusätzlich wurde eine Umfrage durchgeführt, um die Einstellung der deutschen Industrie zur LoF zu beleuchten. Einige der dabei gewonnenen Erkenntnisse werden zusätzlich im vorliegenden Whitepaper gezeigt.

Light-out-Disassembly: Angelehnt an die Light-out-Factory, die so weit automatisiert ist, dass wortwörtlich das Licht ausgeschaltet werden kann, steht Light-out-Disassembly (LoD) für eine vollständig automatisierte Demontage von EoL-Produkten.

2 Light-out-Factory

Der Begriff Light-out-Factory setzt sich im Grunde aus zwei Teilen zusammen: Light-out wird mit einer vollständigen, systematischen Automatisierung assoziiert; im Kontext einer



industriellen Produktion, üblicherweise in einer factory (Fabrik), wird daher oft von einer Light-out-Factory gesprochen. Wesentliche Elemente einer LoF (siehe Abbildung oben) sind fahrerlose Transportsysteme (FTS), Mehrachsroboter, speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS), umfassende sensor-gestützte Überwachungssysteme sowie automatisierte Datenanalysen. Häufig werden die Funktionalitäten der genannten Elemente durch künstliche Intelligenz (KI) unterstützt und optimiert. Im Vergleich zu einer klassischen Fabrik zeichnet sich eine LoF durch einen deutlich erhöhten Grad der Digitalisierung und Automatisierung aus.

Eine der bekanntesten existenten LoFs wird von der Firma Fanuc K.K. in Japan betrieben, in der vollautomatisierte CNC-Maschinen etwa für Tesla und Apple produziert werden. Dabei

sind im Betrieb weder Licht noch Heizung oder Klimaanlage eingeschaltet.

Zu den größten Vorteilen einer LoF gehören die Senkung und Stabilisierung von Lohnkosten, sowie verringerte Energiekosten (Strom, Klima, Lüftung). Zusätzlich können Ausschussquoten in der Produktion sowie die Ausfälle von Mitarbeitern reduziert werden. Demgegenüber stehen hohen Anfangsinvestitionskosten sowie der Trend zunehmender Variantenvielfalt von Produkten. Eine zunehmende Variantenvielfalt ist mit konstanten Neuinvestitionen in bestehende Anlagen verbunden und kann eine LoF unattraktiv machen.

LoF für die Demontage – Light-out-Disassembly

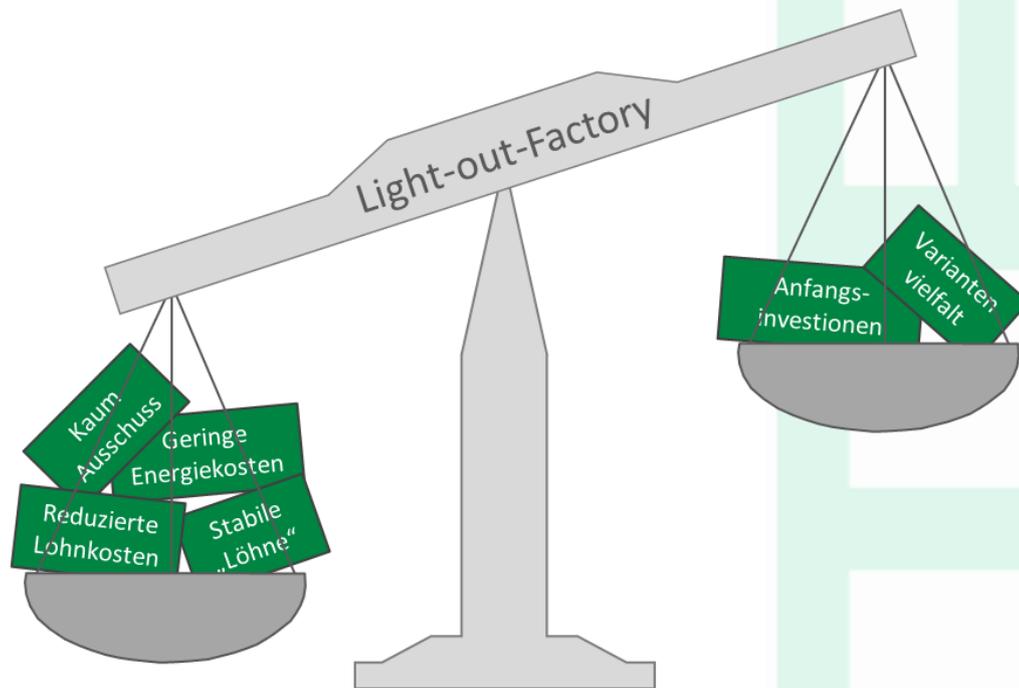
Wie können nun die genannten Vor- und Nachteile auf die automatisierte Demontage übertragen bzw. eliminiert werden? Am CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum wurden der Zeitaufwand für die manuelle Demontage und die damit verbundenen Lohnkosten als eines der größten



Haophuong21, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>>, via Wikimedia Commons

Hindernisse für die Demontage von Elektro(nik)altgeräten (EAG) identifiziert. Eine Automatisierung der Prozesse, wie in einer LoF üblich, bietet sich auf den ersten Blick auch für die Demontage an. Jedoch ist das ursprünglich herstellerseitige Problem der Produkt-(varianten)vielfalt für die Demontage noch

gravierender: Es müssen nicht nur aktuelle Produkte demontiert werden, sondern auch Produkte, die schon mehrere Jahre im Markt sind und mögliche Neuaufgaben, Facelifts und Modifikationen erfahren haben.



3 Hemmnisse in der Umsetzung

Die Idee der LoF besteht schon seit vielen Jahren, warum aber gibt es bis heute kaum aktive LoFs? Um diese Frage zu klären, wurde eine Querschnittsbefragung der deutschen Industrie vorgenommen, genauer wurden unter anderem alle Mitgliedsunternehmen des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA, europaweit größter Industrieverband) zur Umfrage eingeladen. Das Ziel dabei war, die größten Hemmnisse für die Realisierung einer LoF zu identifizieren und Lösungsmöglichkeiten bezüglich dieser Hemmnisse zu finden.

Über die Umfrage wurden informiert: 3.128 Unternehmen durch direkte Anschrift, sowie 565 Mitarbeiter des VDMA mit der Bitte um Weiterleitung an in dem Verband organisierte Unternehmen. In Summe konnten 228 Teilnehmende registriert werden, davon haben 158 den Fragebogen abgeschlossen. Im Vorhinein wurde eine Reihe von Thesen formuliert, die im Rahmen der Umfrage beantwortet werden sollten.

Die Kernthesen sind Folgende:



These 1: „Der Grad der Digitalisierung und Automatisierung ist abhängig von der Branche und der Unternehmensgröße“

Es konnte gezeigt werden, dass eine positive Korrelation sowohl zwischen der Unternehmensgröße und dem Digitalisierungsgrad als auch zwischen der Unternehmensgröße und dem Automatisierungsgrad besteht.¹

| | | Unternehmensgröße - Digitalisierungsgrad | Unternehmensgröße - Automatisierungsgrad |
|-------------------------|-------------------------|--|--|
| Lineare Regression | Korrelationskoeffizient | 0,3147 | 0,3623 |
| | Bestimmtheitsmaß | 0,0990 | 0,1313 |
| Quadratische Regression | Korrelationskoeffizient | 0,4586 | 0,5783 |
| | Bestimmtheitsmaß | 0,2103 | 0,3344 |

Es zeigte sich ebenfalls, dass verhältnismäßig größere Unternehmen gegenüber kleineren Unternehmen eher hohe Digitalisierungs- und Automatisierungsgrade aufweisen. Folglich können größere Unternehmen eher eine LoF realisieren.

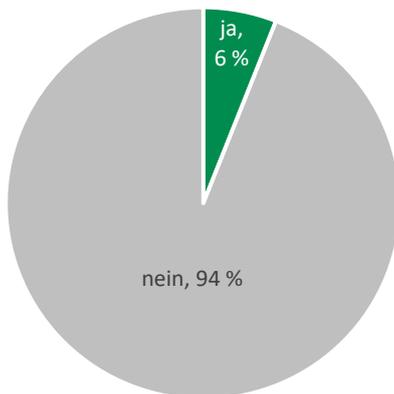
¹ Bei den erhobenen Daten handelt es sich um Schätzwerte der Teilnehmenden der Umfrage

Die bereits aufgezeigte Problematik der hohen Produkt(varianten)vielfalt wurde überprüft, indem der Zusammenhang zwischen Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad sowie der Flexibilität eines Unternehmens untersucht wurde. Dabei stellte sich heraus, dass ein schwach positiver Zusammenhang besteht – ein hoher Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad kann tendenziell also mit einer gesteigerten Flexibilität einhergehen.

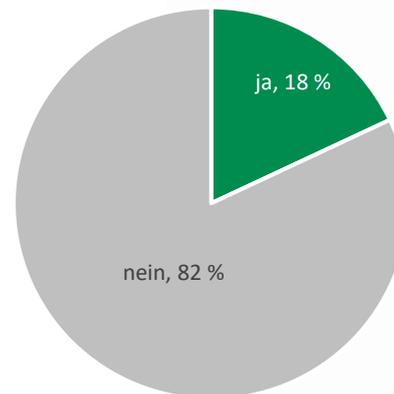
These 2: „Das Potenzial von Digitalisierung und Automatisierung in den jeweiligen Aufgabenbereichen ist nicht in Gänze ausgeschöpft“

Aus der Umfrage geht hervor, dass die Teilnehmenden These 2 eher bestätigen. Rund 94 % der Teilnehmenden gaben an, dass sie das Digitalisierungspotenzial in ihrem jeweiligen Aufgabenbereich für nicht ausgeschöpft halten; rund 82 % der Teilnehmenden äußerten sich so zum Automatisierungspotenzial in ihrem Aufgabenbereich.

Halten Sie das Potenzial für die Digitalisierung in Ihrem Aufgabenbereich für ausgeschöpft?

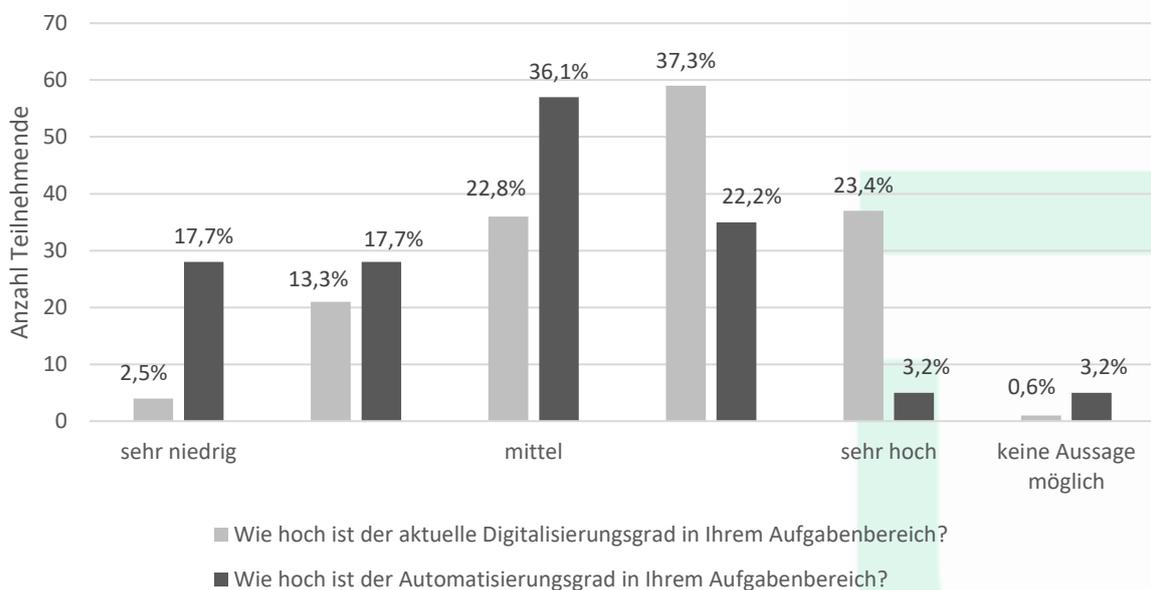


Halten Sie das Potenzial für die Automatisierung in Ihrem Aufgabenbereich für ausgeschöpft?



Trotz des hohen Anteils Teilnehmender, die noch Entwicklungspotenzial sehen, schätzten diese den Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad in ihren Aufgabenbereichen recht hoch ein:

Digitalisierungs- und Automatisierungsgrad

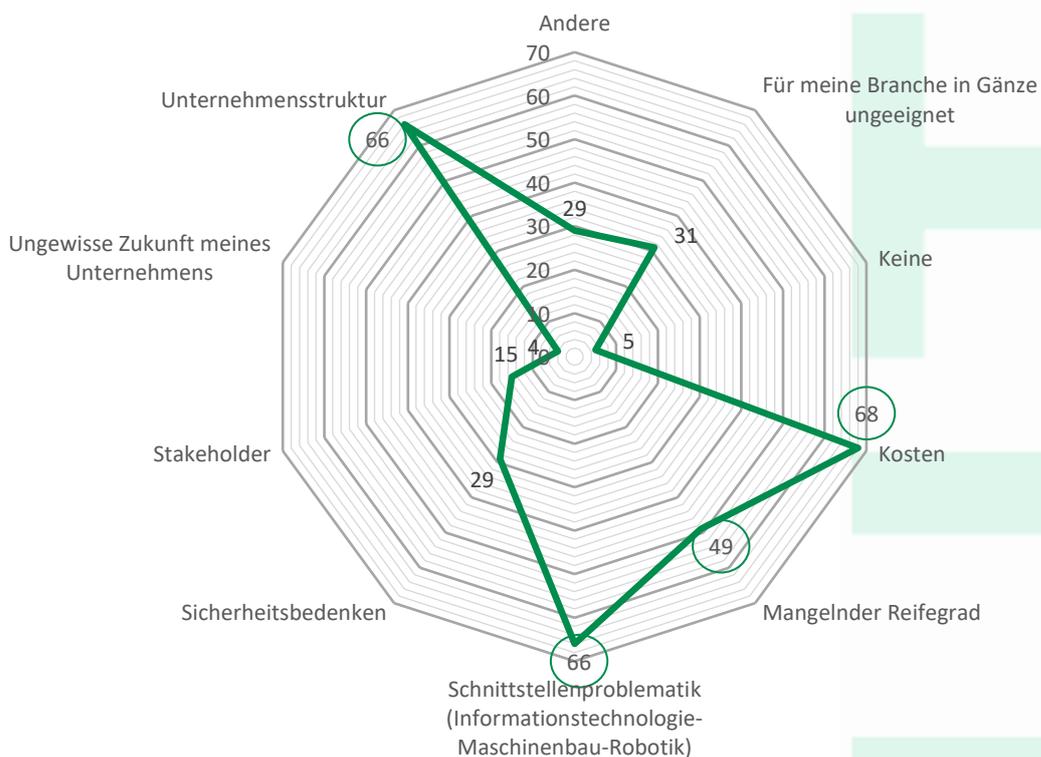


Es zeigte sich, dass der Digitalisierungsgrad tendenziell höher eingeschätzt wird als der Automatisierungsgrad. Für die Realisierung einer LoF weisen die genannten Umfrageergebnisse darauf hin, dass ein gewisser Digitalisierungs- bzw. Automatisierungsgrad bereits vorhanden ist, das Potential allerdings noch nicht als ausgeschöpft wahrgenommen wird – es bietet sich also Potential für die Ansätze einer LoF.

These 3: „Kosten, Reifegrad und Unternehmensstruktur sind wesentliche Hemmnisse einer vollständigen Automation“

Warum kann das festgestellte Potential für die Realisierung einer LoF nun nicht genutzt werden? Korrespondierend zur These wurden im Teilnehmendenfeld verstärkt die Punkte Kosten, Unternehmensstruktur und mangelnder Reifegrad als Hindernisse für höhere Automatisierungsgrade identifiziert (siehe Abbildung). Die Teilnehmenden halten bestehende Lösungen folglich für noch nicht ausgereift und für zu teuer, außerdem verhindert die bestehende Unternehmensstruktur eine vollständige Automation.

Größte Hemmnisse einer vollständigen Automation



Über die genannten Hindernisse hinaus findet sich unter den drei am häufigsten angeführten Hinderungsgründen auch die Schnittstellenproblematik zwischen Informationstechnologie, Maschinenbau und Robotik.

These 4: „Best-Practices und Konkurrenzstruktur können Haupttreiber für die Steigerung des Automatisierungsgrades sein“

Wie können die identifizierten Hemmnisse in der Folge überwunden werden? Um diese Frage zu beantworten, wurden die Teilnehmenden nach möglichen Enablern für die Steigerung des Automatisierungsgrades gefragt. Dabei stellte sich heraus, dass, wie in der These schon vermutet wurde, Best-Practices mögliche Enabler sein können (siehe Abbildung):

Mögliche Enabler für die Steigerung des Automatisierungsgrades



Neben Best-Practices wurde die Entwicklung der Konkurrenz als einer der wichtigsten Enabler für die Steigerung des Automatisierungsgrades genannt. Gesellschaftlicher Wandel, staatliche Finanzierungshilfen und gesetzliche Auflagen spielen laut Aussagen der Teilnehmenden eine nicht zu vernachlässigende Rolle für die Steigerung des Automatisierungsgrades.

Weiterhin wurde in der Umfrage festgestellt, dass die Arbeit der Teilnehmenden in ihren Aufgabenbereichen häufig durch Vorgaben von Normen und regulatorische Vorschriften geprägt ist. Darüber hinaus zeigt sich, dass die IT-Landschaft der jeweiligen Unternehmen eher als unflexibel wahrgenommen wird. Viele Vorgaben und eine unflexible IT-Landschaft kommen zu den bereits identifizierten Hemmnissen der Steigerung des Automatisierungsgrades hinzu.

4 Hemmnisse in der Umsetzung

Die Erkenntnisse der Umfrage lassen darauf schließen, dass vor der Realisierung einer LoF noch verschiedene Hindernisse überwunden werden müssen. Was sind an dieser Stelle mögliche Lösungsansätze? Als wichtigste Enabler können die Verbreitung von Best-Practice-Beispielen und die Entwicklung der Konkurrenzstruktur betrachtet werden. Für beide Strategien liegt die Verantwortung in erster Linie jedoch auf der Seite der Produkthersteller und eine Umsetzung kann somit nur indirekt extern motiviert werden. Zugleich werden die relevantesten Hemmnisse für eine Steigerung des Automatisierungsgrades ebenfalls unternehmensseitig eingeordnet (Unternehmensstruktur, Schnittstellenproblematik). Die Teilnehmenden sehen staatliche Finanzierungshilfen als aus Unternehmersicht externe Steuerungsmöglichkeit eher als sekundär wichtigen Enabler für eine Steigerung des Automatisierungsgrades an. Daher sollten Möglichkeiten gefunden werden, Unternehmen auch anderweitig zu motivieren, den Weg zur LoF zu finden. Da größere Unternehmen tendenziell einen höheren Automatisierungs- und Digitalisierungsgrad aufweisen, dürften diese eher befähigt sein, LoFs zu realisieren. Ob staatliche Unterstützungen daher verstärkt an größere Unternehmen gehen sollten, sodass zeitnah LoFs gebaut werden können, oder ob staatliche Unterstützung eher an KMUs gerichtet sein sollten, sodass alle Unternehmen die Chance bekommen, eine LoF zu bauen, gilt es zu diskutieren.

Die Hebung des bereits bestehenden, jedoch noch nicht ausgeschöpften Potenzials in der Digitalisierung und Automatisierung kann eine erste Lösungsmöglichkeit sein. Je mehr Unternehmen das derzeitige Maximum der Automatisierung und Digitalisierung bereits

erreicht haben, desto höher ist die Chance, dass ein Unternehmen den Schritt hin zu einer LoF realisiert. Forschungseinrichtungen können im Rahmen kooperativer Forschungsprojekte mit starker Industriebeteiligung praxisrelevante Lösungen schaffen, um Material- und Informationsströme hinsichtlich der Vollautomatisierung zu optimieren sowie Best-Practice-Beispiele für eine vertikale Verbreitung zu formulieren.

Auch beim LoD stellen die Kosten eines der Haupthindernisse dar. Hier bietet sich die Chance, durch Einbeziehen eines Design-for-Automated-Disassembly zwecks Wiederverwendung oder Recycling (D4X) bereits in der Produktentstehungsphase auf eine Kostenreduktion bzw. die Möglichkeit zur Implementierung einer LoF für Recyclingaktivitäten hinzuwirken. Essenziell ist dabei die konsequente Fokussierung auf eine Reduktion der Komplexität von (De-)Montageprozessen. Es bedarf zusätzlich entsprechender Anreize, die einen niedrigschwelligen Einstieg in LoD für die Industrie ermöglichen.

Hemmnisse und Lösungen: Light-out-Disassembly



Florian Hansen, M.Sc.
Leiter des Querschnittteams
Konstruktion & Design am CUTEC



Marius Schlage, M.Sc.
Alumnus
CUTEC, TU Clausthal



Dipl.-Biol. Jan H. Seelig, M.Eng.
Leiter der Arbeitsgruppe
Stoffströme am CUTEC

Februar 2023

Technische Universität Clausthal

CUTEC Clausthaler Umwelttechnik Forschungszentrum
Abteilung Ressourcentechnik & -systeme

Leibnizstraße 23
38678 Clausthal-Zellerfeld
Deutschland

Telefon: 05323 72-6124

Fax: 05323 72-6100

Internet: www.cutec.de

E-Mail: florian.hansen@cutec.de

jan.seelig@cutec.de