

Update-Factory für ein industrielles Produkt-Update

Ein Beitrag zur Kreislaufwirtschaft

Development
Manufacturing

Usage
Durability



Update-Factory

Repair
Remanufacturing

Inhalt

1. Management Summary	5
2. Begriffsbestimmungen	6
3. Motivation und Ausgangssituation	9
3.1 Produktentwicklung/Nutzung	9
3.2 Produktion.....	9
3.3 Geschäftsmodelle/Wirtschaftlichkeit	9
3.4 LCA-Bewertung	10
3.5 Fazit	11
4. Konzept der Update-Factory	12
5. Bekannte Anwendungsbeispiele und mögliche Szenarien	13
6. Thesen	20
6.1 Thesen zu Nachhaltigkeit/Ressourceneffizienz	20
6.2 Thesen zum Produkt.....	20
6.3 Thesen zu Produktentwicklung und Produktion.....	21
6.4 Thesen zu Geschäftsmodellen und Digitalisierung	22
7. Forschungsbedarfe	23
7.1 Forschungsbedarfe in Produktentwicklung und Nutzungsphase	23
7.2 Forschungsbedarfe in der Produktion	23
7.3 Forschungsbedarfe für die Geschäftsmodelle/Wirtschaftlichkeit	24
7.4 Forschungsbedarfe für die objektive Nachhaltigkeitsbewertung	25
7.5 Forschungsbedarfe in der Digitalisierung	25
8. Referenzen	26

1. Management Summary

Das hier vorgestellte Konzept der Update-Factory wurde von den wissenschaftlichen Gesellschaften für Produktionstechnik (WGP) und Produktentwicklung (WiGeP) entwickelt. Es soll einen Beitrag für die Industrie zur Erreichung der Klimaschutzziele und zur Umsetzung des European Green Deal darstellen. In der Update-Factory sollen in Anlehnung an Software-Updates Produkte im Anschluss an eine mittels Condition Monitoring begleitete Nutzungsphase im Rahmen eines industriellen Updates beim Hersteller auf den bestmöglichen aktuellen Stand gebracht und an den Kunden zurückgegeben werden. Dadurch wird die Nutzungsdauer der Produkte und ihrer Bestandteile verlängert und bei nicht weiter verwendbaren Komponenten die sortenreine Trennung sowohl kritischer als auch wertvoller Werkstoffe ermöglicht. Dies stellt einen wichtigen Beitrag zur Energie- und Ressourceneffizienz dar. Die Update-Factory führt dazu in industriellem Maßstab (wiederholte) Aufwertungen oder Veränderungen an Produkten durch, indem neue Produktbestandteile sowie Produkterweiterungen die technologische Wertigkeit und/oder die Anmutung des Produkts verbessern.

Dieses Vorgehen macht eine enge Verzahnung von Maßnahmen in der Produktentwicklung (wie bspw. Generationsentwicklung, Modularisierung sowie Condition Monitoring) und der Produktion (wie Automatisierte Befundung, De- und Remontage sowie digital angestoßene Tausch- oder Neuteilfertigung) erforderlich. Daneben stellen sich Herausforderungen in neuen Geschäftsmodellen (wie bspw. Gewähr-

leistung sowie Tarierung von Neu- und Update-Geschäft) und in der Digitalisierung des gesamten Produktlebenszyklus sowie einer objektivierte Bewertung von Rohstoff-, Emissions- und Energieverbrauch bei Update-Produkten.

Der Rahmen hierfür wird im vorliegenden Positionspapier skizziert. Dazu werden nach der Beschreibung der Ausgangssituation und des Konzepts 12 Thesen aufgestellt, aus denen der interdisziplinäre Forschungsbedarf in den oben genannten Feldern Produktentwicklung, Produktion, Life Cycle, Digitalisierung und Geschäftsmodelle im Detail abgeleitet wird. Dieser lässt sich in Form von Kooperationsprojekten zwischen industriellen und akademischen Partnern angehen. Ergänzend hierzu sollte der ordnungspolitische Rahmen geschaffen werden, entsprechende Boni in der Lebenszyklusbewertung von Produkten nach dem Update zu vergeben. Als Ergebnis entstünden dann Ansätze für Politik und Gesellschaft, die einen bedeutenden Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030 und darüber hinaus leisten sollen. Dabei werden Produktion, Arbeitsplatzanzahl und -qualität sowie Dienstleistungen gemeinsam betrachtet. All dies lässt eine positive Wirkung auf Beschäftigung und Konjunktur in Deutschland erwarten. Der Standort der „Fabrik“ und die erforderliche Kundennähe sind je nach Produkt abzuwägen. In der Vernetzung parallel geförderter branchenspezifischer Projekte ergeben sich somit vielfältige Ansätze, die dazu führen werden, die Nachhaltigkeit völlig neu zu denken.

2. Begriffsbestimmungen

Die Update-Factory führt in industriellem Maßstab (wiederholte) Aufwertungen oder Veränderungen an Produkten durch, indem neue Produktbestandteile sowie Produkterweiterungen die technologische Wertigkeit und/oder die Anmutung des Produkts aktualisieren. Der Begriff Update („Aktualisierung“) wird bislang vornehmlich bei Software angewandt und steht für Verbesserungen oder Fehlerbeseitigungen, die zu einer neuen Version der Software führen. Im Gegensatz dazu umfasst ein Upgrade („Aufwertung“) eine technische Neuerung der Software mit neuen Funktionen und führt daher zu einer neuen Variante. In diesem Positionspapier werden diese Begrifflichkeiten auf Produkte angewandt, die aus Hard- und Software bestehen. Ein Produkt-Update ist demnach eine Verbesserung des Produktes, das mindestens Fehler behebt, während ein Upgrade darüber hinaus neue Funktionsumfänge bereitstellt. Insofern stellt das Upgrade eine spezielle Ausprägung des Updates dar.

Um den Energie- und Ressourcenverbrauch zu reduzieren und die Wirtschaftlichkeit zu erhöhen, können Produkte im Sinn der Kreislaufwirtschaft wertschöpfend dem Produktlebenszyklus wieder zugeführt werden. Innerhalb der Kreislaufwirtschaft werden verschiedene Begrifflichkeiten genutzt, die allesamt über die Wartung bzw. Instandhaltung hinausgehen und im Folgenden nach Parker et al. [1] voneinander abgegrenzt werden sollen (Abbildung 1). Der Begriff „Wiederverwendung“

(Reuse) bezeichnet die wiederholte Verwendung eines Produktes mit demselben Zweck. Das heißt, die Produkte werden erneut genutzt und dadurch ihre Nutzungsphase verlängert. „Reparatur“ (Repair) dagegen steht für die Beseitigung eines Fehlerzustands, indem das Produkt wieder instandgesetzt wird. Dadurch erfolgt eine Rückführung zur Produktphase Service und Vertrieb. „Aufarbeitung“ (Refurbish) erweitert den Begriff Repair um eine optische und/oder funktionale Aufarbeitung. Zusätzlich zur Instandsetzung wird also eine Überholung des Produktes durchgeführt. Dadurch wird das Produkt im Kreislauf der Komponenten- oder Endmontage zurückgeführt. Bei den bisher beschriebenen Vorgehensweisen bleibt die Teilidentität dieselbe, was sich für das Remanufacturing ändert. Hier erfolgt eine Wiederherstellung von Produkten, die mindestens dem Zustand des Neuprodukts entspricht (equal to new). Daher wird eine neue Teilidentität zugewiesen und das Remanufacturing wird vor der Komponentenmontage in den Produktkreislauf eingeordnet. Dagegen erfolgt bei der Verwertung (Materialrecycling) eine Extraktion zur Rückgewinnung der eingesetzten Materialien. Diese können dabei technisch oder materiell in denselben Kreislauf (Wiederverwertung) zurückgeführt oder in einen anderen Produktkreislauf eingebracht werden (Weiterverwertung). Nach dem Recycling ist eine neue Fertigung eines Produktes notwendig [2,3].

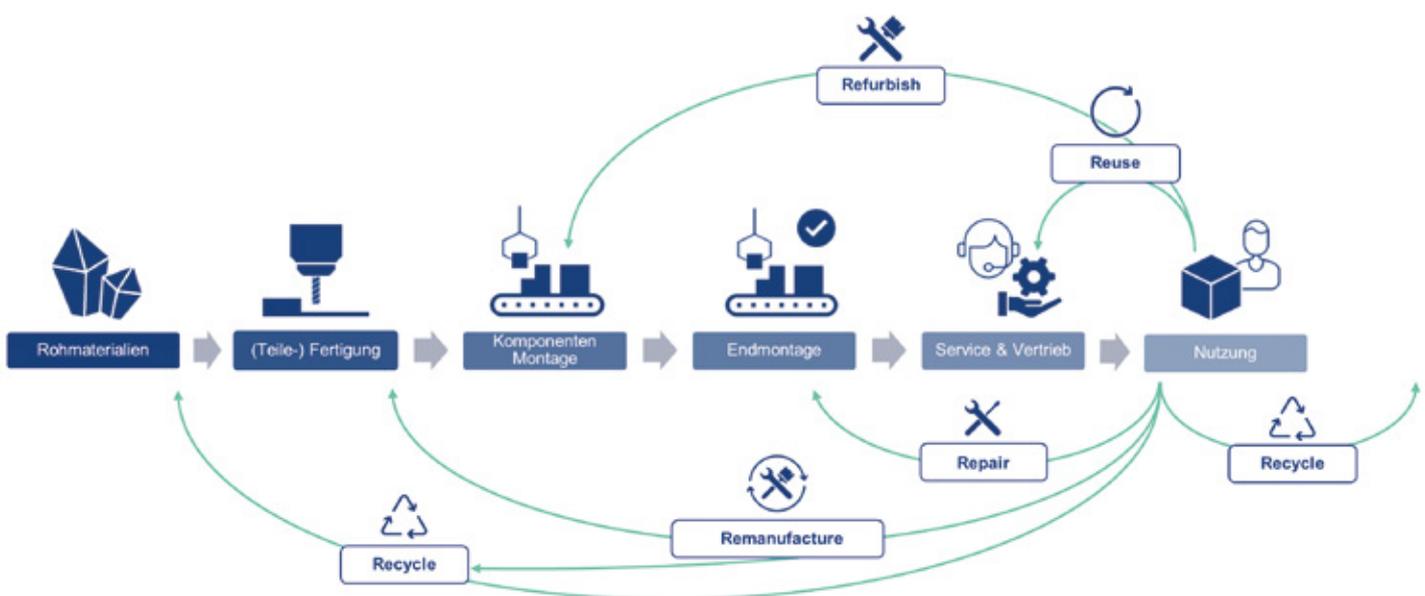


Abbildung 1: Begriffe im Sinne der Kreislaufwirtschaft in Anlehnung an [4,5]

Um im Sinne der Kreislaufwirtschaft planen zu können, ist es wichtig, die Prozesse Produktentwicklung und Produktion als Teil des gesamten Produktlebenszyklus zu betrachten [6]. Dabei können integrierte Produktlebenszyklusmodelle bei der Umsetzung helfen (Abbildung 2). Grundsätzlich wirken darin die Produktentwicklung und die Produktion, in der die Produktionssystementwicklung einen bedeutenden Teil ausmacht, zusammen. Danach folgen die Nutzungsphase sowie die End of Life Phase, in der die Produkte im Sinne der Kreislaufwirtschaft wieder und weiter verwertet werden. Die Realisierung eines ganzheitlich ressourcenschonenden Produktentstehungsprozesses wird durch vorausschauende Planung und integrative Ansätze ermöglicht [7]. Der Produktentstehungsprozess reicht von der strategischen Produktplanung bis hin zum Serienanlauf. Die Produktentwicklung sowie die Produktion spielen dabei eine zentrale Rolle für die Planung eines nachhaltigen Lebenszyklusprozesses eines Produkts [7]. Durch eine geeignete Berücksichtigung von Anforderungen entlang des Produktlebenszyklus bereits in der frühen Phase des Produktentstehungsprozesses werden die Weichen für alle späteren Eigenschaften der Produkte, wie z. B. Wartungs- und Instandhaltungsfreundlichkeit, insbesondere auch für den ressourceneffizienten Lebensweg, gelegt [8]. Neben der Produktplanung und -entwicklung sollte die Produktionssystementwicklung für die Fertigung des Produktes in der Phase bereits mitbetrachtet werden, da die Produktion einen hohen Anteil des Ressourcenverbrauchs am

Gesamtlebenszyklus einnimmt [7]. Damit sind die aktuell verfügbaren Technologien ein maßgeblicher Stellhebel, der für einen nachhaltigen Lebensweg von Produkten sorgt. Neue und verbesserte Technologien oder auch innovative Materialien, die in den Produktionsprozess einfließen, können damit die Nachhaltigkeit positiv beeinflussen [9]. Die Produktentwicklung kann auch über mehrere Generationen hinweg erfolgen. Dann werden neue Generationen von Produkten aufbauend entwickelt, die sich entweder durch eine Anpassung von Teilsystemen oder auch eine Neuentwicklung von Teilsystemen auszeichnen. Diese Teilsysteme müssen dazu als Module mit geeigneten Schnittstellen gestaltet werden. Das erfordert spezifische Prozesse, Methoden und Werkzeuge innerhalb der Produktentwicklung, damit über die Generationen hinweg der Lebenszyklus nachhaltig gestaltet werden kann [10]. Um umweltbewusste Entscheidungen zu treffen, kann das Condition Monitoring als Enabler eingesetzt werden. Das Condition Monitoring wird aktuell meist in Verbindung mit Produktionsanlagen oder Werkzeugen gebracht, das Prinzip kann aber auf die Produktion und den folgenden Produkteinsatz angewandt werden [11]. Damit kann der technische Zustand eines Produktes kontinuierlich überwacht und Veränderungen wie fortschreitende Abnutzungserscheinungen einzelner Komponenten können schnell erkannt werden. Eine vorausschauende Planung des Remanufacturing ermöglicht dann die nachhaltige Gestaltung im Sinne der Kreislaufwirtschaft.

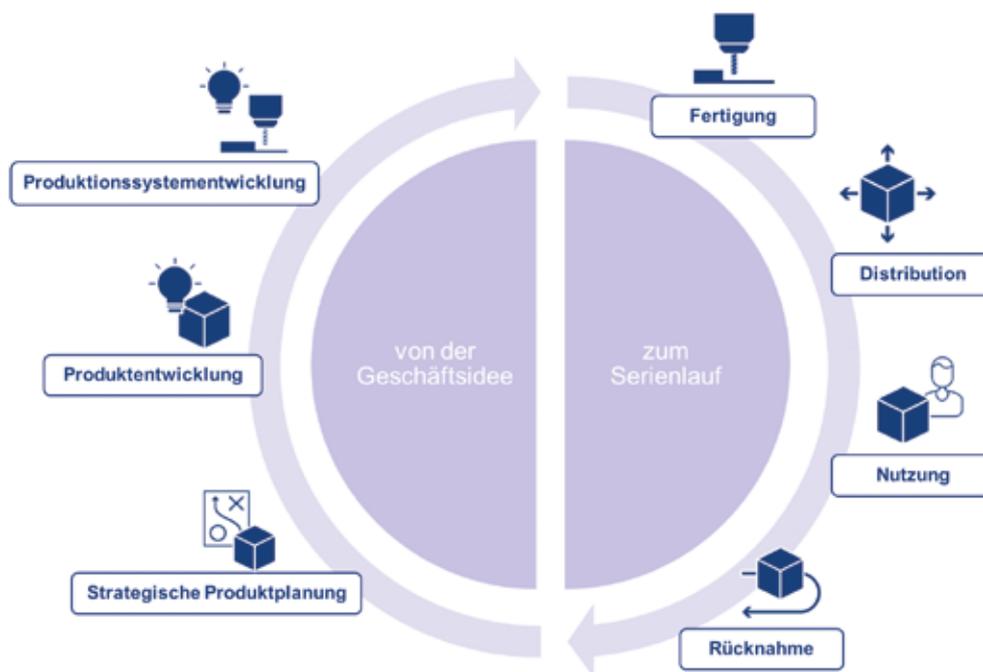


Abbildung 2: Produktentwicklung und Produktion im Produktlebenszyklus in Anlehnung an [12]

Ecodesign (Ecological Design oder auch Sustainable bzw. Environmental Design) ist ein Ansatz zur Konzeptionierung und Gestaltung von Produkten unter besonderer Berücksichtigung der Umweltauswirkungen des Produkts während seines gesamten Lebenszyklus [13]. Zentral ist also die Integration von Umweltaspekten in die verschiedenen Planungsvorgänge und das Produkteigenschaftsprofil, d.h. die Suche und Ausgestaltung von alternativen, öko-effizienten Lösungsmöglichkeiten zur Befriedigung der jeweiligen Anforderungen an ein Produkt. Um Produkte bezüglich ihrer Nachhaltigkeit bewerten zu können, gibt es unterschiedliche Methoden und Bewertungskriterien. Grundsätzlich ist es sinnvoll, den gesamten Lebenszyklus zu bewerten, um Hotspots zu identifizieren und Problemverschiebungen zu vermeiden.

Im Folgenden werden einige Bewertungsmethoden vorgestellt [14,15]. Die bekannte LCA (Life Cycle Assessment) oder auch Ökobilanz nutzt die systematische Analyse der Umweltauswirkungen eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus. Das umfasst alle Umweltbelastungen, die während der Produktion, der Nutzungsphase, der Verteilung

und Entsorgung entstehen. Sie wird in der Praxis bereits breit angewendet, um umweltorientierte Entscheidungen bezüglich der Produkte zu unterstützen. Für das LCC (Life Cycle Costing) werden die Systemgrenzen und Rahmenbedingungen über den Lebenszyklus wie in der Bewertungsmethode LCA eingesetzt. Allerdings wird die Entscheidungsfindung über ökonomische und nicht ökologische Kriterien getroffen. Alle Kosten (teilweise auch Erlöse), die mit einem Produkt oder Service verbunden sind, werden über den gesamten Lebenszyklus analysiert. Die SLCA (Social Life Cycle Assessment) bewertet dagegen die sozialen Konsequenzen eines Produktes oder Prozesses während des gesamten Lebenszyklus auf die Gesellschaft. Das Konzept LCE (Life Cycle Engineering) hat zum Ziel, bereits in der Entwicklung die Aktivitäten des ganzen Lebenszyklus bezüglich ihrer Nachhaltigkeit einzubeziehen und ist eng mit LCA und LCC verbunden (Abbildung 3). Es umfasst Produkt- und Prozessentscheidungen auf Basis einer quantitativen Nachhaltigkeitsanalyse und bewertung. Ausgehend von einem absoluten Nachhaltigkeitsverständnis rückt die Erfüllung ökologischer Anforderungen wieder in den Vordergrund [16,17].

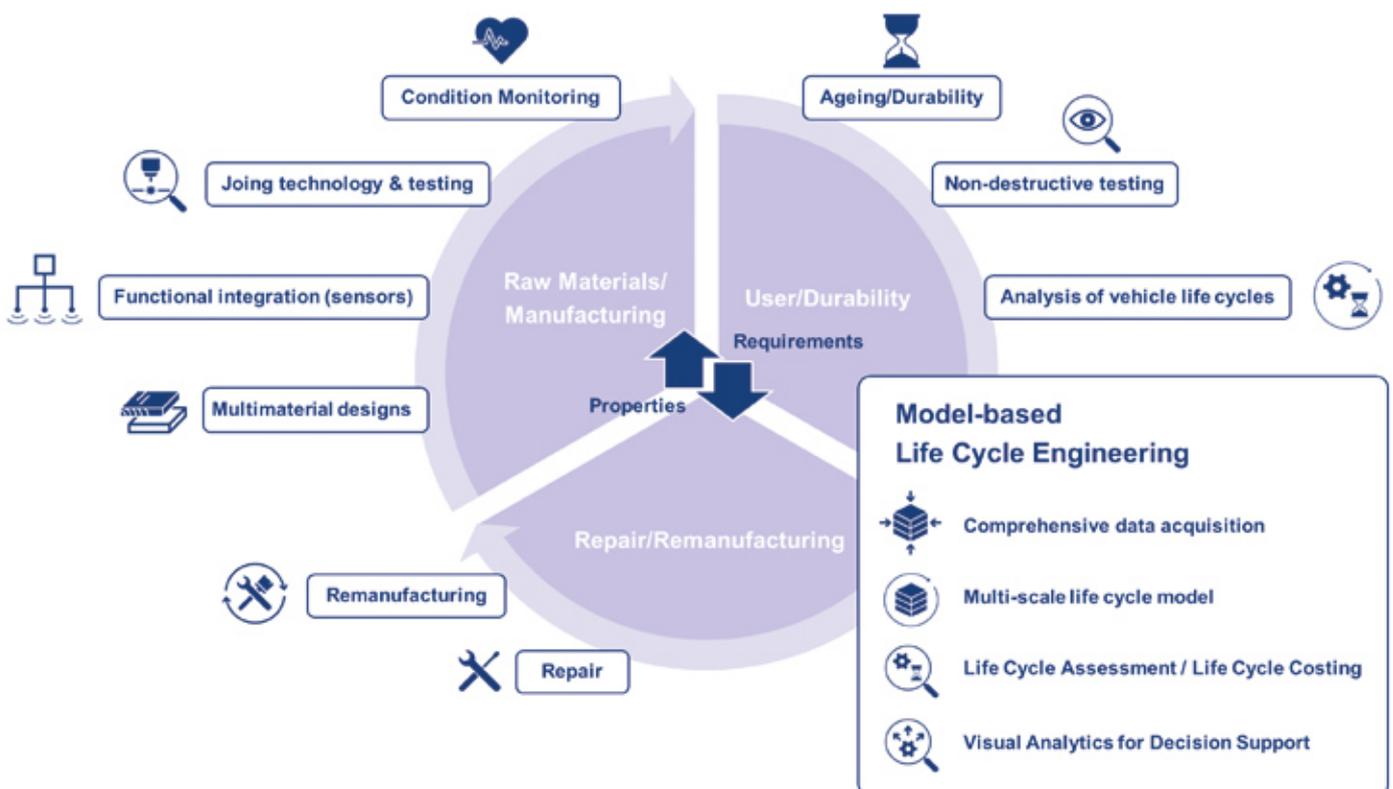


Abbildung 3: Objektive Nachhaltigkeitsbewertung in Anlehnung an [18]

3. Motivation und Ausgangssituation

Im Sinne der Kreislaufwirtschaft und der Ziele des Green Deals der Europäischen Union wird sich der Druck deutlich erhöhen, die Material-, Emissions- und Energiewirtschaft in neue zirkuläre und nachhaltige Systeme zu überführen. Dies wird bezogen auf die Produkte und Produktionsfähigkeiten der verarbeitenden Industrie erhebliche Auswirkungen haben. Hierzu beschreibt die acatech in dem von der Circular Economy Initiative Deutschland herausgegebenen Papier „Pathways towards a German Circular Economy“ [19] den übergeordneten Rahmen, für den hier eine konkrete technische Vorgehensweise abgeleitet wird. Insbesondere wird die Nutzungsdauer von Produkten zunehmend verlängert, wobei Attraktivität (Kundenwünsche) und technischer Zustand (Sicherheit, Effizienz) wichtig sind. Aufgrund deren kontinuierlicher Weiterentwicklung muss das Produkt daher in Generationen angepasst werden, um den Anforderungen weiter gerecht zu werden.

3.1 Produktentwicklung/Nutzung

Heutige Produktentwicklungsprozesse fokussieren oft auf die Entwicklung von technischen Produkten für lediglich einen Lebenszyklus mit anschließendem Recycling. Die Ausrichtung der Produktentwicklung und der Produktarchitektur auf die Update-Fähigkeit ermöglicht die Verwendung der Produkte über mehrere Lebenszyklen. Das Update-Produkt nimmt in jedem Lebenszyklus den Platz eines bisher konventionell hergestellten Produkts ein. Durch das Update entstehen im Vergleich zu der Herstellung bzw. dem Recycling eines konventionellen Produkts erhebliche Einsparpotentiale in Bezug auf Rohstoffaufwendungen, Energieverbräuche, Schadstoffemissionen und Kosten. Das Konzept der Update-Factory resultiert zudem in neuen Produkt-Kreisläufen und ermöglicht so neuartige Geschäftsmodelle für Industrieunternehmen.

Besonders vorteilhaft für die Entwicklung von update-fähigen Produkten ist die Entwicklung von geeigneten Produktarchitekturen nach Nachhaltigkeitskriterien über mehrere Generationen hinweg. Diese werden vorzugsweise eine modulare Bauweise verwenden, weshalb auch der Gestaltung von Schnittstellen zwischen den Modulen eine große Bedeutung zukommt. Durch eine intensive Vernetzung von Entwicklung und Produktion sowie konsequent vorausgedachte Produktstrukturen und ein umfassendes Changemanagement werden Produkte durch Erneuerung bei gleicher oder verbesserter Funktion länger nutzbar. Hierfür muss bereits in der Produktentwicklung ein starker Fokus auf den prognostizierten zukünftigen Kundenwunsch gesetzt werden und durch eine vorausschauende Optimierung des Produkts auf das zukünftige Verhalten und die Präferenzen von Nutzern Akzeptanz aufgebaut werden.

3.2 Produktion

Heutige Produktionsfabriken sind gekennzeichnet durch einen hohen Automatisierungsgrad und schlanke Abläufe im Sinne einer Lean Production. In Recyclingbetrieben dagegen dominieren zumeist manuelle Verfahren zur Demontage und mechanische/verfahrenstechnische Prozesse für die Aufbereitung unterschiedlicher Produkt-/Stoffströme mit dem Ziel der Verwertung. Eine stark schwankende Zusammensetzung der bei Ende der Nutzung anfallenden Produkte, der unbekannte Zustand der Produkte und eine unzureichende demontage- und recyclinggerechte Produktgestaltung führen dazu, dass die Prinzipien aus der Produktion bisher nur begrenzt auf die Demontage und kreislaufwirtschaftliche Prozesse übertragen werden konnten.

Es gibt erste Ansätze, die beiden Wirtschaftszweige, Versorgungswirtschaft (Produktion) und Entsorgungswirtschaft (Recycling) miteinander zu verbinden. So sind Beispiele aus der Automobilbranche bekannt, in der Montage- und Demontageoperationen auf derselben Produktionslinie von denselben Mitarbeitern durchgeführt werden. Aus der Weiterführung dieses Ansatzes, also der Zusammenführung von Produktion und Retro-Produktion in einem Fabriksystem, können Kreislaufwirtschaftsfabriken (Circulation Factories) entstehen. Damit verbunden ist das Potenzial, kreislaufwirtschaftliche Prozesse so zu implementieren, dass Upgrades ermöglicht werden.

3.3 Geschäftsmodelle/Wirtschaftlichkeit

Im Zuge der Realisierung von Industrie 4.0, der Entstehung von dynamischen digitalen Ökosystemen und des Einsatzes der dafür notwendigen Schlüsseltechnologien werden nicht nur Potenziale zur Optimierung bestehender Fertigungsverfahren und -prozesse geschaffen. Vielmehr eröffnen sich auch Möglichkeiten zur Konzeption und Implementierung von innovativen, datengetriebenen und plattformbasierten Geschäftsmodellen, die durch neue Formen des Nutzenversprechens, der Erlös- beziehungsweise Umsatzgenerierung sowie der Wertschöpfungsarchitektur geprägt sind [20]. Die Überführung der bisherigen meist am materiellen Produkt ausgerichteten Wertschöpfungsanteile wird sich graduell verschieben auf die damit verbundenen Dienstleistungen, Smart Services und digitalen Wertschöpfungselemente. Aber auch für die Nachhaltigkeit der materiellen Produkte sind neue digitale Infrastrukturen zu entwickeln, um eine wirtschaftliche Aufrüstung zu erreichen, damit Nutzungs- und Lebensdauern entstehen können.

Die alleinige Idee und die Bereitschaft zum Aufbau einer Kreislaufwirtschaft ist langfristig nicht ausreichend, da neben ökologischen Bestrebungen die Bereitstellung ökonomischer und finanzieller Anreize unabdingbar ist, um eine breite Akzeptanz für Update-Factories zu schaffen und das Konzept dauerhaft zu etablieren. Daher ist es notwendig, die

Wirtschaftlichkeit und finanzielle Rentabilität zu sichern sowie Wettbewerbsvorteile gegenüber konventionellen Produkten zu erschließen. Folglich ist die Entwicklung und Implementierung von neuartigen Geschäftsmodellen für die Kreislaufwirtschaft ein integraler Bestandteil. Durch die Etablierung von neuen kreislauforientierten Geschäftsmodellen kommt zusätzliche Unsicherheit und Komplexität zu bestehenden Geschäftsmodellen hinzu. Eine zentrale Herausforderung ist somit die Zusammenführung zu entwickelnder und bestehender Geschäftsmodelle, sodass Synergieeffekte genutzt werden können, die sich durch eine kooperative Kreislaufwirtschaft ergeben. Die Ausgestaltung des Geschäftsmodells ist entscheidend für einen Wettbewerbsvorteil, da hier festgelegt wird, wie der Kundennutzen erfüllt wird. Hierbei ist die Interaktion mit dem Kunden und die Transparenz hinsichtlich seiner Produktnutzung von hoher Bedeutung, so dass die Bereiche Produkt, Service und Prozess immer näher zusammenwachsen. Daher sind neben den Geschäftsmodellen, die auf dem Verkauf und der Rückführung von Update-Produkten basieren, auch Modelle möglich, die einen definierten Nutzen eines Kunden innerhalb sogenannter Produkt-Service Systeme (PSS) erfüllen, in denen das Produkt nicht mehr als Investitionsgut verkauft wird, sondern als Basis für die Erbringung einer Dienstleistung durch den Hersteller dient. Dann ist dieser bestrebt, ganze Systeme oder Komponenten möglichst lange zu nutzen oder in anderen Kontexten weiter zu verwenden. Die Geschäftsmodelle müssen dabei auch neu entstandene Bereiche abdecken. Beispielsweise muss neben der Vorwärtslogistik nun auch die Rückwärtslogistik organisiert werden. Der daraus folgende Umgang mit Altteilen, die je nach Produkt und Zustand variieren können, erfordert flexible Geschäftsmodelle, die beispielsweise ein Second Life oder die Entsorgung der Komponenten beinhalten müssen. Folglich müssen als Teil derartiger Geschäftsmodelle insbesondere Wertschöpfungsarchitekturen und -netzwerke angepasst und mitunter neu konzipiert werden.

Ein Garant für die neue Wertschöpfung stellt das Bindeglied der digital befähigten Update-Factory dar. Hierdurch werden die materielle Welt, die positiv beeinflussbare Verlängerung der Lebenszyklen, die stetige Funktionserweiterung der Produkte und Produktionsanlagen und die neue Wertschöpfung der Digitalisierung, wie z.B. in Form von Digitalen Zwillingen, synergetisch ermöglicht und zudem verknüpft. Hierdurch eröffnen sich wirtschaftliche Perspektiven wie Erlösmodelle im Zuge der Vermeidung von CO₂-Verbräuchen bei der Materialgewinnung und Halbzeugproduktion oder Instandhaltungs-, Erweiterungs- und Veredelungswertschöpfung bestehender Produkt- und Fabriksysteme im Sinne von strukturellen und funktionalen Überarbeitungen. Zudem werden die digitalen Schattendaten hinsichtlich Bedeutung und Zuverlässigkeit gezielt angereichert und in Nutzung befindliche Produktsysteme bewertet und überprüft. Darauf aufbauend können kaskadierte Smart Services für

OEMs, Behörden (TÜV etc.) und Dienstleistungsanbieter im Maschinenbau, der Fahrzeug- und Flugzeugindustrie und ggf. auch der Konsumgüterindustrie etabliert werden.

3.4 LCA-Bewertung

Um potentielle Umweltauswirkungen von Produkten zu quantifizieren, kommt die Methode der Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) zum Einsatz. Eine Ökobilanz beinhaltet die „Zusammenstellung und Beurteilung der Input- und Outputflüsse und der potenziellen Umweltwirkungen eines Produktsystems im Verlauf seines Lebensweges“ (DIN EN ISO 14040:2006-10). Dazu wird der gesamte Produktlebensweg von der Bereitstellung der Rohstoffe über die Produktion und die Verwendung bis hin zur Entsorgung bzw. Verwertung auf seine Umweltwirkungen durch Energie- und Stoffeinsatz untersucht. Die Modellierung komplexer Produktsysteme und die Analyse und Interpretation der Ergebnisse ist zumeist zeitaufwendig und erfordert methodisches und technisches Expertenwissen. Sind das betrachtete Produktsystem und die resultierenden Ergebnisse zudem von einer hohen Variabilität geprägt, beeinflusst durch geographische (z.B. lokaler Elektrizitätsmix), inter-individuelle (Nutzerverhalten), technologische (z.B. unterschiedliche Werkstoffe für gleichen Produkttyp) und zeitliche (z.B. Ausbau erneuerbarer Energien) Faktoren, sind bestehende statische LCA-Ansätze und kommerziell verfügbare Softwarewerkzeuge nicht geeignet. Zudem unterstützen diese Ansätze und Werkzeuge nicht ein modell-/wissensbasiertes Engineering von Produkten und Prozessen entlang des Lebenszyklus. Demgegenüber zielen Ansätze wie das Integrated Computational Materials Engineering auf eine integrative Modellierung und ermöglichen auf Basis gekoppelter Modelle die Beschreibung sowie Optimierung von Werkstoff-Eigenschaften-Korrelationen und erlauben so die Betrachtung der Abhängigkeiten zwischen Werkstoff, Fertigungsprozessen und der Bauteilgestaltung [21]. Analog rückt der Ansatz eines Integrated Computational Life Cycle Engineering, das Modelle einzelner Lebenszyklusphasen koppelt, in den Fokus eines Life Cycle Engineerings. Dabei werden die Modelle zunehmend gespeist aus Daten, die sich aus einem cyber-physischen Systemverständnis ergeben. D.h. dem physischen System (Produkt/Prozess) steht ein virtuelles Abbild (digitaler Zwilling) gegenüber. Die physische Welt und die cyber Welt sind durch ein (Echtzeit-)Datenfluss verbunden. Das virtuelle Abbild entsteht über empirische (Black Box) und oder physikalisch-analytische (White Box) Modelle. Diese Modelle ermöglichen perspektivisch nicht nur eine retrospektive Analyse und Bewertung von Prozessen und Produkten sondern auch prospektive Projektionen und damit auch die Entscheidung zukünftiger optimaler Zeitpunkte für kreislaufwirtschaftliches Handeln (Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture).

Basis für die Bewertung/Öko-Bilanzierung ebenso wie für Datenanalyse- und Planungsaspekte der Update-Factory bildet ein lebenszyklusübergreifendes Informationsmanagement, welches es erlaubt, auf Produkt, Subsystem- und Komponentenebene Daten über Nutzung, Wieder- /Weiterverwendungsmöglichkeiten etc. modellhaft im Sinne eines erweiterten Digitalen Zwilling Ansatzes abzubilden. Dazu gehören auch der Aufbau von Cloud/Edge und IoT Plattformtechnologien mit entsprechenden Schnittstellen und Standards (Informationsmodelle).

3.5 Fazit

Als Fazit lässt sich festhalten

- Der Ressourcenverbrauch eines Produkts lässt sich durch Weiternutzung von Komponenten und/oder Materialien reduzieren.
- Die Akzeptanz des Produkts bei den Nutzern bleibt ähnlich der von Neuprodukten oder sie wird sogar durch den nachhaltigen Nutzungsprozess gesteigert.
- Der Hersteller kann die Aktualisierung in industrieller, produktiver Umgebung in einer eigens dafür vorgesehenen Fabrik oder – im Falle großer/schwerer, nicht mit angemessenem Aufwand transportabler Produkte – in einer mobilen Fabrik durchführen.
- Es bedarf der Entwicklung flexibler, modularer Produktkonzepte, die eine Weiternutzung ermöglichen und aus Kundensicht attraktiv machen.
- Es bedarf der Entwicklung geeigneter De- und Remontageprozesse und anlagen unter Beachtung des hochvolatilen Anlieferungszustands des zu überarbeitenden Produkts.
- Politik und Gesellschaft wird ein Ansatz geboten, sich den Klimazielvorgaben 2030 weiter anzunähern.
- Neue Geschäftsmodelle (bspw. Teilen statt Besitzen) bilden die Basis für das Update oder entwickeln sich aus den sich ergebenden neuen Möglichkeiten.

4. Konzept der Update-Factory

In der Update-Factory sollen in Anlehnung an Software-Updates Produkte im Anschluss an eine Nutzungsphase im Rahmen eines industriellen Updates beim Hersteller auf den bestmöglichen aktuellen Stand gebracht und an den Kunden zurückgegeben werden. Im Konzept der Update-Factory soll die Ressourceneffizienz gesteigert bzw. die Nachhaltigkeit entlang des Produktlebenszyklus verbessert werden. Bekannte Wege zu dieser Zielerreichung sind die Steigerung der Energie- bzw. der Materialeffizienz, die Konsumeinschränkung oder die Verlängerung der Nutzungsdauer. Die Update-Factory verfolgt mit der Verlängerung der Nutzungsdauer den bisher vernachlässigten vierten Weg. Die Nutzungsdauer der Produkte und ihrer Bestandteile wird verlängert und bei nicht weiter verwendbaren Komponenten die sortenreine Trennung von Werkstoffen ermöglicht. Die Update-Factory führt dazu in industriellem Maßstab (wiederholte) Aufwertungen oder Veränderungen an Produkten durch, indem neue Produktbestandteile sowie Produkterweiterungen die technologische Wertigkeit und/oder die Anmutung des Produkts verbessern (Abbildung 4). Dieses Vorgehen sollte nach Möglichkeit bereits in der Konstruktionsphase des Produktes im Rahmen der Produktgenerationsentwicklung vorgedacht und in einer neuen Produktentwicklungsmethodik abgebildet werden, die z.B. durch Modularisierung und Standardisierung von Schnittstellen spätere Funktionserweiterungen und Umnutzungen ermöglicht. Für bereits bestehende Produkte muss dagegen ein Konzept entwickelt werden, das auch ohne bereits zuvor eingeplante Schnittstellen ein nachträgliches Update erlaubt. Updates können dabei durch Kundenwunsch, durch die Beseitigung von

Mängeln, die ggf. auch über ein Condition Monitoring erkannt werden können, durch ein Technologiesprung gegenüber der Konkurrenz oder durch neue gesetzliche Regelungen angestoßen werden. Der Hersteller kann über die gezielte Ansprache update-williger Kunden die Auslastung seiner Produktion steuern. Daraus ergeben sich vielfältige synergetische Forschungsaufgaben für Produktentwicklung und Produktion.

Besondere Herausforderungen birgt dieser innovative Ansatz durch hochvariant eingehende „Rohprodukte“, die durch die sich aus der Belastungshistorie ergebenden, über ein gezieltes Condition Monitoring aber bekannten Zustände nochmals weiter variiert werden. Dennoch gestattet die industrielle Produktion in einer zentralen oder mobilen Update-Factory dank Automatisierung von De- und Remontage und den bereits bei der Einsteuerung in den Update-Prozess weitestgehend bekannten Eingangszuständen kurze Durchlaufzeiten. Diese werden durch passfähige Fertigungstechnologien und Produktionsplanung sowie im Vorfeld bereits digital angestoßene Tausch- und Neuteilefertigung erreicht. Dabei sind für die Geschäftsmodelle der Update-Factory und des Update-Produkts nicht nur Fragen der Wirtschaftlichkeit, sondern auch der Gewährleistung anzugehen, um auch die ökonomischen, ökologischen und juristischen Aspekte zu beleuchten. Insgesamt führt dies also zu Ressourceneffizienz für den Kunden, der stets ein aktuelles, aber dennoch nachhaltiges Produkt nutzen kann, und für den Hersteller, der Kernkomponenten seines Produkts über mehrere Entwicklungsgenerationen auf neuestem Stand im Markt hält.

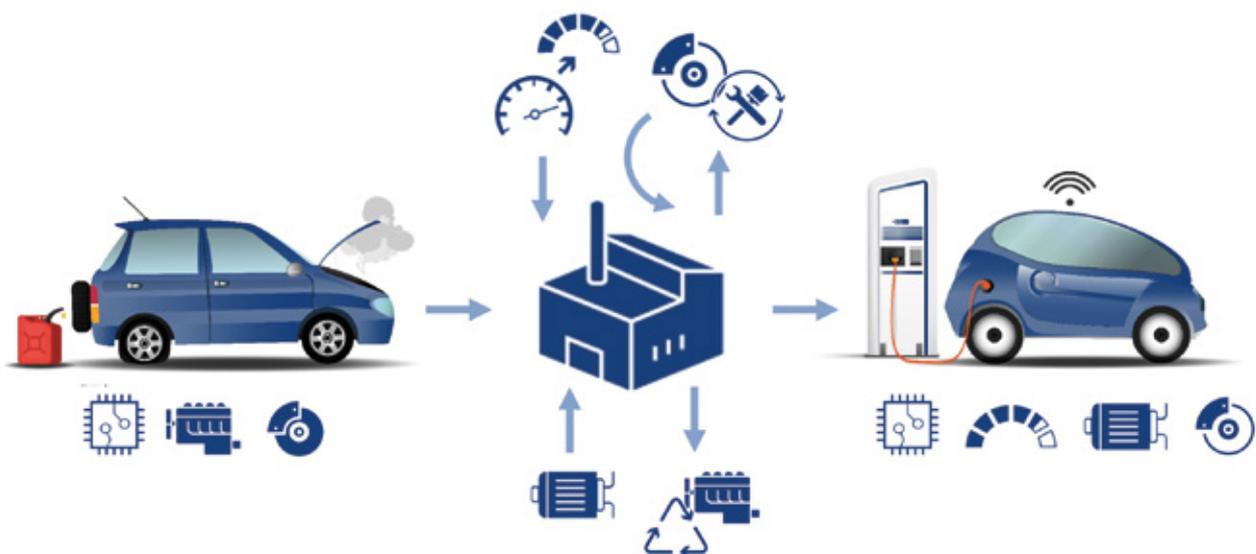


Abbildung 4: Schematische Darstellung der Update-Factory am Beispiel Automobil

5. Bekannte Anwendungsbeispiele und mögliche Szenarien

5.1 Bremssysteme (Remanufacturing)

EconX® ist eine Marke von Knorr-Bremse, die wiederaufgearbeitete Produkte nutzt, um den weiteren sicheren Einsatz älterer Nutzfahrzeuge zu ermöglichen (Abbildung 5). Trotz der verkürzten Restlebensdauer ist die Funktionalität der EconX®-Produkte dieselbe, was durch das Remanufacturing-Verfahren sichergestellt wird. Die Lebensdauer der Produkte wird dadurch auf die erwartete Restlebensdauer des Fahrzeugs abgestimmt. Insbesondere soll durch die Rückführung und Aufarbeitung der Altbestandteile eine nachhaltige Kreislaufwirtschaft infolge der Reduktion von Abfällen und CO₂-Emissionen unterstützt werden.

Um die Wiederverwendung zu ermöglichen, müssen die gebrauchten Produkte zunächst zurückgeführt werden. Dies wird dem Kunden mit Ermäßigungen beim Erwerb ausgewählter Produkte von Knorr-Bremse entgolten. Danach müssen die Komponenten sortiert und demon- tiert werden. Die nächsten Schritte sind dann eine Reinigung sowie die

Durchführung notwendiger Überholungen. Beispielsweise werden die Kurbelgehäuse von Kompressoren geschliffen und in der Größe ange- passt, um die Ölemissionen während des Gebrauchs möglichst gering zu halten. Zusätzlich wird nicht nur die Hardware überholt, sondern auch die Software wird auf die neuste Version aktualisiert. Abschließend wer- den die einzelnen Bestandteile geprüft, remontiert und danach im Rah- men der Qualitätssicherung einem End-of-Line Test zugeführt. Durch die industriell aufgearbeiteten Produkte wird die wirtschaftliche und ressourcenschonende Reparatur von älteren Nutzfahrzeugen möglich. Momentan werden allerdings nur Bestandteile von Produkten einem Remanufacturing unterworfen und einer Verwendung in älteren Nutzfahrzeugen zugeführt. Eine ganzheitliche Update-Strategie könnte den Einsatz als höherwertiges Produkt ermöglichen sowie eine verlängerte und verbesserte Nutzung ganzer Produkte und nicht nur von Bestand- teilen umfassen.

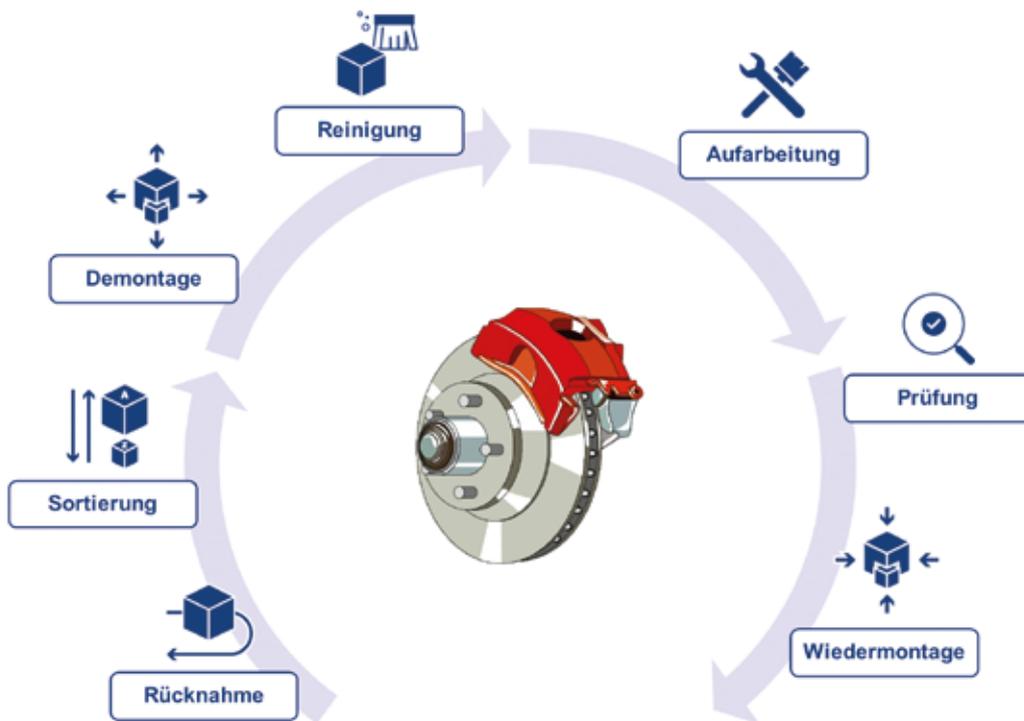


Abbildung 5: Ablauf des Remanufacturing Prozess von EconX® -Produkten in Anlehnung an [22]

5.2 Werkzeugmaschine (Retrofit)

Der Retrofit von Werkzeugmaschinen hat zum Ziel, dass Maschinen modernisiert und die Anlagen weiter ausgebaut werden, um sie auf diese Weise auf den neusten Stand der Technik aufzurüsten. Dafür müssen unter anderem veraltete Baugruppen ausgetauscht werden sowie die Installation von modernster Software vorgenommen werden, um die Lebensdauer und Leistungsfähigkeit der Maschine zu verbessern. Die grundsätzliche Funktionsweise und die solide, robuste Bauweise werden dabei vorzugsweise erhalten, da meist zwar Steuerung und einzelne mechanische Verschleißkomponenten schnell veralten, aber der Großteil der Mechanik über einen wesentlich längeren Zeitraum ihren Zweck erfüllen kann. Insgesamt kann die Modernisierung dabei vom reinen Ersetzen mechanischer Verschleißkomponenten wie Lagern oder Antriebskomponenten über das Hinzufügen neuer Funktionsmerkmale wie der Integration von Kraftmesssystemen mit adaptiver Steuerung bis hin zum Anbau von Sensoren für IoT-Anwendungen (Abbildung 6) reichen. Die Aufrüstung erfolgt in der Regel dezentral und individuell

beim jeweiligen Kunden und hat eher Manufakturcharakter. Alternativ werden Werkzeugmaschinen nach gewissen Nutzungszeiten vom Hersteller zurückgenommen und für eine weitere Nutzung ertüchtigt. Dies erfolgt meist für einen niedrigerwertigen Gebrauchtmärkte. Durch einen ganzheitlichen Update-Ansatz könnten standardisierte und industrielle Prozesse geschaffen werden, bei denen höherwertige Produkte als Output vorgesehen sind. Dadurch könnten mittlere bis große Stückzahlen für den Erstmarkt möglich werden.

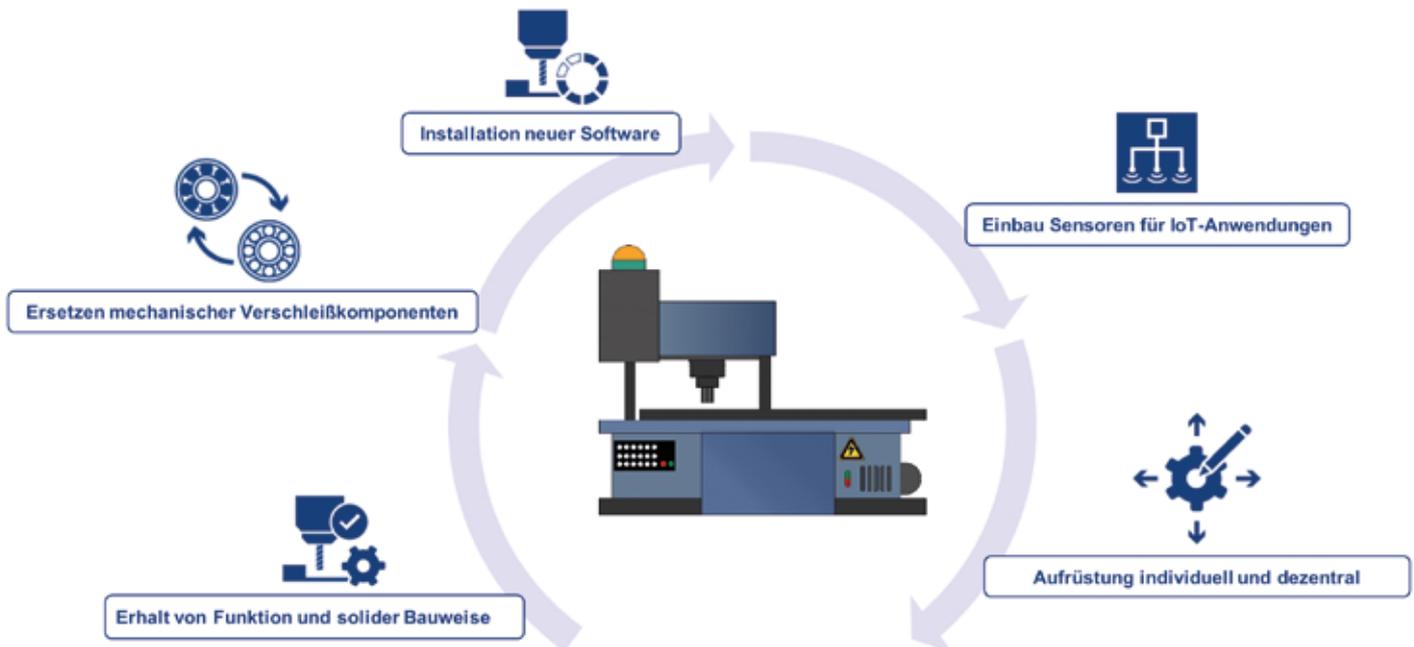


Abbildung 6: Retrofit von Werkzeugmaschinen bspw. durch den Anbau von Sensoren für IoT-Anwendungen

5.3 Automobilindustrie (Tuning/Software-Update)

Für Automobile gibt es bereits verschiedenste Upgrades nach dem Kauf, die die Leistungsfähigkeit steigern sollen. Dafür erfolgt ein Nach- oder Umrüsten des Fahrzeugs nach den individuellen Wünschen und Vorstellungen des Kunden. Die Leistungssteigerung kann dabei an der Soft- oder Hardware oder einer Kombination aus beidem vorgenommen werden. Durch ein Software-Update können beispielsweise verbesserte Schaltzeiten, verbesserte Traktion beim Schalten unter Last oder eine Anpassung der Regelgrenzen erreicht werden. Ein Beispiel für eine hardwareseitige Nachrüstung ist der Einbau einer Rückfahrkamera. Für die zusätzlichen Funktionen muss das Fahrzeug allerdings die entsprechenden Voraussetzungen mitbringen. Es erfolgt somit ein individuelles Tuning je nach Fahrzeugtyp. Das Konzept schließt die Möglichkeit ein, nach dem Kauf des Produktes Leistungsverbesserungen durchzuführen, um das Produkt nach den individuellen Bedürfnissen aufzuwerten. In der Regel wird das Tuning in einer Werkstatt- bzw. Manufakturumgebung durchgeführt und nicht auf industriellem Maßstab. Einige

Automobilhersteller, wie bspw. Tesla, führen bereits in regelmäßigen Abständen Software-Updates durch, um neue Merkmale einzurichten und bestehende Funktionen zu verbessern (Abbildung 7). Sobald ein neues Update verfügbar ist, erhält der Nutzer eine Nachricht und kann dann selbst entscheiden, ob er dieses sofort einrichten möchte oder zu einem späteren Zeitpunkt. Auf diese Weise kann das Produkt softwareseitig kontinuierlich auf den neusten Stand gebracht werden. Auch beim ID.3 von Volkswagen wurde stufenweise geupdatet, was allerdings auf unvollständiger Softwarefunktionalität bei Serienstart zurückzuführen war. Für eine Aktualisierung müssen die Kunden dafür in die Werkstatt. Durch ein industrielles Update des Gesamtfahrzeugs, was sowohl die Soft- als auch die Hardware beinhaltet, könnten eine Erweiterung des Potenzials zur Lebensdauersteigerung erfolgen und kontinuierliche Verbesserungen hinsichtlich Sicherheit, Leistungsvermögen und Anmutung durchgeführt werden.

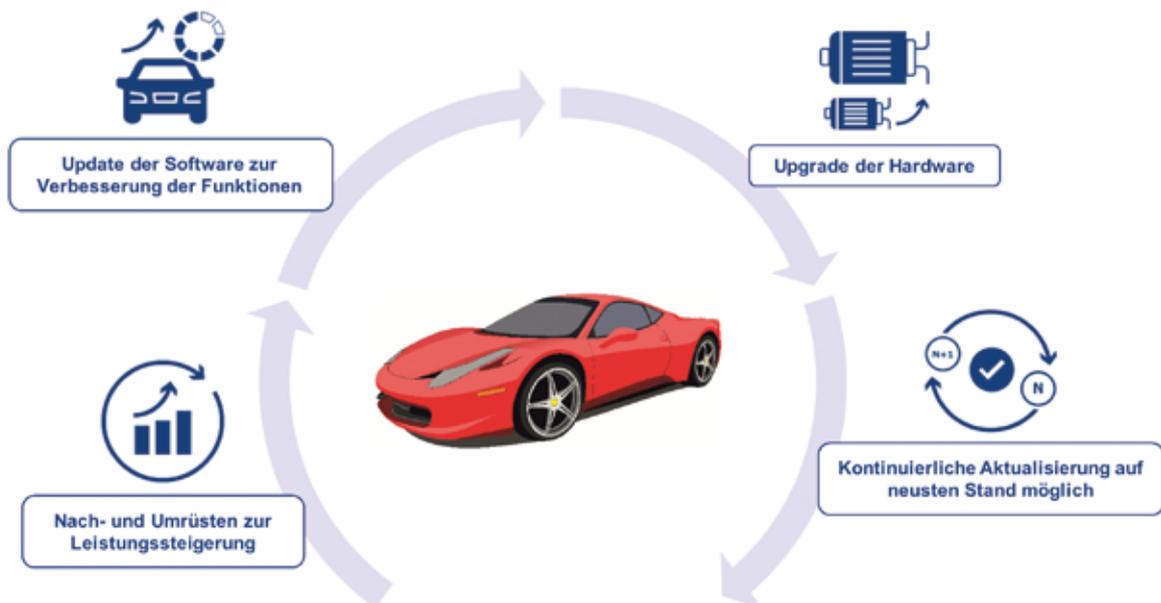


Abbildung 7: Kontinuierliches Software-Update für Automobile

5.4 Verbraucherelektronik (Refurbishing/kontinuierliches Update)

Im Smartphonebereich wird bereits die Generalüberholung alter Geräte genutzt, um dadurch die Nutzungsdauer des Produktes zu verlängern. Auf diese Weise können bekannte Markengeräte günstiger und trotzdem mit hoher Qualität und Garantie erworben werden. Das wird beim Kunden positiv angenommen. Durch eine geeignete Update-Strategie könnte das Potenzial weiter ausgereizt werden und nicht nur eine reine Reparatur erfolgen.

Erste Ansätze, wie die Smart Phones Fairphone, Shift Phone und Phonebloks, sollen die Nachhaltigkeit und faire Arbeitsbedingungen auch in der Elektronikindustrie in den Mittelpunkt rücken. Die Produkte besitzen eine längere Lebensdauer als vergleichbare Smartphones, da schon in der Entwicklung die Modularität und eine einfache Reparierbarkeit berücksichtigt werden (Abbildung 8). Zu den modularisierten Kompo-

nenten gehören dabei unter anderem das Display, die Kamera, das Lautsprechermodul und der Akku. Mit der Wiederverwertung und Reparatur der Mobiltelefone, die mithilfe von Selbstbaukits erfolgen kann, unterstützen die Hersteller dieser Smartphones das Recycling und die Kreislaufwirtschaft in der Elektronikindustrie. Potenzial bietet auch hier eine Erweiterung, in der die ausgetauschten Komponenten aufgearbeitet, aufgewertet und einer weiteren Nutzung zugeführt würden. Dies würde durch eine industrielle Planung und Ausführung des Updates erleichtert.

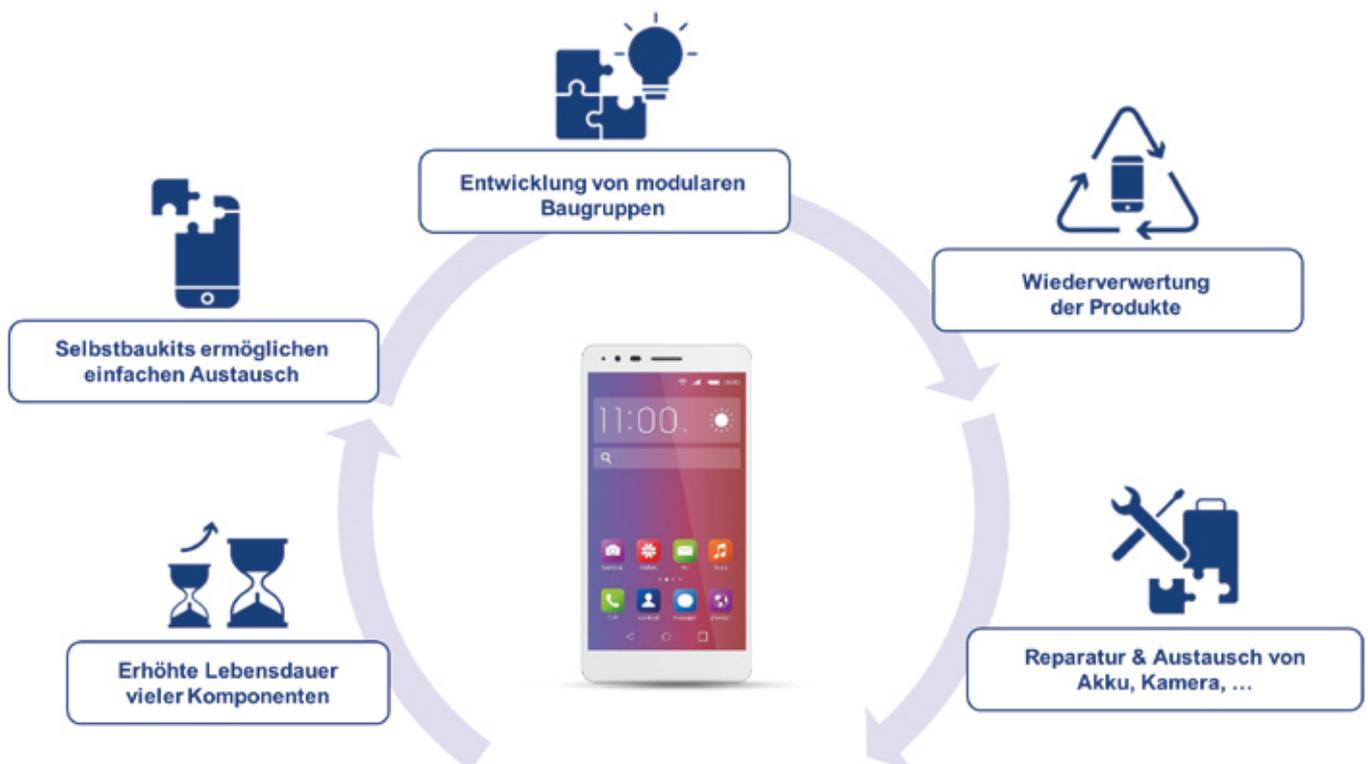


Abbildung 8: Generalüberholung von handelsüblichen Smartphones durch Komponentenaustausch

5.5 Generationenentwicklung (Bahn)

Züge sind extrem langlebige Produkte, die in kleinen bis mittleren Stückzahlen hergestellt werden und deren Zulassung umfangreiche sicherheitstechnische Prüfungen und Nachweise umfasst. Die Lebensdauer von Schienenfahrzeugen beträgt bis zu 30 Jahren. Sowohl das Wartungs- und Instandhaltungskonzept (Wartungsintervalle, Werkstattstützpunkte, Personalqualifikation) als auch die Gestaltung des Innenraums (Sitzplatzanzahl und -anordnung, sonstige Ausstattung wie WCs oder Mehrzweckräume) müssen spezifisch an den jeweiligen Bahnbetreiber und das Streckennetz angepasst werden. Gleichzeitig werden Verkehrsverträge für Betreiber in der Regel lediglich über 10 Jahre abgeschlossen. Die Anpassbarkeit von bestehenden Schienenfahrzeugen sowohl an neue Nutzungsanforderungen als auch an aktuelle technische Gegebenheiten im Rahmen der sogenannten Generationenentwicklung ist somit unabdingbar. Darüber hinaus muss über die gesamte Lebensdauer die Ersatzteilbeschaffung sichergestellt und die Erfüllung vieler aktueller Normen und Standards durch den Hersteller gewährleistet werden.

Aufgrund der genannten Rahmenbedingungen basiert die Entwicklung von Schienenfahrzeugen zu einem großen Anteil auf „proven design“, Innovationen werden eher modulweise an Teilsystemen eingeführt, um das Risiko sowohl für Hersteller und dessen Zulieferer als auch für den Betreiber als Kunden gering zu halten. In einem mehrstufigen Roadmapping Prozess werden Entwicklungsstufen des Gesamtfahrzeugs, wesentlicher Teilsysteme der Hauptlieferanten sowie firmeninterne Standards langfristig festgelegt und nachverfolgt. Dies erfordert schon heute eine enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Lieferanten sowie eine transparente und einheitliche Gestaltung von Modulen und Schnittstellen. Damit besteht aus technischer Sicht eine hohe Kohärenz in der Zielstellung zur Update-Strategie. Auf der Grundlage eines Geschäftsmodells, das für alle Beteiligten gleichermaßen Vorteile bietet, wären die Voraussetzungen geschaffen für eine gemeinsame methodische Suche aller Stakeholder nach zukünftigen Innovationen sowie der Standardisierung von Schnittstellen (Abbildung 9).

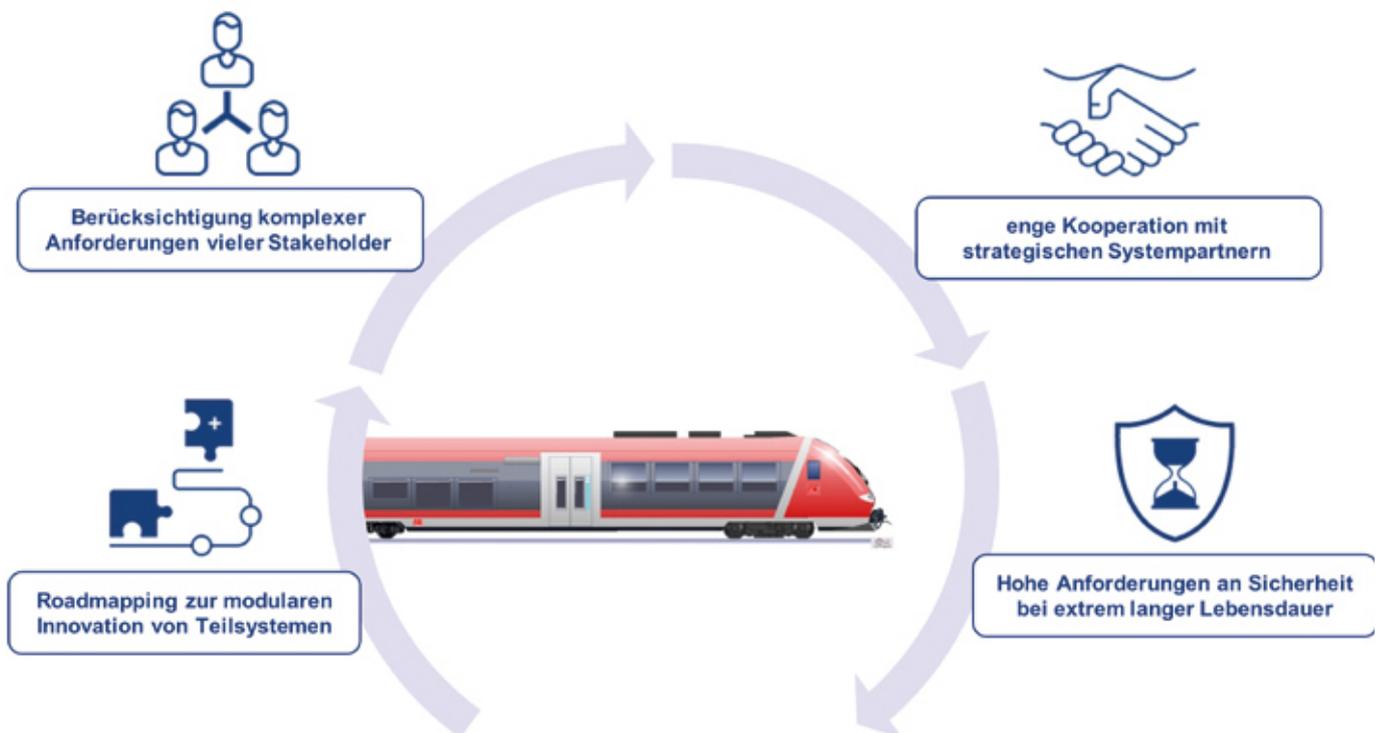


Abbildung 9: Restriktionen und konkurrierende Zielsetzungen in der Bahntechnik

5.6 E-Cargobikes

Das Verkehrsaufkommen für Individualmobilität und Warendisposition steigt stetig an und verursacht erhebliche klimaschädliche Emissionen. Geringere Umweltwirkungen pro Fahrkilometer elektrisch unterstützter Fahrräder und Lastenräder (E-Cargobikes) prädestiniert diese als Alternative zu PKW und Kleintransportern. Dem vergleichsweise geringen Ressourceneinsatz während der Nutzungsphase stehen jedoch fehlende Lösungsansätze für die Weiternutzung ressourcenintensiver Komponenten wie bspw. der Batterien und die Verwertung des gesamten Fahrrades gegenüber.

Das Verbundprojekt LifeCycling² im Rahmen des bmbf-Programms ReziProK zielt vor dem Hintergrund der zunehmenden Verbreitung von E-Cargobikes auf die Verbesserung ihrer Ressourceneffizienz ab [23]. Neben der Optimierung der Nutzungsintensität durch Sharing-Lösungen werden durch Produkt-Updates und Upgrades einerseits Konzepte zur Verlängerung der Nutzungsdauer erarbeitet. Andererseits werden

Maßnahmen zur lebenszyklusorientierten Gestaltung von E-Cargobikes und Methoden für die Festlegung von Lebenszyklusstrategien (z.B. Second Life-Strategien für ausgewählte Komponenten) entwickelt sowie organisatorische Maßnahmen für die gezielte Rück- und Kreislaufführung von Komponenten untersucht. Neben der Entwicklung eines rekonfigurierbaren E-Cargobikes werden u.a. Informationsdienste wie eine App entworfen und realisiert, die bspw. der Zustandsüberwachung dienen. Besonderer Fokus wird auf mögliche Use Cases der Batterie im Voraus oder im Nachgang an den Einsatz im E-Cargobike gelegt. So wird eine Kreislaufführung auf Produkt-, Komponenten- und Materialebene angestrebt. Hierfür erforderliche Prozesse (z.B. Refurbishing, Rekonfiguration, Umkonfektionierung) für die gezielte Überführung von E-Cargobikes und ausgewählten Komponenten in eine Zweitnutzungsphase werden vorbereitet und in die umgebenden Geschäftsmodelle eingebunden (Abbildung 10).

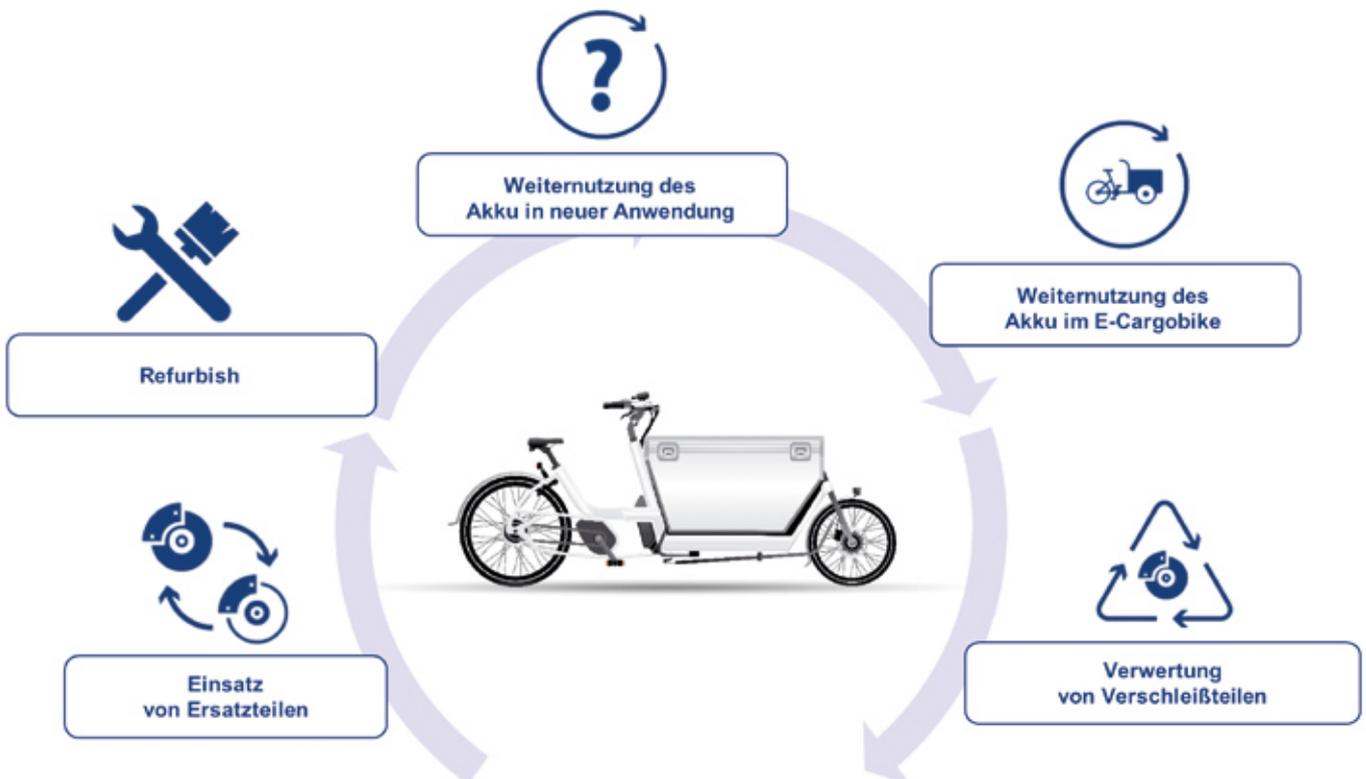


Abbildung 10: Steigerung der lebenszyklusübergreifenden Ressourceneffizienz durch technische und organisatorische Maßnahmen zur Nutzung, Umnutzung und Weiternutzung und Verwertung auf System-, Komponenten- und Materialebene

5.7 Windenergieanlagen

Windenergieanlagen sind Investitionsgüter zur Energiegewinnung mit hohen Investitionskosten und niedrigen bis mittleren Stückzahlen. Ihre Entwicklung ist stark auf die Optimierung des Energieertrags der Anlage ausgerichtet, damit innerhalb eines Lebenszyklus angesichts der erheblichen Investitionskosten ausreichend Gewinn erwirtschaftet werden kann. Windenergieanlagen weisen heute eine Lebensdauer von ca. 25 Jahren auf. Innerhalb dieser 25 Jahre unterliegen Windenergieanlagen teilweise heterogenen Betreibermodellen und Betriebskonzepten, wobei über die volle Betriebsdauer Ersatzteile bereitgestellt und Komponenten mit Verschleißerscheinungen ausgetauscht werden müssen. Der Rückbau von Windenergieanlagen ist bezogen auf den Lebenszyklus ein erheblicher Kostenfaktor und belastet aufgrund der teils eingeschränkten Recyclingfähigkeit der Großkomponenten die Nachhaltigkeit von Windenergieanlagen. In heutigen Ausschreibungen herrscht ein massiver Druck in Bezug auf Energieerzeugungskosten. Hersteller reagieren hierauf mit zunehmend größeren und effizienteren Anlagen. Für dieses Wachstum gibt es jedoch technologische Grenzen.

Ziel der Anwendung einer Update-Strategie kann einerseits eine Effizienzsteigerung von Bestandsanlagen im Rahmen von Wartungsarbeiten in ihrem Lebenszyklus sowie eine Verlängerung des Lebenszyklus von Komponenten der Windenergieanlagen sein. Dadurch besteht das Potential, die zunehmend ausgereizte Lebensdauer einer Windenergieanlage durch eine geeignete Update-Strategie zu erweitern (Abbildung 11).

Als abschließendes Fazit lässt sich festhalten, dass es bislang kein durchgängiges, einfach auf andere Produkte übertragbares Konzept einer Update-Factory für eine allgemeine Anwendung in der Kreislaufwirtschaft gibt. Die hier vorgesehene Verschränkung von Aspekten der Produktentwicklung und der Produktion ist ein in allen Beispielen fehlendes Feature. Im Rahmen der Entwicklung der Update-Factory soll daher das Potential des Mehrwerts dieses Ansatzes durch die holistische Herangehensweise in den genannten Disziplinen aufgezeigt und exemplarisch gehoben werden.

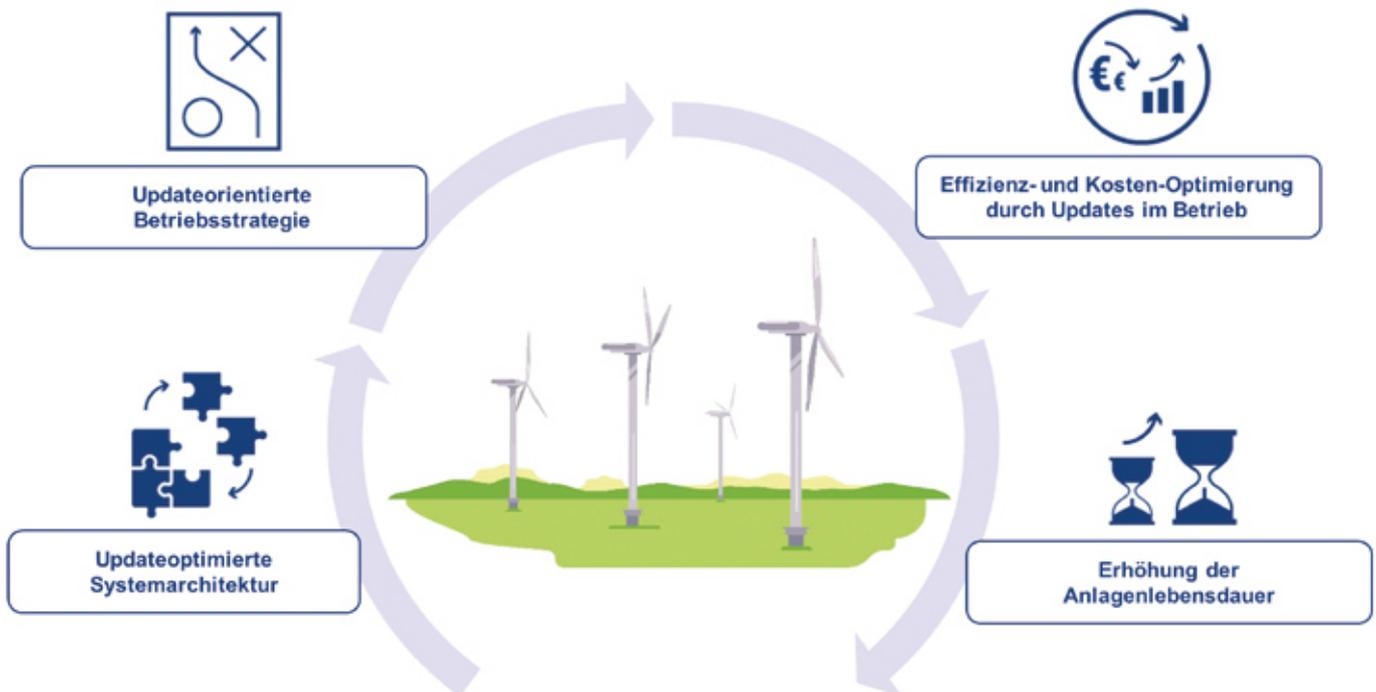


Abbildung 11: Umsetzung einer Update-Strategie für Windenergieanlagen zur Optimierung von Effizienz, Kosten und Anlagenlebensdauer

6. Thesen

Die aufgezeigten Beispiele illustrieren die Update-Factory als Lösungskonzept für die Herausforderungen des EU Green Deals. Für eine erfolgreiche Umsetzung sollen Prämissen in Form von Thesen formuliert werden, die der Vielschichtigkeit der Herausforderungen gerecht werden. Gleichzeitig lassen sich aus diesen Thesen die erforderlichen Forschungsbedarfe für die Entwicklung der Update-Factory ableiten, die dann im nachfolgenden Kapitel herausgearbeitet werden und in Summe das Potential des Ansatzes aufzeigen.

6.1 Thesen zu Nachhaltigkeit/Ressourceneffizienz

These 1

Die Update-Factory ist die wichtige Weiterentwicklung für die Einhaltung der Klima- und Nachhaltigkeitsziele hinsichtlich der Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Das in den Nachhaltigkeitszielen der Vereinten Nationen enthaltene Teilziel 12 zielt auf die Sicherstellung von nachhaltigem Konsum und Produktion und damit auf die Erhaltung natürlicher Ressourcen ab. Darüber hinaus ist ein Ziel des European Green Deal der Europäischen Union, das Wirtschaftswachstum in Europa langfristig von der Ressourcennutzung durch einen Übergang zu einer kreislauforientierten Wirtschaft zu entkoppeln. Die Update-Factory ist mit der Wieder- und Weiterverwendung von Produkten, Teilsystemen, Komponenten und Materialien ein wichtiger Schritt in Richtung der Einhaltung dieser Ziele und trägt somit unmittelbar zu deren Erreichung bei. Eine durchgängige und integrierte Auslegung und Bewertung der Update-Factory im Sinne der drei Dimensionen der sozialen, ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit sowie die Anwendung von Konzepten der absoluten Nachhaltigkeit werden den Beitrag der Update-Factory quantifizieren können.

These 2

Die Update-Factory trägt durch längere Nutzungsdauer des Produkts und insbesondere seiner Teilsysteme, Komponenten und Materialien nachweislich zur Ressourceneffizienz bei.

Die kaskadenartige Aufwertung und Nutzung von Produkten über mehrere Innovations- und Technologiezyklen hinweg eliminiert die Obsoleszenz ebendieser Produkte. Dadurch wird die Nutzungsdauer verlängert, da Produkte sowie enthaltene Teilsysteme, Komponenten und Materialien ressourceneffizient wieder- und weiterverwendet werden. Jedes Produkt, welches die Update-Factory verlässt, weist dabei einen individuellen Aufarbeitungsgrad auf. Der sich für die initiale Herstellung update-fähiger Produkte ergebende zusätzliche Primäraufwand in Ressourceneinsatz und Wirtschaftlichkeit kann durch die verlängerte Lebensdauer mehr als kompensiert werden. Entsprechend erweiterte Life Cycle Assessment Modelle quantifizieren diese These. Hierzu werden neue Methoden notwendig sein, um den ökologischen Mehrwert

in heutzutage gängige Bewertungs- und Entscheidungsunterstützungssysteme zu integrieren und eine objektive Betrachtung zu ermöglichen.

These 3

Die Update-Factory treibt die sortenreine und verschwendungsarme Wiederverwendung von kritischen Rohstoffen voran.

Moderne Produkte bestehen aus einem ausgeprägten Mix an Werkstoffen. Insbesondere für die Erreichung hoher Funktionsdichten sind Werkstoffe, die in Deutschland hinsichtlich der Versorgungslage als kritisch eingestuft werden, in erheblichem Umfang erforderlich. Zu dieser Gruppe zählen beispielsweise Seltene Erden, deren Gewinnung stark lokalisiert in politisch schwer einzuschätzenden Volkswirtschaften erfolgt. Global verteilte Update-Factories ermöglichen durch den agglomerierten Austausch von Komponenten wirtschaftlich vorteilhafte Automatisierungslösungen für die Werkstofftrennung und die damit verbundene Nutzung von economy of scale Effekten beim Materialrecycling ohne downgrade auf lokaler Ebene.

6.2 Thesen zum Produkt

These 4

Update-fähige Produkte erlauben es dem Nutzer und dem Anbieter, durch Update-Technologien einen ökonomischen und ökologischen Mehrwert zu erzielen.

Das Update eines Bestandsprodukts ist günstiger als der Kauf eines neuen Produkts. Hieraus resultieren Kosten- und Zeitersparnisse. update-fähige Produkte erlauben den gezielten Einkauf von Funktionen, so dass nicht benötigte Funktionen nicht mitbezahlt werden müssen. Durch das Update im Rahmen der Lebensdauer ist eine Aufwertung des Produkts in Bezug auf seine Funktion möglich, wobei der gewohnte Umgang mit dem Produkt erhalten bleibt.

Deutsche Unternehmen werden sich aufgrund ihrer Kostenstruktur auch zukünftig nur durch Technologieführerschaft, Premiumqualität und Service-Angebote mit hohem Kundennutzen behaupten können. Kurzlebigkeit von Produkten ist in diesem Sinne kontraproduktiv. Die Update-Fähigkeit von Produkten macht diese langlebiger und damit nachhaltiger, da technologische Innovationen nachträglich Einzug in ein Produkt halten können. Hochwertige Service-Angebote (und PSS) erfordern qualitativ und technologisch hochwertige Produkte, um diese mit möglichst geringem ökonomischem Risiko anbieten zu können. Die Wertschöpfung verschiebt sich primär von der Herstellung von Neuprodukten hin zu industriell angebotenen Produkt- und Serviceangeboten mit größerem Wertschöpfungspotential, beispielsweise aufgrund von sinkenden kapitalmarktgetriebenen Rohstoffpreisen oder höheren Produktupdatezykluszahlen.

These 5

Die Update-Factory ist durch regionale Angebote auch im globalen Markt wirtschaftlich umsetzbar.

Eine räumliche Nähe der Update-Factories zum Nutzer birgt sowohl ökonomische als auch ökologische Vorteile. Zum einen können Nutzerwünsche auf regionaler Ebene schneller berücksichtigt und erfüllt werden als auf globaler Ebene, wodurch die Akzeptanz von Update-Produkten gesteigert wird. Zum anderen können sich die lokalen Anbieter besser auf die lokaltypischen Anforderungen und Gegebenheiten einstellen und ihre Update-Produkte dahingehend anpassen. Auch ist das Vertrauen in regionale Produkte oftmals größer, da einerseits eine bessere Nachverfolgbarkeit der gesamten Kreislaufführung möglich und andererseits ein gewisses Maß an nutzerseitiger Affinität zu regionalen Anbietern vorhanden ist. Aufgrund dieser ökonomischen Vorteile versprechen Konzepte von Update-Factories auch in Hochlohnländern wie Deutschland einen rentablen Betrieb, was weitere ökologische Vorteile mit sich bringt. In solchen Hochlohnländern wird oft vergleichsweise stark auf eine umwelt- und klimafreundliche Produktion geachtet, die entweder von regulatorischen Vorgaben oder durch Selbstverpflichtung der Unternehmen getrieben ist. Durch eine Ansiedelung von Update-Factories in solchen Ländern können somit global betrachtet die Umweltauswirkungen minimiert werden. Zudem können bei einer lokalen oder regionalen Kreislaufwirtschaft aufgrund der kurzen Distanzen zwischen den jeweiligen Standorten die Transporte in Anzahl und Strecke reduziert und dadurch Umweltbelastungen vermieden werden. Neben den beschriebenen regionalen Update-Factories kann bei großen, schweren oder kaum mobilen Produkten auch eine mobile Fabrik in Betracht gezogen werden, die das Update mit industriellen Methoden auch vor Ort beim Nutzer durchführen kann. Gegenüber bisherigen Wartungs- und Instandhaltungskonzepten zeichnet sich die mobile Update-Factory durch die mit industriellen Ansätzen geplanten Aufwertungen der Produkte aus.

6.3 Thesen zu Produktentwicklung und Produktion

These 6

Die Update-Factory ermöglicht technologischen Fortschritt auch unter Einhaltung ökologischer Ziele für die Produktentwicklung und die Produktion.

Technologischer Fortschritt in der Produktion im Sinne der quantitativen Verbesserung des Input-Output-Verhältnisses bzw. in der Produktentwicklung im Sinne qualitativer Verbesserungen der Produkte erreicht die Update-Factory mithilfe ihres inhärenten Charakters. Durch die Wiederverwendung von Produkten, Teilsystemen, Komponenten und Materialien wird eine Reduktion des Primärinputs bei gleichem oder sogar höherwertigem Output erreicht, während gleichzeitig die techno-

logische Aufwertung der Produkte sichergestellt wird. Dieser technologische Fortschritt wird mittels zu entwickelnder, flexibler und skalierbarer Maschinen und Anlagen, intelligenter und sich autonom steuernder Produktionssysteme sowie update-fähiger Produkte in der Update-Factory unter Einhaltung ökonomischer und ökologischer Ziele ermöglicht.

These 7

Eine Produktarchitektur kann so gestaltet werden, dass sie künftige, noch unbekannt funktionale Updates ermöglicht.

Wenn Produkte für die Update-Factory von Grund auf neu entwickelt werden, sind innovative Methoden zur funktionsorientierten und modellbasierten Beschreibung der Produkte notwendig. Eine geeignete Produktarchitektur ist im Wesentlichen dadurch gekennzeichnet, dass ein funktionales Update zu einem späteren Zeitpunkt möglich ist. Gleichzeitig muss sie im Hinblick auf die Nachhaltigkeit über mehrere Lebenszyklen so angelegt sein, dass eine wirtschaftliche und zerstörungsfreie Montage und Demontage erfolgen kann.

These 8

Durch die Entwicklung und Etablierung von update-fähigen Produkten kann die Sicherheit und Zuverlässigkeit von technischen Systemen im Markt gesteigert werden.

Die Verwendung von update-gerecht gestalteten Bauteilen über mehrere Produktlebenszyklen erlaubt eine systematische Überwachung des Bauteilzustandes durch die Integration von Condition Monitoring-Technologien bis nahe ans Lebensende des Bauteils. Die Informationen aus dem Condition Monitoring können im Rahmen des Updates von Produkten durch Informationen einer Befundung der Rückläuferbauteile sinnvoll ergänzt und validiert werden. Durch den Rückfluss von erweiterten Condition Monitoring Informationen wie beispielsweise Lasthistorien in den Entwicklungsprozess können Modelle in der Auslegung von technischen Produkten überprüft und Unsicherheiten aufgrund von Annahmen etc. kontinuierlich ausgeräumt werden. Auf Basis der Modelle können dann zustandsbasiert Empfehlungen zum Update gegeben werden. Durch die engmaschige Überwachung des Zustands von Bauteilen mit Hilfe von Condition Monitoring entstehen Smart Products, die die Notwendigkeit von Updates vor Erreichen des Lebensdauer-Endes von Bauteilen ankündigen. Dadurch resultiert ein deutlicher Sicherheitsgewinn im Vergleich zu konventionellen Bauteilen.

These 9

Update-Prozesse sind durch die Update-Factory sowohl ökonomisch als auch ökologisch möglich.

Der individuelle Aufbereitungsgrad eines jeden, die Update-Factory verlassenden Produkts wird durch flexible, automatisierbare und ska-

lierbare Update-Prozesse in der Fabrik selbst sowie darüber hinaus in der Logistik ermöglicht. Die ökonomische Vorteilhaftigkeit der Update-Factories weltweit wird mittels entsprechender Standortwahl, einer effizienten Gestaltung der Prozesse und einem verminderten Primäreinsatz an Ressourcen begünstigt. Die ökologische Vorteilhaftigkeit wird mittels Life Cycle Assessment-Methoden sowie einer objektiven Nachhaltigkeitsbewertung analysiert und dahingehend ausgelegt, dass diese ebenfalls sichergestellt ist.

These 10

Die Update-Factory sichert Wertschöpfung und Arbeitsplätze.

Von zentraler Bedeutung ist der Standort der Update-Factories, der für jedes Update-Produkt individuell zu bestimmen ist. Hier gilt es, die erforderliche Nähe zum Nutzer zu bewerten und in die Standortentscheidung mit einzubeziehen. Dabei scheint zunächst die Etablierung einer lokalen oder regionalen Kreislaufwirtschaft vorteilhafter gegenüber einer globalen Kreislaufführung.

Die rückgeführten Produkte sind aufgrund unterschiedlicher Nutzungsmuster hochgradig individuell. Dies erfordert einen hohen Grad an Flexibilität bzgl. der Handhabung und Verarbeitung solcher Produkte. Hier erscheint der Mensch mit seinen kognitiven Fähigkeiten als essentieller Bestandteil, um diese Flexibilität in Update-Factories sicherzustellen. Hiermit gehen erhöhte Anforderungen an die Qualifikation der Mitarbeitenden einher, weshalb sich insbesondere Ländern mit gut ausgebildeten Fachkräften ein entscheidender Standortvorteil und das Potenzial zur Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen bieten. Zudem erhöht eine nationale Kreislaufwirtschaft die Rohstoffversorgungssicherheit und senkt die Abhängigkeit von Zulieferländern. Außerdem unterstützen kreislauforientierte Geschäftsmodelle und die damit verbundene Integration von Update-Prozessen die Sicherstellung der Auslastung einer Fabrik. Auf gesamtwirtschaftlicher Ebene betrachtet kann die Etablierung der Kreislaufwirtschaft somit insgesamt konjunktursteigernd wirken und zudem weltweit die lokale Wirtschaft stärken.

6.4 Thesen zu Geschäftsmodellen und Digitalisierung

These 11

Für die Update-Factory gibt es erfolgreiche Geschäftsmodelle im Sinne unseres wirtschaftlichen Systems.

Bereits heute gibt es einige etablierte und erfolgreiche Geschäftsmodelle der Kreislaufwirtschaft, die bspw. durch Miet- und Dienstleistungsmodelle langlebige und reparaturfähige Produkte verbreiten. Diese befinden sich jedoch häufig noch in Nischenbereichen, können aber zukünftig auf eine Vielzahl an Branchen übertragen werden. Für verkaufs-

orientierte Geschäftsmodelle insbesondere im Konsumgüterbereich mit Massenfertigung scheint eine Kreislaufführung zunächst kaum ökonomische Vorteile aufzuweisen. Hier kann eine politisch induzierte Wechselwährung als Bestandteil des European Green Deal zwischen update-fähigen Produkten und Produkten mit linearem Lebenszyklus wie beispielsweise eine Gutschrift an eingesparten indirekten CO₂-Äquivalenten, die im europäischen Emissionshandelssystem eingebettet ist, die Wirtschaftlichkeit sicherstellen. Ist unternehmensinternes Updaten nicht möglich, können auch Kooperationen mit unternehmensexternen Update-Factories Vorteile bieten.

Die Herausforderungen für Geschäftsmodelle der Update-Factory bestehen primär aus technologischen Hürden, wie der Gestaltung von Produktions- und Wiederaufbereitungsprozessen, operativen Hürden, wie der Implementierung von Strukturen in und zwischen Unternehmen sowie finanziellen Hürden, wie hohen Investitions- und Betriebskosten, die es in Zukunft zu überwinden gilt. Digitale Lösungen können durch das Eröffnen neuer Wege und Umsetzungsstrategien die Implementierung und den Erfolg von kreislauforientierten Geschäftsmodellen unterstützen. Jedoch ist die Digitalisierung als alleiniger Treiber nicht ausreichend. Damit geeignete Geschäftsmodelle für die Update-Factory sich dauerhaft etablieren, ist daher das Berücksichtigen aller ReSOLVE-Hebel [24] der Kreislaufführung erforderlich. Diese umfassen die Nutzung erneuerbarer Ressourcen und deren Einbindung in biologische Kreisläufe (Re), die intensive Nutzung von Ressourcen durch Vermeidung, Wiederverwertung und Langlebigkeit (SOL) sowie das Einsetzen digitaler und ressourcenschonender Alternativen (VE).

These 12

Die Update-Factory unterstützt bei der Digitalisierung der Gesellschaft.

Update-Fähigkeit von Produkten bedeutet auch, dass übergreifend über alle Lebenszyklusphasen alle benötigten Informationen über das Produkt, dessen Produktion und insbesondere dessen Verwendung/Nutzung (inklusive Maintenance, Repair, Overhaul) sowohl auf Systemebene als auch auf Komponentenebene zur Verfügung stehen. Dies ist nur mit durchgängig digitalisierten Prozessen und unter Anwendung von Digitalen Zwillingen-Konzepten möglich. Die benötigten Informationen betreffen insbesondere die technische Dokumentation des Produktes selbst, aller für die Produktionsplanung und -steuerung relevanten Informationen, relevanter Größen und Zeitreihendaten aus der Betriebsphase sowie eine durchgängige Nachverfolgbarkeit von Produkt- und Serviceleistungen hinsichtlich Konfiguration, Zertifizierung und Gewährleistung.

7. Forschungsbedarfe

In den vorstehenden Thesen wurden Bedingungen formuliert, die für eine erfolgreiche Umsetzung der Update-Factory gegeben sein müssen. Diese können auf Grundlage des aktuellen Technik- und Wissenstands nicht erfüllt werden. Aus diesem Grund zeichnet sich ein entsprechender Forschungsbedarf ab, auf den im Folgenden eingegangen werden soll.

7.1 Forschungsbedarfe in Produktentwicklung und Nutzungsphase

Aktuelle Produkte schränken die Potentiale einer Update-Factory ein, da Bauteile nach Lebensdauerende aufgrund von funktionalen oder physischen Wechselwirkungen kaum wirtschaftlich ausgetauscht werden können, oder das Produkt den Belastungen über mehrere Lebenszyklen nicht standhält. Die Integration neuer Funktionalitäten muss durch eine Berücksichtigung in der Systemarchitektur und eine geeignete Schnittstellendefinition antizipiert und sichergestellt werden. Daher sollte die Update-Fähigkeit bereits in der initialen Produktentwicklung, bspw. durch innovative Methoden zur funktionsorientierten und modellbasierten Beschreibungen der Produkte, sichergestellt werden, die heute unter diesem Gesichtspunkt weitestgehend fehlen.

Das im Rahmen der Anforderungsermittlung aufgebaute Zielsystem muss durch umfassende Kompetenzen in den Bereichen Szenario-Management sowie Innovations- und Technologievorschau für sämtliche Lebenszyklen des Update-Produkts erstellt werden. Für die Identifikation von update-fähigen Produkten fehlt ein Kriterienkatalog, anhand dessen die Update-Eignung bewertet werden kann. Weiterhin fehlen Methoden wie beispielsweise entsprechend weiterentwickelte Modularisierungsmethoden, welche die nachhaltigkeitsgetriebene Erarbeitung von physisch und funktional modularen, wirtschaftlich demontierbaren Produktarchitekturen unterstützen. Während die Eignung zum Update bei informationstechnischen Systemen bereits gegeben ist, liegt beim Update von Hardware noch enormer Forschungsbedarf vor.

Dementsprechend müssen zukunftsrobuste Schnittstellen und Architekturstandards geschaffen werden, die ein Kompatibilitätsmanagement über mehrere Update-Zyklen ermöglichen. Auch die Validierung von update-fähigen Produkten muss auf mehrere Lebenszyklen erweitert werden. Hierzu sind Technologien des Condition Monitorings in die Produktstruktur zu integrieren, die eine Überwachung des Produktzustands und seiner Nutzungs- und Belastungshistorie ermöglicht. Zur Gewährung einer Produkthaftung müssen zudem neue Standards und Richtlinien zur erweiterten Nachweisführung erarbeitet werden. Die Klärung dieser Forschungsbedarfe in Bezug auf die Produktoptimierung und -haftung ist Grundlage für die Verwertung der Potentiale der Update-Factory in der industriellen Anwendung.

7.2 Forschungsbedarfe in der Produktion

Das Konzept der Update-Factory impliziert wesentliche Forschungsbedarfe im Bereich der Produktion, insbesondere hinsichtlich der Nutzung neuer Fertigungstechnologien, der Konzeption agiler Produktionsanlagen für die De- und Remontage sowie autonomer und agiler Produktionssysteme.

Die Befähigung von Technologien zur Sicherstellung der Materialweibernutzung stellt dabei die Grundlage der Update-Factory dar. Hierzu zählen auch neue Fertigungstechnologien wie bspw. Fügetechniken für eine effiziente Re- und Demontage sowie geeignete Technologien zur schnellen, voll digitalisierten Bauteilfertigung. Auch die Weiterentwicklung bestehender Technologien, z. B. die hybride additive Fertigung für den Anbau an bestehende Strukturen ohne Schnittstellen wird zunehmend relevant.

Diese Technologien müssen in digitale Prozessketten bzw. Produktionsanlagen integriert werden. Insbesondere hochflexible, agile und modular aufgebaute Anlagen für die De- und Remontage werden entscheidend zum Erfolg der Update-Factory beitragen. Dadurch können Produkte basierend auf den aus der Nutzungsphase ermittelten Informationen sowie implizitem und explizitem Produktwissen unter Beihilfe von künstlicher Intelligenz vollautomatisch befundet sowie de- und remontiert werden. Die konsequente Umsetzung des Paradigmas der Losgröße 1 dient dabei als entscheidender Befähiger.

Die Produktionsanlagen sind in ein sich autonom planendes, steuerndes und optimierendes Produktionssystem eingebettet. Dieses agile Produktionssystem muss mittels künstlicher Intelligenz dazu in der Lage sein, mit ungewissen Produktspezifikationen hinsichtlich Zustand, Zeitpunkt und Menge der ankommenden Altprodukte unter Einhaltung kürzester Durchlaufzeiten effektiv umzugehen. Hierzu ist eine flexible Steuerung notwendig, die sich ständig an dynamisch wechselnde Aufgabenstellungen anpassen kann. Vielfältige Sensoren zur Erfassung multimodaler Informationen sowie die Nutzung von Produktwissen unterstützen dabei die vollständige digitale Vernetzung des cyber-physischen Produktionssystems im Sinne der Industrie 4.0. Abgerundet wird das Produktionssystem durch die Überführung aller anfallenden Daten in einen digitalen Zwilling des Produkts sowie des Produktionsprozesses, um gezielt Anpassungen und Updates am Produkt vornehmen zu können sowie die Fabrik- und Produktionsplanung zu optimieren.

Darüber hinaus muss die Einbettung der Update-Factory in das übergeordnete Produktionsnetzwerk gewährleistet werden: Die Anlieferung der Produkt-Updates sowie die Ersatzteilbevorratung sind dabei essenziell.

Aber auch eine beherrschbare, in die bestehenden Logistikstrukturen eingebettete, Rückwärtslogistik zur Belieferung der Update-Factory mit Altprodukten sowie ein durchgängiger Informationsfluss innerhalb dieser Logistikkette ist ein entscheidender Erfolgsfaktor. Insbesondere der Aufbau eines solchen, rückwärtsgewandten Logistiknetzwerkes, der mit einem hohen Anfangsinvestment verbunden ist, bedarf dabei einer besonderen Beachtung. Je nach Größe und Masse des Produkts ist festzulegen, ob das Update in einer stationären oder einer mobilen Update-Factory erfolgen soll. Die Fabrik muss dabei jeweils industriellen Maßstäben gerecht werden, aber auch unter logistischen und ökonomischen Aspekten effizient sein.

7.3 Forschungsbedarfe für die Geschäftsmodelle/ Wirtschaftlichkeit

Die für die Kreislaufwirtschaft notwendigen, neu zu entwickelnden Geschäftsmodelle müssen eine Vielzahl von Anforderungen erfüllen und es gilt zu untersuchen, wie die neu entstehenden Herausforderungen überwunden werden können. Aus ökologischer Sicht ist unter Nutzung von Ansätzen der ökologischen Bewertung zu evaluieren, wie die Geschäftsmodelle gestaltet werden müssen, damit die gesamtwirtschaftliche Ressourceneffizienz gesteigert wird und die Geschäftsmodelle somit einen möglichst großen Betrag zur Erreichung von Klimazielen leisten. Dabei ist auch zu untersuchen, inwieweit die Ökologie als neuer Wert innerhalb der Kreislaufwirtschaft etabliert werden kann. Update-Factories werden diesen Aspekten gerecht und können dem jeweiligen Unternehmen helfen, die geforderten Einsparungen von CO₂ Treibhausgasen zu leisten, ohne eine am Markt erkennbare Verschlechterung der funktionalen Wertigkeit bzw. Weiterentwicklung der Produkte zu befürchten zu müssen. Das damit verbundene Geschäftsmodell soll durch die besondere Bereitstellung von Klimazertifikaten für Update-Factories ermöglicht werden.

Aus ökonomischer Sicht ist es unerlässlich, wirtschaftliche und wettbewerbsfähige Geschäftsmodelle zu entwickeln und hinsichtlich dieser Kriterien zu bewerten. Diese Geschäftsmodelle sollten sich von den bestehenden Geschäftsmodellen produzierender Unternehmen abgrenzen, diese jedoch nicht kannibalisieren. Es müssen Konzepte entwickelt werden, die Unternehmen, Start-ups und Open-Source-Communities die Migration zu Business-to-Business (B2B)- und Business-to-Consumer (B2C)-Geschäftsmodellen der Kreislaufwirtschaft erleichtern. Zudem ist zu untersuchen, welche Geschäftsmodelle unter Erfüllung ökologischer Anforderungen besonders erfolgsversprechend sind und wie die entstehenden Produkt-Service Systeme gestaltet sein müssen. In der gemeinsam von acatech, Circular Economy Initiative Deutschland und SYSTEMIQ herausgegebenen Studie „Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials“ [25] werden

vielschichtige Circular Economy-Strategien vorgestellt, die in einigen Ausprägungen unterschiedliche Facetten der Update-Factory adressieren und mit konkreten Produkt- und Firmenbeispielen unterlegt sind.

In einem weiteren Papier derselben Herausgeber mit dem Titel „Circular Economy Roadmap für Deutschland“ [26] werden diverse Ansätze zu Geschäftsmodellen und Technologien aufgezeigt, die mit der Update-Factory verwandt sind. Im Mittelpunkt stehen dabei Branchenbeispiele aus der Verpackungsindustrie und dem Bereich Traktionsbatterien.

Weiterhin ist der Aufbau eines Reifegradmodells für Update-Produkte und -Factories erforderlich. Auf Produktebene ist außerdem zu untersuchen, ob und in welchem Maße eine Homologisierung der bisher unternehmensindividuellen Produkte notwendig ist. Im Zuge der Gestaltung der Kreislaufführung sollten auch hier verschiedene Ausgestaltungsformen miteinander verglichen werden, die sowohl B2B- und B2C-Modelle, als auch offene Wertschöpfungsketten wie die einer Sharing Economy umfassen. Essentiell ist weiterhin zu bestimmen, durch wen und zu welchem Zeitpunkt im Produktleben die Rückführung des Produktes ausgelöst wird und ob diese zum Hersteller oder zu einem auf das Update spezialisierten Dienstleister erfolgen soll. Dabei sind beispielsweise die Komplexitäts- und Modularisierungskosten den Kosten einer längeren Produktnutzung bewertend gegenüberzustellen. Zudem stellt sich auch hier die Frage nach dem Standort der Update-Factory, der je nach Größe und Masse des Produkts stationär oder mobil sein kann.

Die im Sinne dieses Konzeptpapiers für ein Update geeigneten Produkte werden durch eine höhere Modularität, Individualität und eine gewandelte Element-Funktion-Zuordnung gekennzeichnet sein. Für die Kombination und den Austausch von einzelnen Modulen oder Elementen eines Moduls im Laufe des Produktlebenszyklus werden standardisierte stoffliche, energetische, informationstechnische Schnittstellen notwendig sein. Hierdurch kann Komplexität eindeutiger gekapselt werden und durch unterschiedliche „Modulverantwortliche“ beherrscht werden. Technische Lösungen für komplexe Aufgaben liegen damit potentiell nicht mehr nur in der Hand eines verantwortlichen Herstellers, sondern können verteilt werden. Die unterschiedlichen Akteure müssen nicht mehr dem Bild des heute typischen industriellen Herstellers entsprechen. Vielmehr bietet sich auch die Möglichkeit einer partiellen Einbindung von dezentralen Entwickler-Communities, plattformbasierter Produktmodulerstellung, auswahl-, -produktion und -verteilung. Ein gedanklicher Ansatz hierfür liegt in FabLab-, FabCity- und Makerspace-Organisationen, die im Rahmen der beschriebenen Ansätze allerdings wesentlich weiterentwickelt und im Sinne eines ganzheitlichen QM-Systems qualifiziert und zertifizierbar gemacht werden müssen.

Geschäftsmodelle im Kontext der Update-Factory erfordern zudem die Erforschung des Aufbaus einer entsprechenden Infrastruktur, die neben der Logistik auch die Digitalisierung, die Einrichtung von Marktplattformen und die Einführung neuer Standards umfasst. Weiterhin muss ein geeigneter politischer Ordnungs- und Rechtsrahmen entwickelt werden, in welchem beispielsweise Haftungsfragen, Patentschutz und Eigentum sowie Gewährleistung, Versicherungsfragen und Wiedertzulassungen geregelt sind. Zudem gilt es, basierend auf gesamtökonomischen und ökologischen Fragestellungen, den ordnungspolitischen Weg zu bereiten.

7.4 Forschungsbedarfe für die objektive Nachhaltigkeitsbewertung

Die Update Factory soll dazu beitragen, die von den Vereinten Nationen definierten Nachhaltigkeitsziele, insbesondere Ziel 12 „Nachhaltige Produktion und Konsum“, zu erreichen. Hierzu ist eine objektive Nachhaltigkeitsbewertung des Update-Ansatzes notwendig, um die Nachhaltigkeitsbeiträge zu quantifizieren. Zunächst steht hierbei die entwicklungsbegleitende Analyse und Bewertung von Produkten basierend auf deren Update-Fähigkeit und hinsichtlich der Lebenszykluskosten (LCC), Umweltauswirkungen (LCA) sowie sozialen Auswirkungen (SLCA) an. Dadurch soll die quantitative Nachhaltigkeitsbewertung der aus der Update-Factory ausgehenden Produkte insbesondere auch in einer vergleichenden Bewertung möglich sein.

Weitere Forschungsbedarfe ergeben sich in der Entwicklung einer Methodik zur Definition der funktionellen Einheit eines Produkts, sodass ein quantitativer Vergleich verschiedener Update-Produkte mit konventionellen Produkten möglich ist. Damit einher geht die Weiterentwicklung bestehender Methoden für die Allokation und Gutschriften (Crediting) von Produkt-Updates. Darüber hinaus soll mittels Integrated Computational Life Cycle Engineering ein modellbasiertes Experimentieren verschiedener Updates ermöglicht bzw. unterstützt werden.

In einem letzten Schritt bedarf es forschungsseitig nach der Ableitung von Handlungsempfehlungen für unterschiedliche Anspruchsgruppen sowie die Entwicklung von Kommunikations- bzw. Marketingstrategien für nachhaltige Update-Produkte sowie den Umgang mit Kundenvertrauen.

7.5 Forschungsbedarfe in der Digitalisierung

Für die Umsetzung der Update-Fähigkeit von Produkten ist die Sammlung, Verwaltung und Verfügbarkeit aller benötigten Informationen über das Produkt, dessen Produktion und insbesondere dessen Verwendung/Nutzung sowohl auf Systemebene als auch auf Komponentenebene im Sinne eines Integrated Computational Life Cycle Engineering

übergreifend über alle Lebenszyklusphasen unabdingbar. Während sich aktuelle Forschungsvorhaben mit der Integration der Nutzungsphase in das Integrated Computational Life Cycle Engineering bspw. über IoT/Cloud-Plattformen beschäftigen, wird die End-of-Life Phase derzeit weitestgehend nicht betrachtet. Besonders im Hinblick auf das Refurbishment, das Remanufacturing und das Recycling von Produkten und Rohstoffen müssen hier geeignete Konzepte, kontinuierlich wiederverwendbare Datenmodelle und passende Schnittstellen und Standards definiert werden. Konkret muss bspw. das Varianten- und Konfigurationsmanagement im Sinne einer Update-Factory auf Produktinstanzebene und unter Berücksichtigung von Nutzungsdaten ermöglicht werden. Dies wird nur mit durchgängig digitalisierten Prozessen und unter Anwendung von Konzepten Digitaler Zwillinge gelingen. Hierbei sind entsprechend des Know-how Schutzes im Rahmen der Zusammenarbeit entlang der Supply Chain und entlang des Produktlebenszyklus hierarchisch verteilte Rechte zu vergeben. Darüber hinaus ist es erforderlich, unterschiedliche Aggregationsstufen des Produkts hinsichtlich Digitalen Zwillingen von Komponenten, Teilsystemen und Komplettsystemen zu betrachten. Diesem Aspekt kommt im Kontext der Update-Factory eine besondere Bedeutung zu, weil Komponenten oder Teilsysteme sowohl physisch als auch im Digitalen Zwilling in ein neues Gesamtsystem zu integrieren sind. Bisherige Ansätze reichen nicht aus um solch eine lose Kopplung des Digitalen Zwillinges zur Umsetzung der unterschiedlichen Aggregationsstufen und Granularitäten realisieren zu können. Neben der Lösung technischer Problemstellungen hinsichtlich z.B. der Integration in IT-Infrastrukturen und der Kopplung von Digitalen Zwillingen untereinander sind besonders methodische Konzepte für den Aufbau und die Abbildung von Digitalen Zwillingen erforderlich. Als vorrangig in diesem Zusammenhang ist die Bildung unterschiedlicher Sichten (z.B. Kunde, Betreiber, Systemzulieferer, Teilelieferant) auf Digitale Zwillinge zu sehen.

8. Referenzen

- [1] Parker, D., Riley, K., Robinson, S., Symington, H., Tewson, J., Jansson, K., Ramkumar, S., & Peck, D. (2015). Remanufacturing market study. European Remanufacturing Network (ERN). <http://www.remanufacturing.eu/assets/pdfs/remanufacturing-market-study.pdf>
- [2] Herrmann, C. (2010): Ganzheitliches Life Cycle Management. Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen. Berlin: Springer (VDI-Buch).
- [3] Yoshikawa, H. (1999): Proceedings. First International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing : February 1-3, 1999, Tokyo, Japan. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society.
- [4] Tolio, T.; Bernard, A.; Colledani, M.; Kara, S.; Seliger, G.; Dufloy, J.; Battaia, O.; Takata, S. (2017): Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. In: CIRP Annals 66 (2), S. 585–609. DOI: 10.1016/j.cirp.2017.05.001
- [5] Khor, K.; Udin, Z. (2012): Impact of Reverse Logistics Product Disposition towards Business Performance in Malaysian E&E Companies. In: JSCCRM, S. 1–19. DOI: 10.5171/2012.699469.
- [6] Umeda, Y.; Takata, S.; Kimura, F.; Tomiyama, T.; Sutherland, J.; Kara, S. et al. (2012): Toward integrated product and process life cycle planning—An environmental perspective. In: CIRP Annals 61 (2), S. 681–702. DOI: 10.1016/j.cirp.2012.05.004.
- [7] Kirchner, E. (2020): Werkzeuge und Methoden der Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [8] Bender, B., Gericke, K. (2021): Pahl/Beitz Konstruktionslehre, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- [9] Scholz, U.; Pastoors, S.; Becker, J.; Hofmann, D.; van Dun, R. (2018): Praxishandbuch nachhaltige Produktentwicklung. Ein Leitfaden mit Tipps zur Entwicklung und Vermarktung nachhaltiger Produkte. Berlin: Springer Gabler.
- [10] Albers, A.; Bursac, N.; Wintergerst, E. (2015): Produktgenerationsentwicklung - Bedeutung und Herausforderungen aus einer entwicklungsmethodischen Perspektive. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung 2015, 1-9
- [11] Fathi, M.; Holland, A.; Abramovici, M.; Neubach, M. (2007): Advanced Condition Monitoring Services in Product Lifecycle Management. In: 2007 IEEE International Conference, S. 245–250. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>.
- [12] Gausemeier, J.; Lindemann, U.; Reinhart, G.; Wiendahl, H. (2000): Kooperatives Produktengineering. Ein neues Selbstverständnis des ingenieurmäßigen Wirkens. Paderborn: Heinz-Nixdorf-Inst (HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 79).
- [13] Tischner, U.; Schminke, E.; Rubik, F.; Prösler, M.; Tischner, U.; Prösler, M. (2000): Was ist EcoDesign? Ein Handbuch für ökologische und ökonomische Gestaltung. Frankfurt am Main: Verl. Form (Praxis).
- [14] Ristimäki, M.; Säynäjoki, A.; Heinonen, J.; Junnila, S. (2013): Combining life cycle costing and life cycle assessment for an analysis of a new residential district energy system design. In: Energy 63, S. 168–179. DOI: 10.1016/j.energy.2013.10.030.
- [15] Fröhling, M.; Hiete, M. (2020): Sustainability and Life Cycle Assessment in Industrial Biotechnology. 1st ed. 2020 (Advances in Biochemical Engineering/Bio-technology).
- [16] Kara, S.; Hauschild, M.; Herrmann, C. (2018): Target-driven Life Cycle Engineering: Staying within the Planetary Boundaries. In: Procedia CIRP 69, S. 3–10. DOI: 10.1016/j.procir.2017.11.142.
- [17] Hauschild, M.; Herrmann, C.; Kara, S. (2017): An Integrated Framework for Life Cycle Engineering. In: Procedia CIRP 61, S. 2–9. DOI: 10.1016/j.procir.2016.11.257.
- [18] Schäfer, M.; Kaluza, A. (2020): Life Cycle Technologies for hybrid structures. TU Braunschweig. <https://www.tu-braunschweig.de/en/iwf/nplce/research-projects/lct> (abgerufen am 04.10.2021).
- [19] Weber, T.; Stuchtey, M. (Ed.) (2019): Pathways towards a German Circular Economy. Lessons from European Strategies Preliminary Study. Munich. <https://en.acatech.de/publication/pathways-towards-a-german-circular-economy-lessons-from-european-strategies-preliminary-study/> (abgerufen am 04.10.2021).
- [20] Hirsch-Kreineisen, H.; Kubach, U.; Stark, R.; Wichert, G.; Hornung, S.; Hubrecht, L.; Sedlmeir, J.; Steglich, S.. (2019): Themenfelder Industrie 4.0. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0. <https://www.acatech.de/publikation/themenfelder-industrie-4-0/> (abgerufen am 04.10.2021).
- [21] Pape, D.; Mantwill, F. (2014): Ein Konzept zur Integration der Energieanforderungen für eine frühzeitige energetische Produktbeeinflussung am Beispiel des automobilen Karosseriebaus. ResearchPaper. Uni Haburg, Hamburg. Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik.
- [22] Knorr-Bremse Systeme für Nutzfahrzeuge GmbH (2018): EconX® : Industriell aufgearbeitete Produkte für ältere Nutzfahrzeuge. https://www.knorr-bremse.com/media/6000_medien/6200_pressemappen/automechanika/econx_en.pdf (abgerufen am 04.10.2021).
- [23] Technische Universität Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik (2020): Lifecycling2. <https://lifecycling2.de/> (abgerufen am 04.10.2021).
- [24] Ellen Macarthur Foundation (2013): Towards the Circular Economy. Economic and business rational for an accelerated transition
- [25] Circular Economy Initiative Deutschland (Ed.) (2020): Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials. Unter Mitarbeit von Hansen, E., Wiedemann, P., Fichter, K., Lüdeke-Freund, F., Jaeger-Erben, M., Schomerus, T., Alcayaga, A., Blomsma, F., Tischner, U., Ahle, U., Büchle, D., Denker, A., Fiolka, K., Fröhling, M., Häge, A., Hoffmann, V., Kohl, H., Nitz, T., Schiller, C., Tauer, R., Vollkommer, D., Wilhelm, D., Zefferer, H., Akinci, S., Hofmann, F., Kobus, J., Kuhl, P., Lettgen, J., Rakowski, M., von Wittken, R. and Kadner, S. Munich/London, 2020. <https://www.acatech.de/publikation/circular-business-models-overcoming-barriers-unleashing-potentials/> (abgerufen am 04.10.2021).
- [26] Circular Economy Initiative Deutschland (Hrsg.) (2021): Circular Economy Roadmap für Deutschland. Unter Mitarbeit von Kadner, S., Kobus, J., Hansen, E., Akinci, S., Elsner, P., Hagelüken, C., Jaeger-Erben, M., Kick, M., Kwade, A., Köhl, C., Müller-Kirschbaum, T., Obeth, D., Schweitzer, K., Stuchtey, M., Vahle, T., Weber, T., Wiedemann, P., Wilts, H., von Wittken, R. München/London. <https://www.acatech.de/publikation/circular-economy-roadmap-fuer-deutschland/> (abgerufen am 04.10.2021).

Impressum

Autoren/innen

WGP: Prof. Dr.-Ing. habil. Volker Schulze, Prof. Dr.-Ing. Jan Christian Aurich, Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing Peter Groche, Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza, Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Möhring, Prof. Dr.-Ing. Jens Wulfsberg

WiGeP: Prof. Dr.-Ing. Frank Mantwill, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Albert Albers, Prof. Dr.-Ing. Beate Bender, Prof. Dr.-Ing. Detlef Gerhard, Prof. Dr.-Ing. Georg Jacobs, Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen, Prof. Dr.-Ing. Rainer Stark, Prof. Dr.-Ing. Thomas Vietor

Herausgeber

Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktionstechnik

c/o Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen
www.wgp.de

Vorstand: Prof. Dr.-Ing. Christian Brecher, Prof. Dr.-Ing. Jens Peter Wulfsberg, Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis, Prof. Dr.-Ing. Berend Denkena, Prof. Dr.-Ing. Wolfram Volk, Prof. Dr.-Ing. habil. Marion Merklein

Wissenschaftliche Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V

c/o Institut für Produktentwicklung und Gerätebau
An der Universität 1, 30823 Garbsen
www.wigep.de

Vorstand: Prof. Dr.-Ing. Karsten Stahl, Prof. Dr.-Ing. Roland Lachmayer, Prof. Dr.-Ing. Dieter Krause, Prof. Dr.-Ing. Sven Matthiesen, Prof. Dr.-Ing. Sandro Wartzack

Dieses Positionspapier entstand im Rahmen der Arbeit der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktionstechnik (WGP) und der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Produktentwicklung WiGeP e.V (WiGeP). Es handelt sich hierbei um eine abgestimmte und von den Mitgliederversammlungen freigegebene Meinung, Stellungnahme oder Position der WiGeP und WGP zu der dargestellten Thematik.

