

Mehr als nur Service

Management der Nutzungsphase in der Industrie

R. Schrank, F. Shaker, J.-P. Nickel, J. Schatton

ZUSAMMENFASSUNG Die Nutzungsphase rückt als Schlüssel für zirkuläre Wertschöpfung in den Fokus industrieller Geschäftsmodelle. Dieser Beitrag zeigt, wie Serviceangebote und ihre Erbringung sich vom reaktiven Support hin zu proaktiven und autonomen Lösungen wandeln. Durch gezielte Upgrades und datenbasierte Dienstleistungen entsteht neuer Mehrwert über den gesamten Lebenszyklus. Dadurch wird die Umsetzung der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft strategisch unterstützt.

STICHWÖRTER

Dienstleistungen, Kreislaufwirtschaft, Service

Beyond service – Managing the use phase in industry

ABSTRACT This article highlights the use phase as pivotal for circular value creation in industrial business models. It analyzes the shift from reactive to proactive and autonomous service concepts. Targeted upgrades and data-driven solutions generate added value throughout the life cycle, strategically enabling the implementation of the Upgrade Circular Economy.

1 Service im Umbruch: Neue Herausforderungen und Potenziale

Die produzierende Industrie steht vor wachsenden Herausforderungen: Rohstoffpreise steigen, Lieferketten sind fragiler und nachhaltiges Wirtschaften rückt in den Mittelpunkt unternehmerischer Entscheidungen [1]. Klassische Kreislaufwirtschaftsmodelle, welche primär auf Recycling am Produktlebensende setzen, schöpfen das Potenzial geschlossener Wertschöpfungsketten bislang nur unzureichend aus – weniger als zehn Prozent eingesetzter Materialien werden aktuell zirkulär zurückgeführt [2]. Die Upgrade Circular Economy (UCE) setzt genau hier an: Ziel ist es, Produkte nicht nur am Ende ihres Lebens zurückzuführen, sondern laufend während ihrer gesamten Nutzungsphase gezielt zu modernisieren, technisch aufzuwerten und so ihre Lebensdauer sowie den geschaffenen Mehrwert signifikant zu erhöhen.

Wie ein solcher geschlossener Wertschöpfungskreislauf konkret funktioniert, visualisiert **Bild 1**: UCE verknüpft Produktion, Nutzung und Rückführung über kontinuierliche Material- und Informationsflüsse.

Insbesondere die Nutzungsphase, und hier vor allem das angebotene industrielle Serviceportfolio sowie die konkrete Serviceerbringung, gewinnt eine völlig neue Bedeutung: Service ist nicht länger nur Reparatur, sondern wird zum aktiven Hebel für proaktive Wartung, Upgrades, Anpassungen und gezielte Modernisierung von Maschinen und Anlagen im laufenden Betrieb. Somit sind über den gesamten Lebenszyklus hinweg Serviceangebot und Serviceerbringung eng verzahnt mit produktbegleitenden Informationen und Rückführungsprozessen. Dies ermöglicht eine

wertsteigernde Kreislaufwirtschaft (englisch: Upgrade Circular Economy). [3]

So wird deutlich: Die Ausgestaltung industrieller Serviceleistungen entlang der Nutzungsphase ist Schlüssel und Katalysator für den Wandel zu nachhaltigen, upgradefähigen Produktkreisläufen. Dieser Wandel ist keine eindimensionale Entwicklung, sondern setzt voraus, dass Serviceangebote und Serviceerbringung konsequent weiterentwickelt, modularisiert und datenbasiert organisiert werden. In der Praxis geht es um die Transformation von rein reaktiven Einsätzen, über proaktive Betreuung bis hin zu zunehmend autonomen Serviceprozessen. Warum sich die Rolle des industriellen Service gerade jetzt grundlegend wandelt, wie sich die Stufen und Merkmale dieser Transformation konkret unterscheiden und wie daraus neue Potenziale für Unternehmen entstehen, wird im Folgenden beleuchtet.

2 Service und Nutzungsphase im Forschungsfokus

Das klassische Verständnis von industriellem Service fußt auf dem Uno-actu-Prinzip: Produktion und Konsum der Dienstleistung fallen zeitlich zusammen, das heißt, Service entsteht durch das gleichzeitige Handeln von Anbieter und Kunde, meist direkt an der Maschine oder Anlage vor Ort [4]. Charakteristische Merkmale sind die Immaterialität der Leistung, ihre Bindung an einen konkreten Anwendungsfall sowie die hohe Bedeutung von persönlicher Interaktion und Kommunikation für die Ergebnisqualität [5, 6]. Services gelten traditionell als reaktiv: Die Erbringung erfolgt punktuell und individuell, meist ausgelöst durch Ausfälle oder Kundenanfragen. Planung, Ressourcen und Know-

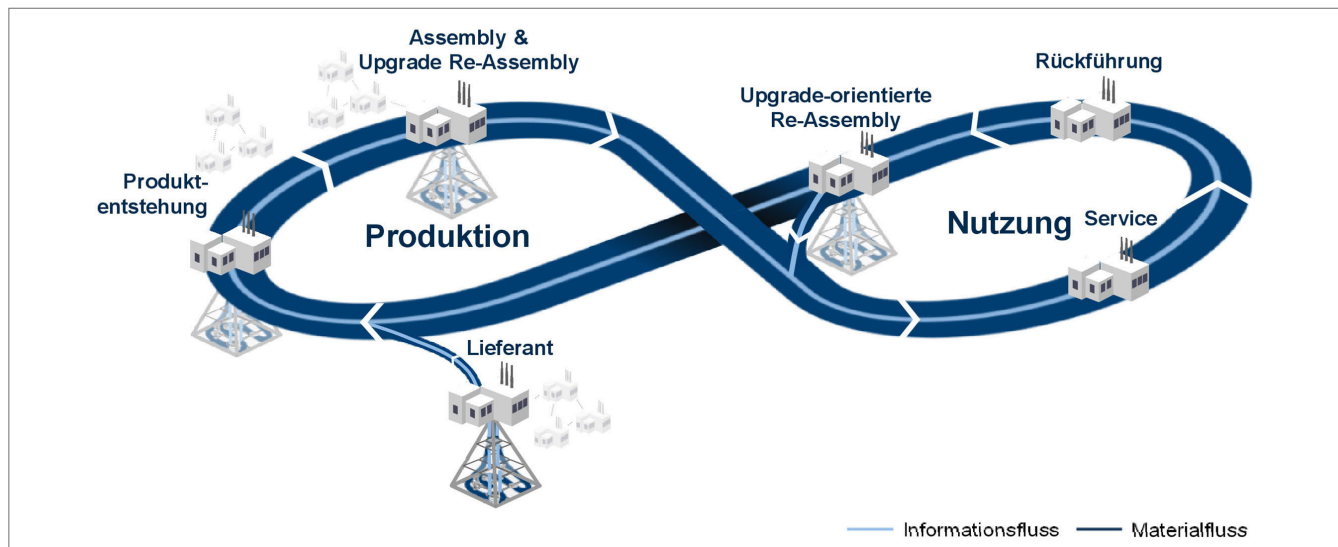


Bild 1 Wertsteigernde Kreislaufwirtschaft. Grafik: [17]

how müssen flexibel an die jeweilige Situation angepasst werden, Standardisierung findet dabei nur begrenzt statt.

Neuere wissenschaftliche Diskussionen erweitern dieses Bild deutlich: Das reine Reagieren auf Defekte oder Störungen greift künftig zu kurz, da Kreislaufwirtschaft und nachhaltige Wertschöpfung ganz neue Anforderungen setzen. Im Zentrum stehen nun Ansätze, bei denen Serviceprozesse nicht nur verlängernd wirken, sondern durch gezielte Upgrades und Modernisierungen einen aktiven Mehrwert schaffen. Vor allem die Digitalisierung, mit Sensorik, Datenanalyse und vernetzter Kommunikation, gilt als entscheidender Hebel für lebenszyklusbasiertes Servicemanagement und die systematische Wiederverwertung von Produkten. Fachkräfte betonen: Die Fähigkeit, Material- und Informationsflüsse zu koppeln, maschinenübergreifende Zustandsdaten zu nutzen und Serviceprozesse konsequent zu modularisieren, wird zur Schlüsselkompetenz für Unternehmen.

3 Service-Transformation: Von reaktiv zu autonom

Vor dem Hintergrund der Digitalisierung und Automatisierung und den sich daraus ergebenden neuen Möglichkeiten wandelt sich dieses Verständnis grundlegend. Vorab durchgeführte Projekte und Analysen haben gezeigt, dass eine moderne, praxisnahe Strukturierung von Industrie-Service nach den drei Ausprägungen reaktiv, proaktiv und autonom neue Orientierung stiftet. Im reaktiven Service bleibt der Auslöser ein konkreter Bedarf oder ein Fehlerfall, sodass Serviceleistungen individuell und anlassbezogen erbracht werden [7]. Proaktiver Service dagegen beruht auf kontinuierlicher Systemüberwachung und vorausschauender Intervention: Anbieter greifen präventiv ein, bevor es zu Ausfällen kommt [8]. Der autonome Service schließlich überführt diese Ansätze in eine neue Stufe der Selbstständigkeit. Hier übernehmen Systeme die permanente Überwachung und treffen nach hinterlegten Regeln oder durch intelligente Logiken eigenständig Entscheidungen zu Wartung und Optimierung. Menschliche Eingriffe sind nur noch in Ausnahmefällen nötig; die Steuerung erfolgt hauptsächlich systemintern [9]. Wichtig ist: Autonomie kann klassische Automatisierung umfassen, muss aber nicht zwingend künstliche Intelligenz voraussetzen [10].

Diese Systematik markiert einen grundlegenden Perspektivwechsel: Service wird nicht mehr als reaktive Einzelmaßnahme verstanden, sondern als kontinuierlicher, strategischer Werttreiber, der Produkte und Anlagen während der Nutzungsphase über den gesamten Lebenszyklus hinweg begleitet, permanent weiterentwickelt und damit entscheidend zur Umsetzung von UCE beiträgt. Wie sich reaktiver, proaktiver und autonomer Service voneinander unterscheiden und wie diese Unterschiede sowohl für Kunden als auch Anbieter spürbare Mehrwerte schaffen – bis hin zur zeitnahen Realisierung einer UCE-Wertschöpfungsstrategie – wird nachfolgend detailliert dargestellt.

3.1 Reaktiver Service

Im reaktiven Service steht die initiale Meldung des Kunden im Mittelpunkt: Der Serviceprozess beginnt erst mit einer konkreten Anfrage, meist als Reaktion auf einen bereits eingetretenen Defekt oder eine Störung. Die Kommunikation ist dadurch punktuell und anlassbezogen und Interaktionen finden ausschließlich im Bedarfsfall statt. Die Bearbeitung gestaltet sich oft hochkomplex, da Maschinendaten selten systematisch erfasst werden und die Ursachenanalyse sowie Problemlösung ein hohes Maß an Expertise und langjähriger Praxiserfahrung verlangt. Standardisierte Abläufe und datenbasierte Analysen stehen kaum zur Verfügung. Die Serviceerbringung erfolgt meist ohne nennenswerte Abstimmung zwischen Abteilungen oder mit externen Partnern. Mit Blick auf Kreislaufwirtschaft leisten reaktive Services nur einen begrenzten Beitrag: Sie beheben primär Ausfälle und verlängern die Nutzung einzelner Maschinen oder Komponenten, ohne zusätzliche Funktionen zu schaffen oder gezielte Upgrades zu ermöglichen. Optimierungspotenziale werden meist nur punktuell erschlossen, die Wirkung bleibt auf den Einzelfall beschränkt. Zudem ist die Kundenbindung gering, weil alternative Anbieter jederzeit kontaktiert werden können. Für Serviceanbieter bleibt die Planbarkeit daher schwierig und der Zeitpunkt und Umfang von Anfragen kaum vorhersehbar.

Ein Beispiel ist die lange von Century Aluminum's in Ravenswood, West Virginia, verfolgte reaktive Servicestrategie: Als Hersteller von Aluminium reagierten sie nur reaktiv auf Ausfälle und Stillstände in ihren Produktionsanlagen und beugten deren

Auftreten nicht vor. Nur aufgrund jahrelanger Erfahrungen und ausgeprägten Fachwissens konnten die Störungen durch Reparaturen nach dem Anlagenausfall schnell behoben und der Betrieb zeitnah wieder aufgenommen werden. Inzwischen verfolgt man auch hier eine proaktive Servicestrategie und versucht, dem Auftreten von Störungen und Stillständen vollkommen vorzubeugen. [11]

3.2 Proaktiver Service

Proaktiver Service verschiebt den Auslöser des Servicefalls auf die Anbieterseite: Wartungen und Reparaturen werden proaktiv und vorausschauend eingeleitet, also bevor Fehler auftreten und auf Basis fortlaufender Überwachung von Sensordaten oder aus Erfahrungswerten abgeleiteten Prognosen. Die Kommunikation mit dem Kunden erfolgt regelmäßig, etwa über Statusberichte oder automatisierte Wartungshinweise. Dadurch steigt sowohl die Planbarkeit als auch der Umfang der Serviceleistungen für beide Seiten, was die Serviceerbringung effizienter und weniger fehleranfällig macht. Die Komplexität nimmt ab, weil definierte Fehlerbilder und standardisierte Abläufe genutzt werden können, wenn gleich weiterhin individuelle Anpassungen und spezifische Expertise erforderlich sind.

Die Umsetzung des proaktiven Service verlangt eine abteilungsübergreifende Zusammenarbeit insbesondere bei komplexen präventiven Maßnahmen. So ist beispielsweise zwischen Einkauf, Service und technischer Diagnostik eine enge Abstimmung zur Identifikation und Bestellung der für den Service benötigten Ersatzteile nötig. Diese erlaubt die rechtzeitige Lieferung der Ersatzteile und damit proaktive Serviceerbringung. Beim Serviceanbieter sind dazu feste Prozesse und Kommunikationswege zu definieren, die den Informationsaustausch und Workflow zwischen den Abteilungen standardisieren und damit die Serviceerbringung für den Anbieter und Kunden effizienter und schneller gestalten. Im Vergleich zum reaktiven Service werden dadurch die Produktabnutzung und Ausfälle signifikant reduziert, die Lebensdauer von Maschinen und Komponenten steigt und der Beitrag zur UCE ist deutlich spürbar: Produkte bleiben länger funktionsfähig, Verschleiß wird minimiert und die Wiederverwendung einzelner Bauteile kann gezielt vorbereitet werden. Die Kundenbindung steigt, da Ausfälle vermieden werden und die Zufriedenheit durch vorausschauenden Support erhöht wird. Der Anbieter erhält tiefe Einblicke in Unternehmensprozesse und kann künftige Kundenbedürfnisse gezielt mitprägen.

Frederiksen et al. zeigen in ihrer Untersuchung zur Wirtschaftlichkeit von Predictive Maintenance in Offshore-Windparks, dass der Einsatz zustandsbasierter Überwachung einen erheblichen Beitrag zur Reduktion ungeplanter Stillstände leistet [12]. Sensoren erfassen dazu kontinuierlich Schwingungen, Temperaturen und weitere Betriebsparameter der Anlagen, auf deren Grundlage sich die Restlebensdauer kritischer Bauteile prognostizieren lässt. Neigt sich diese dem Ende, können Anbieter bereits im Vorfeld, etwa im Zusammenspiel mit Service-Level-Agreements (SLAs), gezielt Serviceeinsätze einplanen, bevor es zum Ausfall kommt.

3.3 Autonomer Service

Die am weitesten entwickelte Stufe ist der autonome Service. Hier werden Serviceprozesse automatisch von Systemen ausgelöst und, soweit möglich, vollständig ohne menschliche Beteiligung

durchgeführt. Die erforderliche Kommunikation begrenzt sich nicht nur auf den Anbieter, sondern findet zwischen den Organisationen der gesamten Wertschöpfungskette kontinuierlich und hochgradig automatisiert über vorab definierte Schnittstellen und anhand eines standardisierten Prozesses statt. Dieser sieht den Transfer der Nutzungsdaten der Kunden an den Serviceanbieter zu Analyse Zwecken vor. Bei Feststellung von Abweichungen und damit dem Auftreten zukünftiger Störungen wird der Service ausgelöst und den Lieferanten automatisch eine Anfrage für die benötigten Ersatzteile übermittelt. Zeitgleich findet eine systemseitig gestützte Terminkoordination zwischen Kunden und Anbieter statt.

Im Vergleich zum proaktiven Service ist so keine persönliche Kommunikation zwischen den Kunden und Lieferanten vor der Servicedurchführung notwendig, sondern wird durch ein System unterstützt, teilweise sogar vollkommen übernommen. Die Bearbeitungskomplexität und der Bedarf an Experteninterventionen sinken auf ein Minimum, da die intelligenten Systeme sämtliche Serviceaufgaben eigenständig auf Basis der umfassend vernetzten Daten erkennen und ausführen. Erst die organisationsübergreifende Vernetzung aller relevanten Unternehmensbereiche und externer Partner erlauben eine durchgängige Ressourcenverfügbarkeit und einen unterbrechungsfreien Serviceeinsatz. Autonomer Service ist damit zentraler Enabler nachhaltiger Wertschöpfung in der UCE. Er maximiert die Ressourceneffizienz, verlängert die Produktlebenszyklen, erlaubt eine vollständige Kreislaufführung und schafft maximale Transparenz und Planbarkeit bei minimalem, menschlichem Aufwand. Für den Kunden entfällt die Notwendigkeit, Serviceleistungen zu initiieren oder zu bestätigen, der Betrieb erfolgt reibungslos und vollständig durch den Serviceanbieter. Die Kundenbindung ist maximal, die Entlastung vollständig, und alle relevanten Leistungen laufen systemgesteuert im Hintergrund. Für den Anbieter bedeutet dies einen tiefen Einblick und Einbindung in die Kundenprozesse, eine präzise Steuerung von Umfang und Timing des Service sowie eine schnelle und abgestimmte Durchführung über Organisationsgrenzen hinweg.

Ein anschauliches Beispiel für den Einsatz eines autonomen Service liefert Schaeffler mit der Lösung „Optime C1“: Das System ist weltweit der erste intelligente Schmierstoffgeber, der Schmierstoffe automatisch dosiert und die Abgabe dynamisch an die aktuellen Betriebsbedingungen anpasst. Manuelle Schmierzyklen entfallen, Fehler durch Über- oder Unterfettung werden vermieden und die Lebensdauer der Komponenten steigt signifikant bei gleichzeitig geringerem Ressourceneinsatz. [13]

Bild 2 fasst die zentralen Merkmale und Unterschiede von reaktivem, proaktivem und autonomem Service übersichtlich zusammen. Im Fokus stehen Merkmale wie Auslöser des Servicekontakts, Kommunikationsmuster, Bearbeitungskomplexität, Organisationsintegration und Datenintegration. Diese ändern sich entlang der Servicestufen und geben so einen ersten Einblick für Unternehmen, die ihren eigenen Service verorten und darauf aufbauend gezielt weiterentwickeln wollen. Mit zunehmender Automatisierung und systemischer Vernetzung steigen sowohl die Wertschöpfung als auch die Kundenbindung – entscheidende Erfolgsfaktoren für die Zukunft industrieller Services und nachhaltiger Geschäftsmodelle.

Auch wenn die Transformation des Servicegeschäfts für die Anbieter und Kunden ökonomische wie ökologische Vorteile bietet, sind aktuell noch drei wesentliche Herausforderungen zu

Wertschöpfung & Kundenbindung				
Merkmal	Zentrale Leitfrage	reaktiv	proaktiv	autonom
Auslöser des Servicekontakts	Was ist die Ursache für den Start des Serviceprozesses?	Kundenanfrage	Anbieterangebot	Kein Auslöser
Kommunikationsmuster	Wie häufig stehen Kunden und Anbieter im Austausch?	Punktuell	Regelmäßig	Kontinuierlich
Bearbeitungskomplexität	Wie komplex ist die Serviceerbringung und welcher Anteil an Expertenwissen ist erforderlich?	<i>Komplexität</i> Hoch	Mittel	Gering
		<i>Anteil Expertenwissen</i> Hoch	Mittel	Gering
Organisationsintegration	Wird ein Austausch zwischen den Unternehmensabteilungen zur Durchführung des Service benötigt und in welchem Umfang?	<i>Austausch</i> Abteilungsintern	Abteilungsübergreifend	Unternehmensübergreifend
		<i>Umfang</i> Gering	Mittel	Hoch
Datenintegration	In welchem Umfang werden Maschinendaten erfasst und vernetzt genutzt?	Selten	Punktuell	Systematisch

Bild 2 Merkmale und Ausprägungen von reaktiven, proaktiven und autonomen Services. *Grafik: eigene Darstellung*

lösen. Zum einen fehlt es an der Bereitschaft der Kunden, unternehmensinterne Daten zu teilen, zum anderen an der Automatisierung manueller, physischer Serviceprozesse. Die dritte Herausforderung betrifft das Geschäftsmodell selbst.

Aktuell erzielen viele Anbieter ihre Umsätze primär über Service-Einsätze und Ersatzteilverkäufe. Damit bestehen unterschiedliche Interessenlagen zwischen Anbieter und Kunden. Der eine profitiert von häufigeren Einsätzen, der andere von stabilen, wartungsarmen Systemen. Künftig gilt es, diese Interessensunterschiede aufzulösen und die Wertschöpfungsprozesse stärker zu verknüpfen, etwa durch Betreibermodelle, Subscription-Ansätze oder leistungsbasierte Verträge. Diese Modelle ermöglichen eine gemeinsame Erfolgsorientierung, erfordern jedoch tiefere organisatorische Integration und Vertrauen in die partnerschaftliche Datennutzung.

Die Sorge vieler Unternehmen, durch die Vernetzung vertrauliche Informationen preiszugeben und damit ihren Wettbewerbsvorteil zu gefährden, lässt sich durch hohe Informationssicherheits- und Datenschutzstandards sowie verbindlich vereinbarte Datennutzungsverträge mindern. Die somit sichergestellte Datensouveränität schafft Vertrauen und Sicherheit bei den Kunden. Zudem kann das gezielte Aufzeigen des Mehrwerts proaktiver

und autonomer Services die Bedenken weiter reduzieren. Dazu gehört etwa eine verbesserte Transparenz über die Lebenszykluskosten der Anlagen. Durch kontinuierliche Datenverfügbarkeit und optimierte Wartungskonzepte können Unternehmen die Total Cost of Ownership (TCO) gezielt senken. Wird eine Maschine länger betrieben und effizienter genutzt, wirkt sich das unmittelbar positiv auf die ROI (Return on Investment)-Kalkulation aus, da Serviceeinsätze planbarer, ressourcenschonender und wirtschaftlicher werden.

Der fehlenden Automatisierung von Serviceprozessen wird durch den technischen Fortschritt in der Robotik und Produktentwicklung begegnet. Erste Praxisbeispiele aus unterschiedlichen Branchen verdeutlichen, wie bislang manuelle, von Menschen erbrachte Serviceleistungen durch humanoide Roboter unterstützt oder vollständig übernommen werden können. In der Automobilproduktion werden bereits seit Jahren Montageprozesse durch Industrieroboter automatisiert. Mit „Armar-6“ konnte nun auch ein humanoider Roboter entwickelt werden, der Wartungstechniker im industriellen Service proaktiv unterstützt [14]. Die zunehmende Verbreitung humanoider Roboter im Service wird es den Fachkräften langfristig ermöglichen, sich stärker auf kundenindividuelle, wertschöpfende Tätigkeiten zu konzentrieren,

während wiederkehrende, nicht wertschöpfende Aufgaben von Robotern übernommen werden können. Darüber hinaus können durch technische Weiterentwicklungen an den Produkten auch Service-Einsätze entfallen. Ein Beispiel liefert Maximator Hydrogen, ein Hersteller von Wasserstofftankstellen: Der dort gelagerte Wasserstoff führt zu einem erhöhten Verschleiß der Dichtungen. Um die Betriebs- und Wartungskosten zu reduzieren, wurde ein Revolverlager mit 13 Dichtungen entwickelt, das den automatischen Austausch der Dichtungen ohne einen externen Eingriff in das System ermöglicht [15]. Das Beispiel verdeutlicht, wie gezielte Produktinnovationen Serviceaufwände reduzieren und zugleich zur Optimierung der Produktlebenszykluskosten beitragen. In Zukunft sollte sich daher häufiger die Frage gestellt werden: Service oder Produktfunktion?

Gelingt es, die kognitiven und motorischen Fähigkeiten humanoider Roboter weiterzuentwickeln, Serviceeinsätze durch eine vorausschauende Produktentwicklung zu vermeiden und zugleich einheitliche Datensicherheitsstandards zu etablieren, eröffnen sich völlig neue Möglichkeiten. Proaktive und autonome Services können branchenübergreifend eingesetzt, flexibel skaliert und so kosteneffizient implementiert werden. In Verbindung mit neuen Geschäftsmodellansätzen entstehen erhebliche ökonomische Vorteile für beide Seiten. Kunden profitieren von einer höheren Anlagenverfügbarkeit und planbaren Kosten, während Anbieter durch kontinuierliche Serviceverträge stabile Einnahmen und eine tiefere Integration in die Wertschöpfung ihrer Kunden erzielen.

4 Weichenstellung für die Zukunft: Service als Enabler einer zirkulären Wertschöpfung

Die schrittweise Transformation vom industriellen Service, vom klassischen, reaktiven Ansatz über proaktive Wartungsstrategien hin zu zunehmend autonomen Serviceprozessen, kennzeichnet einen grundlegenden Wandel in der Organisation und Bedeutung industrieller Wertschöpfung. Digitalisierung, Vernetzung und datenbasierte Analytik ermöglichen heute Services, die nicht nur effizienter und planbarer sind, sondern aktiv zur Verlängerung von Produktlebenszyklen, zur Ressourcenoptimierung und zur Wettbewerbsfähigkeit beitragen. In Kombination mit gezielten Upgrades und einer systematischen Einbindung in den Produktkreislauf wird der Service zum strategischen Enabler der UCE.

Für Unternehmen bedeutet dies: Wer Service nicht mehr als reinen reaktiven und kostenverursachenden Prozess begreift, sondern als kontinuierliche, adaptive Wertschöpfungsleistung, erschließt neue Geschäftsfelder und kann ökologische mit ökonomischer Wertsteigerung verbinden. Die Forschung belegt: Die Integration von modularen Produktkonzepten, organisationsübergreifender Kollaboration und datengetriebenen Geschäftsmodellen wird künftig entscheidend sein, um die Vorteile aller Service-Stufen auszuschöpfen und den Wandel zur Circular Economy erfolgreich und skalierbar zu gestalten [16].

Um die Entwicklung hin zu proaktivem Service wissenschaftlich fundiert weiterzuentwickeln, sind vertiefte Validierungen mit Praxispartnern vorgesehen. Geplant ist vor allem, das Leistungsangebot in den einzelnen Servicestufen systematisch zu erfassen, zu analysieren und zu evaluieren. Im Ergebnis sollen Unternehmen dadurch deutlich gezieltere Handlungsanleitungen und pra-

xistaugliche Konzepte erhalten, die den effizienten Übergang zu proaktiven und autonomen Serviceprozessen unterstützen und den strategischen Mehrwert entlang der Nutzungsphase weiter erhöhen.

Mit Blick in die Zukunft wird deutlich, dass der industrielle Service zunehmend als zentraler Hebel für nachhaltiges Wachstum und Innovationsfähigkeit im produzierenden Gewerbe wahrgenommen wird. Unternehmen, die auf reaktive, proaktive und autonome Servicekonzepte setzen und diese intelligent miteinander kombinieren, werden langfristig nicht nur resilienter, sondern gestalterische Vorreiter einer zirkulären Wirtschaft.

LITERATUR

- [1] Baldassarre, B.: Circular economy for resource security in the European Union (EU): Case study, research framework, and future directions. *Ecological Economics* 227 (2025), pp. 1–16, doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108345
- [2] Sutherland, A. B.; Conde, Á.; Novak, M. et al.: The Circularity Gap Report 2025. Stand: 2025. Internet: global.circularity-gap.world/. Zugriff am 11.11.2025
- [3] Lörsch, K.: Aufwerten statt wegwerfen. Wertsteigernde Kreislaufwirtschaft als Schlüssel zur Nachhaltigkeit. FIR-Flash 4/2023. Internet: epub.fir.de/frontdoor/deliver/index/docId/3202/file/fir_loersch_Kreislaufwirtschaft_Newsletter_2023.pdf. Zugriff am 12.11.2025
- [4] Meyer, A.: Qualität von Dienstleistungen: Entwurf eines praxisorientierten Qualitätsmodells. *Marketing – ZFP Journal of Research and Management* 9 (1987) 3, S. 187–195
- [5] Corsten, H.; Gössinger, R.: Dienstleistungsmanagement. Berlin: De Gruyter Oldenbourg Verlag 2015
- [6] Engelhardt, W.H.; Kleinaltenkamp, M.; Reckenfelderbäumer, M.: Leistungsbündel als Absatzobjekte. *Schmalenbach Journal of Business Research* 45 (1993) 5, S. 395–426
- [7] Schuh, G.; Gudergan, G.; Grefrath, C.: Geschäftsmodelle für industrielle Dienstleistungen. In: Schuh, G.; Gudergan, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Management industrieller Dienstleistungen. Reihe Handbuch Produktion und Management. Band 8. Heidelberg: Springer Vieweg Verlag 2016, S. 65–104
- [8] Kropik, M.: Produktionssysteme für die Automobilindustrie. Digitalisierung des Shop-Floors in der Automobilproduktion. Heidelberg: Springer Vieweg Verlag 2021, S. 319–342
- [9] Jing, Z.; Li, L.; Lyu, Y. et al.: Autonomous Services: The Evolution of Services Through Intelligent Vehicles. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles* 8 (2023) 11, S. 4468–4473, doi.org/10.1109/TIV.2023.3332877
- [10] Canty, R. B.; Koscher, B. A.; McDonald, M. A. et al.: Integrating autonomy into automated research platforms. *Digital Discovery* 2 (2023) 5, pp. 1259–1268, doi.org/10.1039/D3DD000135K
- [11] Arnold, P.V.: Reliability Case Study at Aluminum Plant. Century Aluminum is making a break from its reactive past. Stand: 12.09.2025. Internet: www.reliableplant.com/Read/13578/reliability. Zugriff am 11.11.2025
- [12] Frederiksen, R. D.; Bocewicz, G.; Radzki, G. et al.: Cost-Effectiveness of Predictive Maintenance for Offshore Wind Farms: A Case Study. *Energies* 17 (2024) 13, #3147, doi.org/10.3390/en17133147
- [13] Schaeffler Technologies: OPTIME C1 und FAG OPTIME C4. Mehr als nur automatisch – intelligente Schmierstoffgeber. Internet: medias.schaeffler.de/de/lubricate/lubricators/smart-lubrication. Zugriff am 12.11.2025
- [14] Second Hands: Homepage. Stand: 2025. Internet: secondhands.eu/. Zugriff am: 11.11.2025
- [15] Maximator Hydrogen: Wasserstoff-Verdichtung ohne Zwischenspeicherung. Stand: 2025. Internet: www.maximator-hydrogen.de/newsroom/wasserstoff-verdichtung-ohne-zwischenspeicherung. Zugriff am: 11.11.2025
- [16] Geissdoerfer, M.; Pieroni, M. P.; Pigosso, D. C. et al.: Circular business models: A review. *Journal of Cleaner Production* 277 (2020), #123741, doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741
- [17] Boos, W.: (Vortragsfolien) Upgrade Circular Economy für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit. Vortrag bei den TuWAs-Netzwerktagen, 14.05.2025. FIR e. V. an der RWTH Aachen, Aachen 2025

Regina Schrank, M.Litt. 

regina.schrank@fir.rwth-aachen.de

Franziska Shaker, M.Sc. 

Jan-Philipp Nickel, M.Sc. 

Jonas Schatton, M.Sc. 

FIR e. V. an der RWTH Aachen 
Campus-Boulevard 55, 52074 Aachen
www.fir.rwth-aachen.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)