FACTORY INNOVATION

Agil und smart mit Industrie 4.0

Zirkuläre Produktion

Mehr Kreislauf, weniger Krise

Zirkuläre Wertschöpfung
Für langlebige Maschinen und Materialien

KI wirksam organisieren
Fundament für zukunftsfähige Unternehmen

Vom Nachweis zum Mehrwert
DPP4.0 verbindet Pflicht und Prozesse

Wissen statt entsorgen
Daten gestalten Kreisläufe

Innovationen aus der Berlin
Neue Maßstäbe in der Motorenfertigung

Nachhaltige Produktentwicklung
Zukunftsmotor der Automobilindustrie

Marktüberblick:
Smart Factory Consultants
So finden Sie Partner, die wirklich passen



9 783955 454753

Factory Innovation 5.2026
Oktober 2026
Preis 29,90 €
ISSN 2749-7607

GITO

Anzeige

SIEMENS



Create a better
#TomorrowWithUs

Jetzt bewerben!

Das bieten wir dir



Werkstudierende

Du möchtest während deines Studiums bei einer spannenden Werkstudententätigkeit Praxiserfahrung sammeln?

Pflichtpraktikum

Du möchtest während deines Studiums bei einem spannenden Praktikum Praxiserfahrung sammeln?

Abschlussarbeit

Du möchtest deine Abschlussarbeit (Bachelor / Master) in einem internationalen Unternehmen schreiben und Theorie mit Praxis verbinden?

Wenn du noch Fragen zur Bewerbung hast, wende dich gerne an: www.siemens.de/fragenzurbewerbung

Übrigens: Handicap und Karriere sind kein Widerspruch, für uns zählt das Potential, das du mitbringst!

Du findest uns unter: https://www.siemens.com/karriere

Jetzt bewerben!



theuer@factory-innovation.de

Liebe Leserin, lieber Leser,

eine Maschine ist nicht wertlos, nur weil sie ihren ersten Zweck erfüllt hat. Ein Bauteil wird nicht automatisch zum Abfall, nur weil es aus einer Anlage ausgebaut wird. Und ein Material verliert nicht seinen Wert, nur weil seine erste Nutzung endet. Trotzdem behandeln wir industrielle Erzeugnisse noch viel zu häufig so.

Angesichts knapper werdender Rohstoffe, volatiler Lieferketten und der ökologischen Folgen unseres Wirtschaftens können wir uns diese Haltung jedoch nicht mehr leisten. Wir müssen unsere Perspektive ändern: weg vom linearen Denken, hin zu einer Industrie, die Materialien, Maschinen und Komponenten möglichst lange im Einsatz hält.

Eine Maschine kann modernisiert, ein Bauteil repariert, eine Anlage umgerüstet und eine Komponente weiterverwendet werden. Was heute als ausgedient gilt, kann morgen wieder produktiv sein. Kreislaufwirtschaft beginnt deshalb nicht beim Recycling. Sie beginnt mit der Frage, wie sich vorhandener Wert erhalten lässt.

Daraus resultiert eine zentrale Problematik: Wie lassen sich Produkte und Komponenten nach ihrer ersten Nutzungsphase möglichst wertschonend weiterführen – durch Reparatur, Aufarbeitung oder Recycling? Die richtige Wahl hängt von ihrem Zustand, den eingesetzten Materialien, ihrer Nutzungsgeschichte und den technischen Möglichkeiten ab.

Was heute als ausgedient gilt, kann morgen wieder produktiv sein.

Dafür braucht es verlässliche Daten. Betriebsbedingungen, Belastungen, Wartungshistorien sowie Material- und Demontageinformationen zeigen, welches Potenzial in einer Komponente noch steckt. Der Digitale Produktpass kann diese Informationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg verfügbar machen – von Entwicklung und Produktion über Betrieb und Instandhaltung bis zu Rücknahme, Wiederverwendung und Recycling.

Damit der Digitale Produktpass jedoch mehr als eine Sammlung von Informationen wird, sind funktionierende Datenflüsse über Unternehmensgrenzen hinweg erforderlich. Transparente Lieferketten, interoperable Systeme und gemeinsame Datenräume sind dafür entscheidend. Die Digitalisierung ist kein Selbstzweck, sondern muss bessere Entscheidungen darüber ermöglichen, was mit einem Produkt und seinen Komponenten als Nächstes geschieht.

Die Beiträge dieser Ausgabe der Factory Innovation zeigen die Kreislaufwirtschaft aus unterschiedlichen Blickwinkeln und machen deutlich, wie vielfältig die Ansätze und Potenziale dieses wichtigen Zukunftsthemas sind. Ich hoffe, dass die Lektüre neue Perspektiven eröffnet, Impulse gibt und zum Weiterdenken anregt.

Ihre Hanna Theuer

Inhalt



© Adobe Stock/Anon



© Adobe Stock/ Laura, Anna

Kreislaufwirtschaft

8 **R-Grading verbessert Zirkularität**

Reparieren, aufarbeiten oder recyceln? Sicher ausgetauschte Nutzungs- und Zustandsdaten schaffen die Basis für fundierte Entscheidungen über gebrauchte Maschinenkomponenten – ohne sensible Prozessinformationen offenzulegen

Digitaler Produktpass

42 **Von der Pflicht zum Mehrwert**

Der Digitale Produktpass wird zur Eintrittskarte für den europäischen Markt. Wer seine Produktdaten jetzt strukturiert und vernetzt, sichert regulatorische Anforderungen ab und erschließt neue digitale Wertschöpfung

Kreislaufwirtschaft

8 **R-Grading verbessert Zirkularität**
Daten als Schlüssel für Langlebigkeit

14 **Nachhaltige Produktentwicklung**
Zirkuläre Produkte als Zukunftsmotor der Automobilindustrie

20 **Remanufacturing als Produktion des 21. Jahrhunderts**
Wertschöpfung durch zweites Produktleben

26 **Smart Factory trifft Circular Economy**
Produktionskreisläufe mit Robotik und immersiven Technologien schließen

34 **Von vertrauenswürdigen Daten zur Materialrückgewinnung**
Technologische Bausteine für eine zirkuläre Wertschöpfung

Variantenvielfalt

49 **ERP als Wettbewerbsvorteil**
Vom Kundenwunsch direkt in die Produktion

Innovation

40 **Digitale Zukunft der Produktion aus Berlin**
Mercedes-Benz setzt neue Maßstäbe in der Motorenfertigung

Digitaler Produktpass

42 **Von der Pflicht zum Mehrwert**
Digitaler Produktpass 4.0 macht Produktprozesse interoperabel

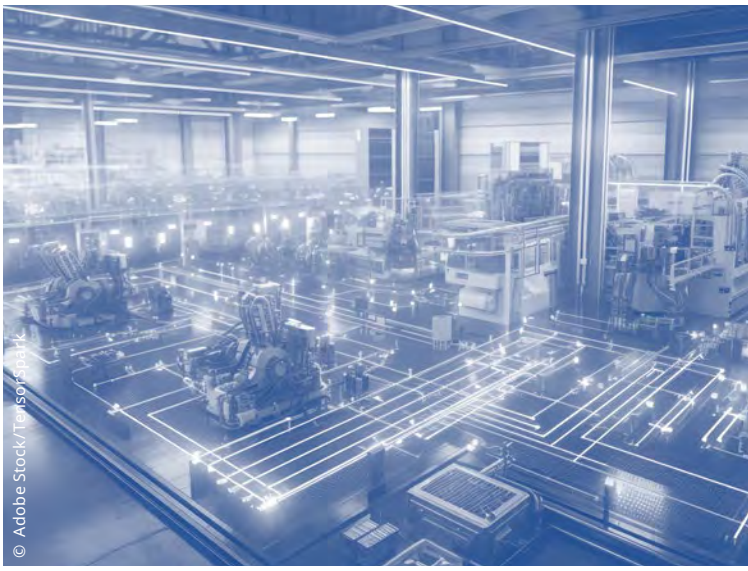
50 **Produktpass mit Mehrwert**
Transparente Produktinformationen stärken die Kreislaufwertschöpfung

Energie und Ressourcen

56 **Mehr Flexibilität, geringere Stromkosten?**
Was volatile Strommärkte für die Energiebeschaffung im Mittelstand bedeuten



Oktober 2026



Lernfabriken

76 **Lernfabrik Globale Produktion in Karlsruhe**

Lernfabriken machen digitale Technologien greifbar – vom ersten Test bis zur Anwendung im eigenen Betrieb. Unsere neue Serie stellt Orte vor, an denen Interessierte Wissen aufbauen, Vertrauen gewinnen und Veränderung aktiv gestalten können

Marktübersicht

82 **Smart Factory Consultants**

Smart Factory Consultants machen Digitalisierung wirksam: Sie identifizieren Potenziale, verbessern Prozesse gezielt und begleiten die nachhaltige Umsetzung innovativer Lösungen. So entsteht die Basis für eine agile und wettbewerbsstarke Produktion

Künstliche Intelligenz

66 **11 KI-Lizenzen machen noch keine Mannschaft**
Klare Spielidee und Rollen machen KI zum Spielmacher

Lernfabriken

76 **Praxisraum für Wandel und Technologie im Porträt**
Lernfabrik Globale Produktion in Karlsruhe

Personen, Interviews

6 **Autorinnen und Autoren**

62 **Kreislaufwirtschaft: von der Forschung in die Fabrik**
Interview mit VITO, Belgien

72 **Kunststoff als Schlüssel für die Kreislaufwirtschaft**
Interview mit PlasticsEurope Deutschland e. V.

Marktüberblick

82 **Smart Factory Consultants**
Kompetenzen, Leistungen, Methoden

Service und Daten

3 Editorial
Was heute als ausgedient gilt, kann morgen wieder produktiv sein
94 Erwähnte Unternehmen
95 Anbieterportal
98 Ausblick | Impressum

Nachrichten

32 Anwendungen
33 Innovationen
39 Veranstaltungen
48 Menschen
74 Produkte
75 Unternehmen

Titelbild: © Adobe Stock/Parilov

Autorinnen und Autoren



Nachhaltig unterwegs

Dr. Ferdinand Revellio

ist Principal Key Expert für Circularity bei der Siemens AG und beschäftigt sich seit zehn Jahren mit Circular Economy. Als Wirtschaftsingenieur verbindet er Erfahrungen aus Industrie, Beratung und Forschung und entwickelt Lösungen für eine nachhaltigere Wirtschaft.

Auch privat ist er gern nachhaltig und aktiv unterwegs: mit dem Fahrrad, beim Entdecken neuer Landschaften oder beim Segeln auf offenem Wasser. Er schätzt den Wechsel zwischen Bewegung an Land und der Freiheit auf dem Wasser.



Ganzheitliche Ingenieurin

Dr. Dina Barbian

ist Diplom-Wirtschaftsingenieurin, promovierte Nachhaltigkeitsökonomin und Geschäftsführerin des eco2050 Instituts für Nachhaltigkeit in Nürnberg. Seit über 30 Jahren verbindet sie Nachhaltigkeit mit Technologie, Digitalisierung und Produktion, mit Fokus auf Sustainable AI, Circular Economy und Twin Transition – auch als Speakerin und Autorin.

Ihr Interesse an nachhaltigen Lebensweisen verbindet sich mit ihrer Begeisterung für Sprachen, andere Kulturen und Ernährung. Gern ist sie zudem mit dem Fahrrad unterwegs.



Digital vernetzt

Dr. Angelina Marko

denkt Digitalisierung aus der Perspektive der Industrie: von Industrial AI und Datenökosystemen bis zum Digitalen Produktpass. Dabei interessiert sie besonders, wie aus Daten, Standards und neuen Technologien Lösungen entstehen, die nicht im Pilotprojekt bleiben, sondern in der Breite funktionieren.

Privat darf es ebenfalls strategisch werden, etwa bei einer Runde 7 Wonders oder Die Siedler von Catan. Für den Perspektivwechsel zieht es sie dagegen regelmäßig in die USA, am liebsten auf Reisen abseits der klassischen Touristenrouten.



KI trifft Fußball

Dejan Todorovic

hat Elektrotechnik studiert und einen MBA mit Schwerpunkt Künstliche Intelligenz erworben. Als Experte für Digitalisierung und Transformation verbindet er technologisches Know-how mit strategischem Blick und umfassender Erfahrung im Change Management. Auch abseits der Digitalisierung prägen ihn Strategie und Teamarbeit.

Er besitzt das UEFA-A-Diplom und engagiert sich seit vielen Jahren als Fußballtrainer. Derzeit arbeitet er an seinem Buch „Die KI-Champions League – 11 KI-Lizenzen machen noch keine Mannschaft“.

Seite **8** **Kreislaufwirtschaft**

Seite **26** **Kreislaufwirtschaft**

Seite **42** **Digitaler Produktpass**

Seite **66** **Künstliche Intelligenz**

Anzeige

Factory Innovation Awards

Online Pitch 2027

Smart Factory im Rampenlicht

Innovative Lösungen und wegweisende Anwendungen

FACTORY INNOVATION AWARDS 2027

Interessiert an Smart-Factory-Trends und Innovationen?
Als **Zuschauer** kostenfrei anmelden, Inspiration sichern,
Fachwissen erweitern und up to date bleiben!

Sind Sie **Anbieter**, Anwender,
Forschungs- oder Weiterbildungseinrichtung?
Pitchen Sie online Ihre Lösung und überzeugen Sie Jury &
Publikum mit Innovation und Alleinstellungsmerkmalen.

Anmeldung 2027

Sieger 2026

Ferdinand Revellio

R-Grading verbessert Zirkularität

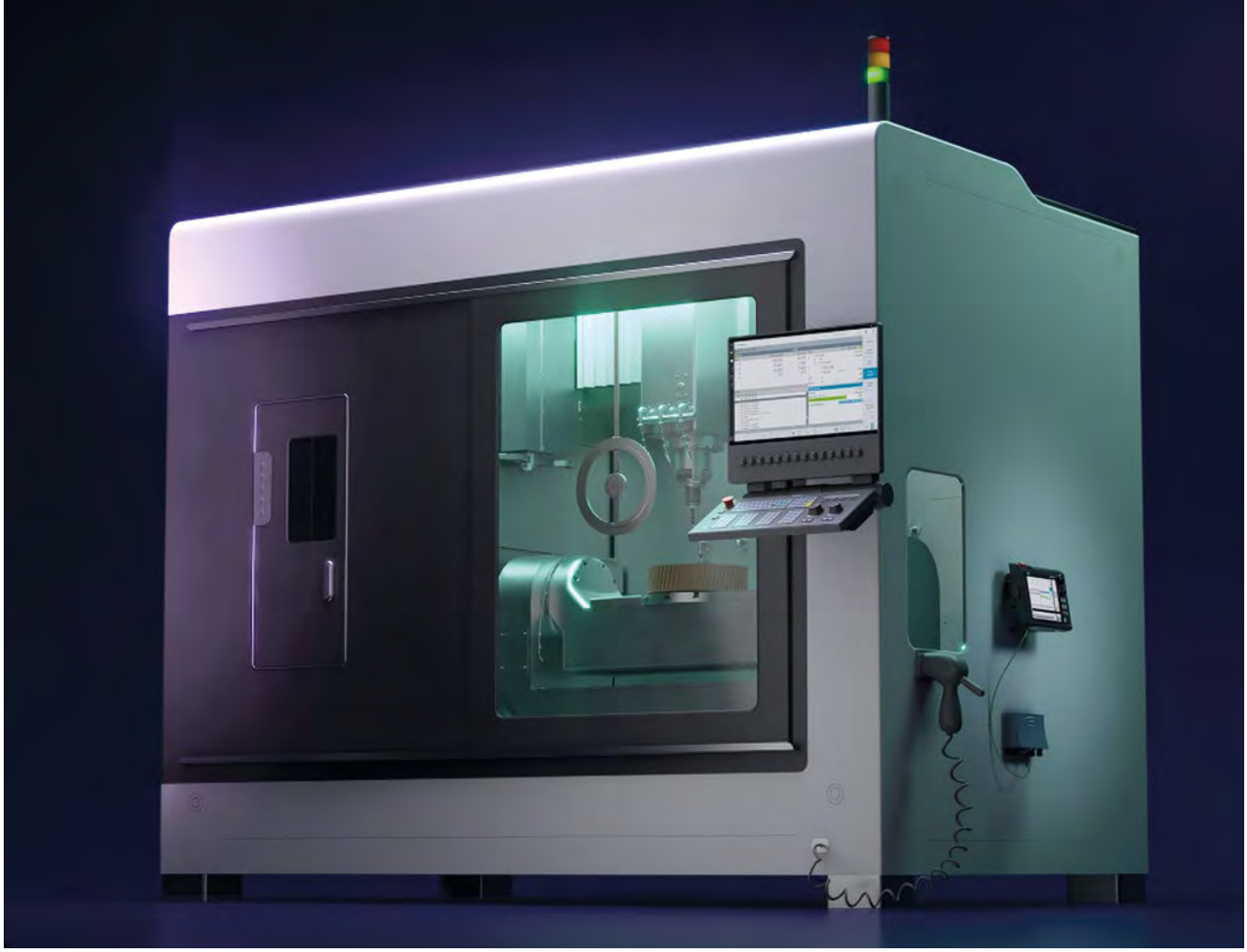
Daten als Schlüssel für langlebige Maschinen und Komponenten





© Adobe Stock/Anon

Ob eine gebrauchte Maschinenkomponente weiterläuft, repariert, aufgearbeitet oder recycelt wird, entscheidet sich heute oft noch mit Erfahrung, Bauchgefühl und wenigen verfügbaren Daten. Der herstellerübergreifende Factory-X Use Case „Circular Economy“ setzte genau hier an: Fabrikbetreiber, Maschinenbauer und Komponentenlieferanten sollen relevante Nutzungs- und Zustandsdaten sicher austauschen können, ohne sensible Prozessinformationen offenzulegen. Auf Basis der Asset Administration Shell, des MX-Port-Leo-Konzepts und einer prototypischen R-Grading Workflow App soll eine spezialisierte Interoperabilitätslösung für datenbasierte R-Entscheidungen entstehen.



Werkzeugmaschine © Siemens

Wenn eine Maschine umgebaut wird oder eine Linie ausläuft, stellt sich automatisch die Frage: Wie ist der Zustand der Maschine und was bedeutet das für ihre Komponenten? Es sind Antriebe, Spindeln, Energieketten, Ventilinseln und viele weitere Komponenten vorhanden.

Könnten diese Komponenten technisch vielleicht weitergenutzt werden oder lohnt sich eher eine Aufarbeitung? Möglicherweise ist aber auch das Recycling die bessere Entscheidung. In der Praxis ist diese Frage selten einfach zu beantworten. Häufig fehlen genau die digitalen Informationen, die für eine belastbare Entscheidung nötig wären: Wie wurde die Komponente tatsächlich im Betrieb belastet? Welche Temperaturen, Lastwechsel oder Betriebszustände hat sie gesehen? Und welches Wissen liegt beim Betreiber, beim Maschinenbauer oder beim Komponentenlieferanten dazu vor?

Maschinen haben keine einfache Schwacke-Liste

Die Analogie zur Schwacke-Liste aus der Automobilwelt hilft, das Problem zu erklären: Dort gibt es etablierte Verfahren, um den Restwert eines Fahrzeugs einzuordnen. Im Maschinenbau ist die Situation deutlich komplexer. Maschinen laufen oft über viele Jahre, werden umgerüstet, instandgesetzt und mit Komponenten unterschiedlicher Lebensdauer betrieben. Ein pauschaler Blick auf Alter oder Betriebsstunden reicht deshalb üblicherweise nicht aus. Benötigt wird eine gemeinsame digitale, geschäftsprozessgeeignete Entscheidungsgrundlage, die Nutzung, Zustand und Produktwissen zusammenbringt.

Genau daran arbeitete Factory-X im Use Case Circular Economy. Industrielle und akademische Partner aus Maschinenbau, Komponentenindustrie und Softwareentwicklung untersuchten eine mögliche Infrastruktur, die prototypisch umgesetzt wurde, mit der sogenannte R-Entscheidungen besser digital vorbereitet werden können: weiternutzen, reparieren, refurbishen, remanufacturen oder recyceln. Der Leitgedanke ist einfach, aber anspruchsvoll: „Close the Loop – for Multiple Lives“.

R-Grading: Aus verteiltem Wissen wird eine Entscheidung

Beim R-Grading geht es nicht darum, einen universellen Algorithmus zu bauen, der jede Maschine und jede Komponente gleich bewertet. Dafür sind Produkte, Belastungsprofile und Geschäftsmodelle zu unterschiedlich.

Der Kern von Factory-X ist vielmehr die Interoperabilität: Wie kommen die richtigen Daten zur richtigen Stelle? Wie kann ein Komponentenlieferant seine eigene, möglicherweise geschützte Bewertungslogik automatisiert anwenden? Und wie erhält der Fabrikbetreiber am Ende eine verständliche digitale Empfehlung, ohne dass alle Beteiligten ihr internes Know-how offenlegen müssen?

Die Rollen sind im Factory-X-Projekt bewusst getrennt. Der Fabrikbetreiber kennt die reale Nutzung und betreibt die Maschine. Der Maschinenbauer kennt Aufbau, Stückliste und Systemzusammenhang. Der Komponentenlieferant kennt die Auslegung, typische Ausfallmechanismen und mögliche Grading-Modelle seiner Komponente. Erst wenn diese Perspektiven zusammengeführt werden können, entsteht eine brauchbare Grundlage für die empfohlene R-Strategie. Die R-Grading Workflow App von Factory-X übernimmt in diesem Bild nicht die Rolle einer magischen Bewertungsmaschine. Sie orchestriert prototypisch den Prozess: Daten anfragen, Berechtigungen prüfen, Grading Requests auslösen, Ergebnisse zurückführen und für den Betreiber verständlich machen.

Unser Demonstrator

In den Factory-X-Demonstratoren wurde dieser Ablauf an einer DMG MORI Werkzeugmaschine bei Fraunhofer IWU in Dresden und bei einer Maschine von TRUMPF in Ditzingen prototypisch gezeigt. Untersucht wurden ausgewählte Maschinenkomponenten wie die Hauptspindel, Antriebs- und Steuerungstechnik, Kugelgewindetrieb, Energiekette und Pneumatiksystem. Dabei muss nicht jede Komponente selbst „smart“ sein. Auch passive Bauteile wie der Kugelgewindetrieb könnten bewertet werden, wenn geeignete Maschinendaten indirekt zur Verfügung stehen, etwa Bewegungsprofile, Lastkollektive, Achsbewegungen oder Schaltspiele.

Das macht den Use Case interessant. Denn viele Brownfield-Umgebungen bestehen nicht aus perfekt digitalisierten und durchsensorisierten Komponenten. Die Frage ist eher: Welche Daten sind heute schon digital verfügbar, wie lassen sie sich sinnvoll verdichten und wie können sie so geteilt werden, dass sie für eine Zustandsbewertung von gebrauchten Komponenten ausreichen?

Daten teilen, ohne die Fabrik offenzulegen

Der entscheidende Zielkonflikt liegt auf der Hand: Für eine gute R-Entscheidung benötigt der Komponentenlieferant geeignete Nutzungsdaten. Der Fabrikbetreiber möchte aber nicht seine Produktionshistorie offenlegen. Rohdaten aus Steuerung, Antrieb oder Sensorik könnten Rückschlüsse auf Taktzeiten, Programme, Werkstücke oder spezifische Fertigungsverfahren ermöglichen. Genau hier entscheidet sich, ob ein Datenraum in der Praxis Vertrauen schafft oder nicht.

Das Vorgehen im Use Case war pragmatisch: Daten werden möglichst nah an der Maschine vorverarbeitet, beispielsweise auf einer Industrial Edge. Statt jede einzelne Messkurve unternehmensübergreifend zu übertragen, werden eingangs im Demonstrator Betriebsdaten in Histogrammen zusammengefasst. Vereinfacht gesagt: Es wird nicht jeder Moment geteilt, sondern die Verteilung der relevanten Zustände. Wie häufig traten bestimmte Lastbereiche auf? Welche Temperaturfenster wurden erreicht? Wie oft gab es definierte Bewegungs- oder Schaltvorgänge? Für die Bewertung reicht diese verdichtete Sicht häufig aus. Gleichzeitig bleibt das Prozesswissen des Betreibers geschützt, das Datenvolumen bleibt beherrschbar und die Informationen lassen sich zukünftig in AAS-Submodellen (Asset Administration Shell) strukturiert über Unternehmensgrenzen hinweg kontrolliert und anonymisiert weitergeben.

MX-Port Leo und AAS: Die Technik im Hintergrund

Damit dieser Austausch nicht als Einzellösung endet, nutzt Factory-X die Asset Administration Shell (AAS) als standardisierten digitalen Informationscontainer. Relevante Informationen wie digitales Typenschild, hierarchische Struktur, Historie, Operational Data und R-Decision werden im Projekt als AAS beschrieben, sodass sie über Unternehmensgrenzen hinweg interpretierbar bleiben. Erste Erfahrungen fließen in die Standardisierung bei der IDTA (Industrial Digital Twin Association e. V.) in ein R-Strategy-Submodel ein.

Das Konzept des MX-Port Leo soll zukünftig die Rolle der Austausch- und Governance-Schicht im Datenraum

Die Rollen im R-Grading-Workflow

Der Fabrikbetreiber startet den Prozess und stellt Nutzungs- und Zustandsdaten bereit. Der Maschinenbauer liefert Strukturwissen zur Maschine, etwa Stückliste, Komponentenbeziehungen und Systemkontext. Der Komponentenlieferant bewertet seine Komponente mit eigener Fachlogik und gibt eine R-Empfehlung zurück, etwa Weiterbetrieb, Repair, Refurbish, Remanufacture oder Recycling. Wichtig ist: Nicht jeder Akteur muss alles wissen. In Zukunft hilft dabei der Datenraum, die jeweils benötigten Informationen gezielt und kontrolliert auszutauschen.

Histogramme als Vertrauensbaustein

Histogramme verdichten Betriebsdaten direkt an der Maschine. Statt vollständige Zeitreihen zu teilen, werden Häufigkeitsverteilungen übertragen: Wie oft lag eine Komponente in einem bestimmten Last-, Temperatur- oder Bewegungsbereich? Dadurch bleibt das Datenvolumen konstant und sensible Prozessdetails werden weniger sichtbar. Für das R-Grading entsteht trotzdem eine belastbare Grundlage, weil die relevanten Belastungsmuster erhalten bleiben.

übernehmen. Praktisch bedeutet das: Partner könnten Daten bereitstellen, anfragen und nutzen, ohne die Kontrolle über ihre Informationen vollständig abzugeben. Zugriffsrechte, Nutzungsregeln und technische Schnittstellen werden nicht nach jedem bilateralen Projekt neu erfunden, sondern in einer wiederverwendbaren Architektur unter Nutzung von Standards zusammengeführt. Für Unternehmen ist das entscheidend, weil zirkuläre Geschäftsmodelle nur skalieren, wenn der Datenaustausch nicht jedes Mal als Sonderprojekt aufgesetzt werden muss.

Was heute funktioniert – und was noch an Arbeit bleibt

Die prototypischen Demonstratoren zeigen, dass ein durchgängiger Ablauf prinzipiell möglich ist: Maschinendaten können erfasst, verdichtet, in AAS-Strukturen geschrieben, über den Datenraum geteilt und von komponentenspezifischen Grading Services ausgewertet werden. Dies wäre ein wichtiger Schritt weg von isolierten, erfahrungsbasierten Bewertungen hin zu einer gemeinsamen, datenbasierten Entscheidungsgrundlage.

Gleichzeitig wäre es falsch, daraus bereits einen fertigen Industriestandard abzuleiten. In Brownfield-Umgebungen sind Daten oft unvollständig, Stücklisten nicht immer aktuell und benötigte Signale nicht automatisch verfügbar. Komponentenlieferanten müssen klären, welche Daten sie für ihre Bewertungslogik wirklich benötigen würden.

Maschinenbauer müssen entscheiden, welche Daten sie zugänglich machen könnten. Und Betreiber müssen einen klaren Mehrwert erkennen, damit sie Datenbereitstellung und Prozessintegration priorisieren. Genau diese Punkte machen den Use Case so praxisrelevant: Er zeigt nicht nur die Technologie, sondern auch die organisatorischen Fragen auf dem Weg zur Skalierung.

Fazit: R-Grading für bessere Kreislaufentscheidungen

Factory-X zeigt, dass Kreislaufwirtschaft im Maschinenbau insbesondere ein Informationsproblem ist. Viele Komponenten haben technisch noch einen Wert, aber dieser Wert wird nicht sichtbar, wenn Nutzungsdaten, Produktwissen und Bewertungslogik in getrennten Silos bleiben. R-Grading schafft hier keinen Ersatz für Fachwissen, sondern eine gemeinsame digitale Grundlage, um Fachwissen besser nutzbar zu machen.

Das hat Vorteile für alle Partner der Wertschöpfungskette. Für Fabrikbetreiber kann das bedeuten: Intakte Komponenten bleiben länger im Einsatz, statt vorschnell ausgebaut oder verschrottet zu werden – das senkt Kosten und spart Ressourcen. Für Maschinenbauer und Komponentenlieferanten können neue Ansatzpunkte für Service, Rücknahme, Remanufacturing und datenbasierte Geschäftsmodelle entstehen.

Und für den Maschinenbau insgesamt könnte eine Infrastruktur entstehen, die anschlussfähig an digitale Produktinformationen und künftige Digital-Product-Passport-Anforderungen ist. Der nächste Schritt ist weniger spektakulär, aber entscheidend: aus dem Proof of Concept robuste Prozesse machen, die im Alltag von Fabriken, Serviceorganisationen und Lieferketten funktionieren.

Der Beitrag ist im Rahmen des vom BMWE geförderten Konsortiumsprojektes Factory-X entstanden. An den Ergebnissen waren neben dem Autor des Beitrags folgende Personen beteiligt: Martina Asmuss, Dominik Rohrmus, Thomas Sievers, Benedikt Hofer, Victoria Pohl, Richard Habering, Mostafa Biglari, Maximilian Kühn, Michael Baumann, Tobias Greff, Andreas Kronz, Martin Koerdel, Ingo Sawilla, Florian Rothenberger, Seonhi Ro, Lena Engel, Jan Büscher, Sebastian Schneider, Albrecht Hänel, Anna Haslach.

Das Konzept MX-Port Leo

Das Konzept des MX-Port Leo beschreibt, wie Daten in einem Manufacturing-X-Datenraum auffindbar, zugänglich und kontrolliert nutzbar werden. Im R-Grading-Kontext soll er AAS-basierte Informationsmodelle mit Zugriffs- und Nutzungsregeln verbinden. Für Praktiker ist weniger die einzelne technische Schicht entscheidend, sondern der Effekt: Unternehmen könnten Daten teilen, ohne ihre Souveränität über die Daten vollständig aufzugeben.

MEHR ALS EIN ERP canias

Canias ist eine flexible, intelligente Business-Lösung, die ERP, IoT und Big Data verbindet. Mit offener Architektur, IAO-Technologie und TROIA-Entwicklungsumgebung bietet es höchste Flexibilität im Standard und einfache Systemintegration.

FLEXIBEL

STANDARDISIERT

INTEGRIERT

INNOVATIV

NACHHALTIG



Wir, die Industrial Application Software IAS, arbeiten für die digitale Transformation unserer Kunden. Als mittelständische, international tätige Unternehmens-Gruppe und mit über 35 Jahren Erfahrung unterstützen wir Unternehmen aller Größenordnungen in unterschiedlichsten Branchen - unsere Lösung Canias wird in über 30 Ländern von über 70.000 Anwendern täglich erfolgreich genutzt.

FACTORY INNOVATION AWARD 2026
GOLD
Anbieter Nachhaltigkeit
Industrial Application Software

FACTORY INNOVATION
AWARDS 2025
FINALIST
ZUSCHAUERFAVORIT

ERP-System des Jahres
AWARDS 2024
FINALIST
in der Kategorie
Variantenreiche Fertigung
IAS Canias

Überwachen Sie Ihren CO2-Fußabdruck in Echtzeit!

ias Industrial Application Software

Alexander Appel

Nachhaltige Produktentwicklung

Zirkuläre Produkte als Zukunftsmotor der Automobilindustrie





© Adobe Stock/Silhouette_Studio

Die Europäische Union gibt mit der neuen Fahrzeugverordnung verbindliche Pflichten für die ressourcenschonende Herstellung vor, wobei zu erwarten ist, dass andere Industrien diesem Beispiel folgen werden. Unternehmen sollten frühzeitig Maßnahmen treffen, um Abfälle zu minimieren und Produkte möglichst lange im Wirtschaftskreislauf zu halten. Voraussetzung dafür ist ein designorientierter Ansatz.



Bild 1: Stärkere kreislauforientierte Verordnungen der EU für die Automobilbranche könnten auch in anderen Industrien folgen © AdobeStock

Im Juni hat die EU strengere kreislauforientierte Verordnungen für die Automobilbranche angekündigt. Die Anforderungen umfassen den gesamten Lebenszyklus, von der Ideengenerierung und Planung bis zum Ende der Nutzungsdauer. Im Fokus steht die nachhaltige Konstruktion sämtlicher Fahrzeuge. Die neuen Vorschriften sollen sicherstellen, dass unter anderem Pkw, Lkw und Motorräder so gestaltet und hergestellt werden, dass Bauteile später besser wiederverwendet, recycelt und verwertet werden können. Bis 2030 müssen schrittweise mindestens 25 % des verwendeten Kunststoffes recycelt sein. Davon müssen mindestens 20 % aus Altfahrzeugen gewonnen werden. Rezyklatquoten für weitere Rohstoffe wie Stahl und Aluminium folgen noch.

Was heute Pflicht ist, kann sich jedoch zur Chance entwickeln: Studien zeigen, dass allein durch Materialoptimierungen und einfache Dekarbonisierungsmaßnahmen in der Produktentwicklung der CO_2e-Fußabdruck eines Fahrzeuges um bis zu 66 % reduziert werden kann – und das bei gleichbleibenden Kosten. Darüber hinaus machen sich Unternehmen unabhängiger von globalen Märkten und Lieferketten.

Nachhaltigkeit als Kernelement in der Produktentwicklung

Neu ist das Thema Kreislaufwirtschaft für die Automobilbranche nicht: Fahrzeugdemontage, Materialrückgewinnung und regulatorisches Reporting gehören seit vielen Jahren zum operativen Alltag. Neu sind jedoch der erweiterte Umfang, die stärkere finanzielle und organisatorische Verantwortung im Rahmen der Extended Producer Responsibility (EPR) und das Maß an Nachweisbarkeit, das künftig erforderlich ist, um erhöhte Anforderungen belastbar zu erfüllen. Es geht nicht mehr vornehmlich nur um das ordnungsgemäße Ende der Nutzungsdauer und den Umgang mit Altfahrzeugen, sondern ausdrücklich um den gesamten Produktlebenszyklus. Bestimmte nachhaltige Aspekte müssen bereits in der Entwicklungsphase berücksichtigt werden und nicht erst im nachgelagerten Prozess.

Hier gibt es Nachholbedarf: Aktuell haben erst rund 20 % der Unternehmen Nachhaltigkeit in der Produktentwicklung verankert.

Extended Producer Responsibility

EPR ist eine EU-Richtlinie zur erweiterten Herstellerverantwortung, wonach Unternehmen, die Produkte auf den Markt bringen, auch die finanzielle und organisatorische Verantwortung für die Entsorgung der nach Gebrauch anfallenden Abfälle übernehmen. Dies bezieht sich in erster Linie auf Verpackungen, Elektrogeräte und Batterien und umfasst neben der Entsorgung und dem Recycling auch die Rücknahme. Die EU-Direktive wird von jedem Land selbst in nationales Recht übersetzt, was bedeutet, dass Sie sich bei Exporten an die Richtlinien des Zielmarkts halten müssen. Ziel der EU-Direktive für die EPR ist es, die Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus hinweg bis zum Recycling zu reduzieren.

Hier greifen die R-Strategien als Framework der Kreislaufwirtschaft ein, da diese das übergeordnete Ziel verfolgen, den Verbrauch natürlicher Ressourcen zu reduzieren und die Kreislaufführung von Materialien zu unterstützen.

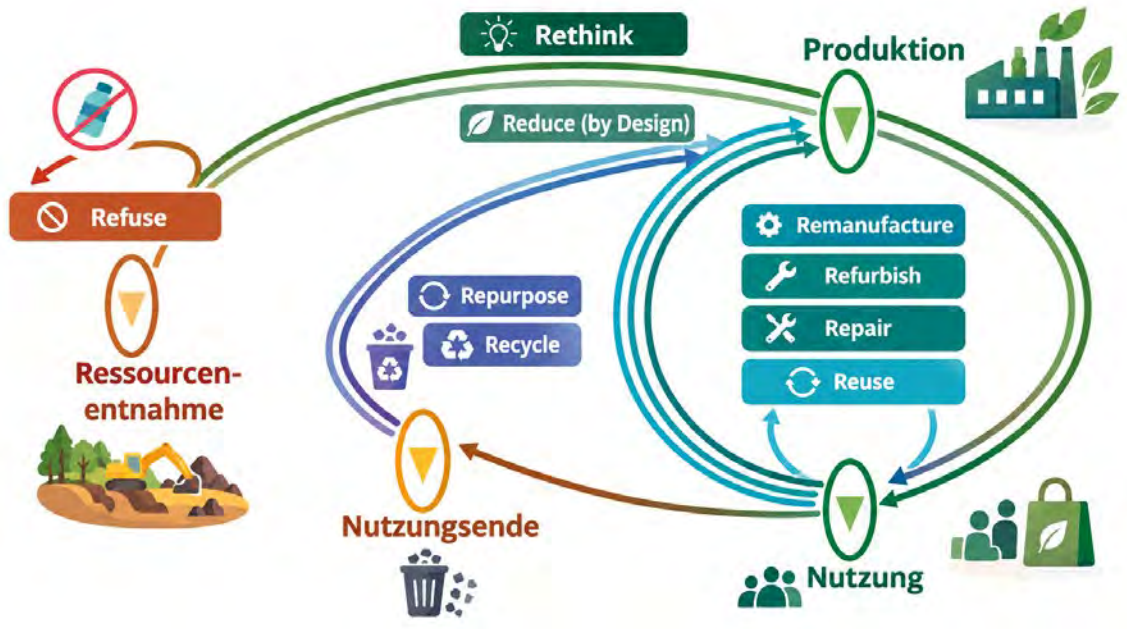
Vor diesem Hintergrund gewinnt eine zirkuläre Strategie innerhalb der Circular Economy zunehmend an Bedeutung: Reduce by Design. Diese Methode setzt bereits bei der Ideengenerierung und Planung innovativer Produkte an und soll den Verbrauch an natürlichen Ressourcen und die Abfallentstehung vermeiden beziehungsweise minimieren. Dies gelingt, indem Unternehmen dazu motiviert werden, bereits bei der Produktentwicklung eine lange Lebensdauer, geringe Wartungsintensität und hohe Reparaturfreundlichkeit mitzudenken.

Gleiches gilt für Remanufacturing, wo das Produkt bereits bei seiner Entstehung für eine mögliche Wiederverwendung gebrauchter Austauschkomponenten konzipiert wird („Remanufacturing by Design“). Dadurch können bis zu 75 % Rohmaterial und Energie eingespart werden, was wiederum einen erheblichen Einfluss auf den CO_2-Fußabdruck hat, da sich dieser im Vergleich zur Neuteilanfertigung um über 50 % verringern kann. Das zeigen verschiedene bereits etablierte zirkuläre Geschäftsmodelle wie Full-Services für Instandhaltung und Reparatur von handgeführten Elektrowerkzeugen, Wärmepumpen-Contracting oder Pay-per-Performance-Modelle für Laservollautomaten im Dienstleistungsbereich.

Zero-Impact-E-Auto als Beispiel aus der Praxis

Ein langfristiges Ziel der Produktentwicklung kann die Etablierung von Zero Impact Products sein. Ein Praxisbeispiel aus der Automobilindustrie zeigt, dass rund 88 % der Emissionen durch die vorgelagerte Wertschöpfungskette und insbesondere durch die verwendeten Materialien und die Herstellung der Batterie eines E-Autos bestimmt werden. In der Produktentwicklung wird unter anderem darüber entschieden, welche Mate-

Bild 2: Übersicht aller R-Strategien der Circular Economy © KI-generiert mit Hilfe von ChatGPT



rialien zur Verwendung kommen. Dementsprechend groß ist auch das Potenzial zur Dekarbonisierung und zur Reduktion negativer Umweltauswirkungen insgesamt. So lässt sich beispielsweise durch die Verwendung von Sekundäraluminium im Vergleich zu Primäraluminium der CO_2e-Fußabdruck je Kilogramm Aluminium um bis zu 77 % senken.

Neben Prinzipien des Circular Design und der Ökodesign-Richtlinie, nach denen Produkte möglichst modular und wiederverwertbar konstruiert werden sollen, müssen Produktentwickler künftig auch Business-Kompetenzen erwerben. Dazu gehören Kenntnisse über Geschäftsmodelle, die konkrete Produktnutzung sowie die Ökosysteme, in denen die zu entwickelnden Produkte eingesetzt werden.

Einen ersten Ansatz dazu liefert Systems Engineering. Hierbei handelt es sich um eine Methode, die mittels Systemdenken und integrativen Vorgehensmodellen die Grundlage für eine besonders weitreichende und beschleunigte Entwicklung von technisch komplexen Produkten darstellt. Systems Engineering ist eine Verfahrensweise, die das Zusammenarbeitsmodell in der Produktentwicklung neu definiert.

Für die Entwicklung von Zero Impact Products ist die Operationalisierung der Vermeidung negativer Umweltauswirkungen notwendig. Diese müssen in messbare Ziele überführt und in Produktentwicklungsprozessen (PEP) verankert werden. Dazu gehören beispielsweise quantifizierte Dekarbonisierungsziele, der prozentuale oder absolute Anteil von Rezyklaten am Produktgewicht sowie der Anteil erneuerbarer Materialien am Produkt.

Global Circularity Protocol

Das World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) hat gemeinsam mit dem One Planet Network das Global Circularity Protocol for Business (GCP) veröffentlicht. Das freiwillige globale Rahmenwerk schließt die Lücke bei der Messung von zirkulärer Wertschöpfung und bietet Unternehmen einen klaren Prozess, um Materialflüsse zu analysieren, zirkuläre Geschäftsmodelle zu bewerten und Kennzahlen in Strategie und Berichterstattung zu integrieren. Dabei arbeitet das GCP mit standardisierten Scopes für Materialflüsse und einem Set von Kernindikatoren, die von ersten Pilotbewertungen (Level „Initiation“) bis hin zu umfassenden, unternehmensweiten Analysen (Level „Consolidation“) eingesetzt werden können.

Im Optimalfall wird nicht nur ein Umweltziel fokussiert, sondern mehrere werden miteinander kombiniert, um negative Umweltauswirkungen möglichst umfassend zu reduzieren.

Im Rahmen einer ganzheitlichen Dekarbonisierungsstrategie gilt es, Dekarbonisierungsziele für einzelne Produkte und jedes einzelne Bauteil festzulegen. Für Zero Impact Products ist das relativ eindeutig: 0 kg CO_2e-Emissionen über den gesamten Produktlebenszyklus. Aufgabe des Bauteilverantwortlichen ist es, Maßnahmen zur Dekarbonisierung zu identifizieren, etwa die Verwendung von Rezyklaten oder erneuerbaren Materialien.

Außerdem gilt es, die Maßnahmen hinsichtlich ihrer CO_2e-Einsparungen und Wirtschaftlichkeit zu bewerten. Diese Bewertung sollte im Dialog mit den Zulieferern erfolgen. Abschließend sollten die identifizierten Aktivitäten im PEP prozessual verankert und operationalisiert werden.

Darum brauchen Unternehmen mehr Transparenz

Das Beispiel zeigt: Konzepte für eine zirkulärere Wirtschaftsweise gibt es viele. Wo Unternehmen genau ansetzen können, zeigt das neue Global Circularity Protocol (GCP). Als weltweit einheitlicher Standard bildet dieses Protokoll einen verbindlichen Rahmen für echte Zirkularität.

Gemessen werden standardisierte Materialflüsse und Dematerialisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Hier werden vor allem dort Potenziale aufgezeigt, wo insgesamt weniger Ressourcen verbraucht werden sollten. Gleichzeitig soll es die Umsetzung der Circular Economy beschleunigen und effizienter gestalten. Die Ergebnisse sind damit für sämtliche Anforderungen in diesem Bereich relevant – etwa für die neue Fahrzeugverordnung, die EU-Ökodesign-Verordnung, den Digitalen Produktpass, die Verpackungs- und Abfallverordnung, den EU Critical Raw Materials Act oder den für Ende 2026 geplanten EU Circular Economy Act.

Das GCP kommt genau zur richtigen Zeit, denn vor allem in der DACH-Region besteht dringender Nachholbedarf bei der Transparenz, wie das aktuelle Industrie 4.0-Barometer von MHP und der LMU zeigt. In Deutschland, Österreich und der Schweiz sind nur 53 % der befragten Unternehmen partiell oder vollständig in der Lage, sowohl Einzelteile als auch Endprodukte von der Eingangslogistik über die Produktion bis hin zum Kundenservice zu orten. China, USA, UK und Indien sind in dieser Hinsicht deutlich weiter.

Ein Grund dafür liegt in dem unterschiedlichen Umsetzungstempo digitaler Produktions- und Überwachungs-

systeme. Zudem wird der technologische Fortschritt in der DACH-Region durch gewachsene technische Schulden gebremst: Heterogene Altsysteme, fragmentierte Datenlandschaften, begrenzte Interoperabilität und infrastrukturelle Einschränkungen – etwa bei Netzqualität und IT-/OT-Integration – erschweren die konsequente Einführung neuer Technologien. Viele Unternehmen verfügen damit nicht über die notwendige ganzheitliche und durchgängige Datenbasis.

Zentrale Datenplattform stärkt Compliance und verbessert Steuerung

Für Unternehmen, die nun Verbesserungen erzielen wollen, empfiehlt es sich, zum einen Prozesse durchgängig zu digitalisieren und zum anderen Standards zu entwickeln, um Daten im eigenen Unternehmen und aus der Lieferkette zielgerichtet verfügbar zu machen. Diese Standards müssen nicht perfekt sein – vielmehr kommt es darauf an, den Prozess zu starten. Danach gilt es, die Daten aus den unterschiedlichen Systemen und Prozessschritten zusammenzuführen und miteinander zu verknüpfen.

Dafür eignet sich eine zentrale, unternehmensweite Datenplattform, die alle relevanten Datenpunkte integriert. Sie ermöglicht es, Daten entlang der gesamten Wertschöpfungskette systematisch und kontinuierlich zu erheben, aufzubereiten und zu analysieren. Automatisierte Prozesse senken den Personaleinsatz, standardisierte Reports minimieren den Prüfaufwand, Frühwarnsysteme und aktives Risikomanagement verhindern Verstöße oder Lücken und Audit-Trails machen Daten prüfungssicher.

Zirkuläre Planungsstrategien

Für Unternehmen wird es wichtig, schon bei der Planung zukünftiger Stoffströme anzusetzen und Nachhaltigkeit beim Produktdesign mitzudenken. Produkte sollten im Sinne der Circular Economy und der Ökodesign-Richtlinie möglichst modular und wiederverwertbar konstruiert werden. Verglichen mit dem Potenzial anderer R-Strategien, die später in bereits bestehende Produktsysteme eingreifen, sind zirkuläre Planungsstrategien wie Reduce by Design besonders ressourceneffizient und wirksam in der Kreislaufführung einzustufen. Sie sollten daher priorisiert werden.

Ein weiterer Vorteil liegt im Abbau bestehender Datensilos, die neben etablierten, historisch gewachsenen Legacy-IT-Systemen zunehmend als Hürde für die bereichsübergreifende Einführung fortschrittlicher Technologien gesehen werden. Genau diese Technologien sind jedoch ein wesentlicher Einflussfaktor und „Enabler“ für einen zirkulären Business Case und erfolgreiche Geschäftsmodelle. Die Vision der Datenplattform sollte eine „Single Source of Truth“ sowohl für Sustainability Compliance als auch für die aktive Steuerung von Nachhaltigkeit insgesamt sein. ■

Anzeige

TAE

20. Oktober 2026 | Ostfildern bei Stuttgart oder online

Intelligente Systeme in der Industrie: Architektur, Einsatz und Wirtschaftlichkeit

Praxis im Fokus: Implementierung, Nutzen und Skalierung innovativer Industrieanwendungen

Mehr Informationen und Anmeldung unter: www.tae.de/50065

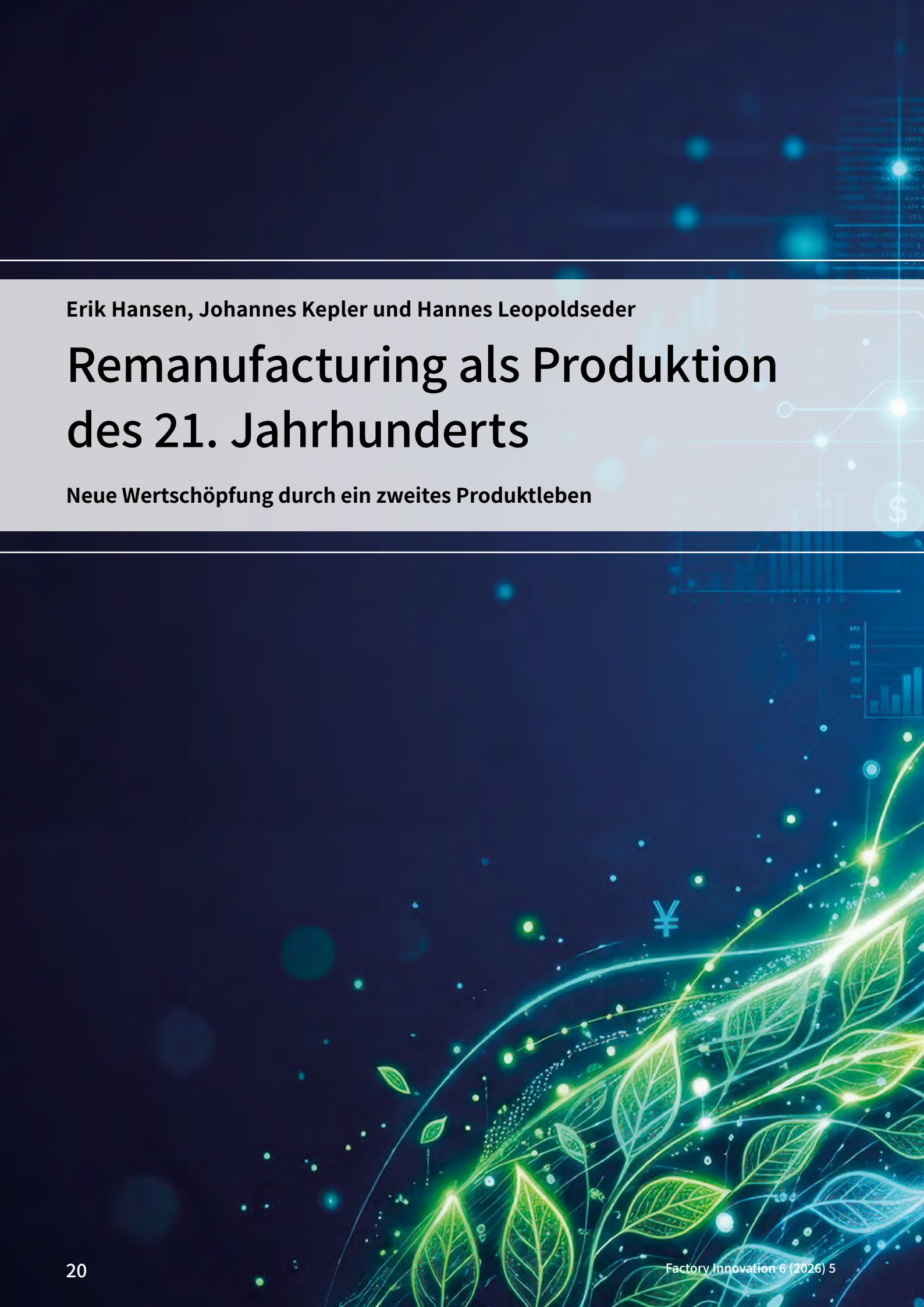
In Zusammenarbeit mit

Automationspraxis FACTORY INNOVATION

Erik Hansen, Johannes Kepler und Hannes Leopoldseder

Remanufacturing als Produktion des 21. Jahrhunderts

Neue Wertschöpfung durch ein zweites Produktleben





© Adobe Stock/ BirD

Das Geschäftsmodell „Remanufacturing“ basiert auf der industriellen Aufbereitung und Wiederverwendung von Produkten und Komponenten in „Qualität wie neu“. Es steigert die Wettbewerbsfähigkeit durch verbesserte Kostenstrukturen, Lieferkettenresilienz und Kundenbindung bei deutlich reduzierter Umweltwirkung und trägt damit wesentlich zu einer marktorientierten Zirkulärwirtschaft bei. Praxisbeispiele aus unterschiedlichen Branchen zeigen, dass Remanufacturing sowohl für komplexe Investitionsgüter als auch für kleinere Produktklassen und zunehmend im Consumer-Bereich wirtschaftlich erfolgreich umgesetzt werden kann.

Remanufacturing, Refabrikation oder Wiederproduktion ist eine der Zirkulärwirtschaft zugeordnete Geschäftsstrategie, die Kundenzufriedenheit, Wettbewerbsfähigkeit von Qualitätsprodukten und minimierten Produktfußabdruck synergistisch integriert [1, 2, 3]. Durch die Verlängerung von Produktlebenszyklen entstehen neue Wertschöpfungspotenziale, während Materialeinsatz und Umweltfußabdruck deutlich reduziert werden können.

Remanufacturing erfolgreich umgesetzt

Viele erfolgreiche Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes konnten ihre Markt- und Innovationsführerschaft dank eines Remanufacturing-Geschäftsmodells ausbauen oder überhaupt erst erreichen. Das Remanufacturing-Programm von Caterpillar ermöglicht beispielsweise den Verkauf von Baumaschinen in „Qualität wie neu“ – im Vergleich zur Neuproduktion mit 60 % weniger Kosten und 85 % reduziertem Materialeinsatz [4]. Mit „Rotation for Life“ bietet der Wälzlager-Hersteller SKF eine Dienstleistung an, bei der die Lager kontinuierlich überwacht, rechtzeitig entnommen und dann für ein neues Leben auf die ursprüngliche Spezifikation aufbereitet werden. Rosenbauers Refurbishment-Programm ermöglicht Kunden, ihr Feuerwehrfahrzeug auf den neuesten technologischen Stand zu bringen. Während für Investitionsgüter solcher Größe Remanufacturing schon häufig umgesetzt wird, zeigt das Beispiel Messsonden von Lorenz Messtechnik, dass dies selbst für kleine, günstige Produktklassen kommerziell erfolgreich ist. Selbst im Consumer-Bereich gibt es Bewegung: In Renaults Refactory werden Autos vollständig aufbereitet und zukünftig sogar mit elektrischen Antrieben upgegradet (Bild 1).

Vom Kostenvorteil zum strategischen Wettbewerbsvorteil

Die Wettbewerbsvorteile des Remanufacturings sind finanzieller und nichtfinanzieller Natur und reichen damit weit über reine Einsparungen hinaus:

- **Resilienz in der Lieferkette:** Das Risiko gestörter und verzögerter Lieferketten aufgrund von geopolitischen Konflikten, Kriegen und anderen Krisen hat wesentlich zugenommen. Remanufacturing bietet einen alternativen Lieferpfad durch Retrologistik mit deutlich verkürzten Lieferzeiten.
- **Kostenreduktion:** Remanufacturing kommt mit einem geringen Bedarf an Neumaterialien bzw. Vorprodukten aus und kostet, trotz des notwendigen Arbeitseinsatzes, deutlich weniger als die Neuproduktion. Durch die bessere Kostenstruktur können Remanufacturing-Produkte bei gleicher Qualität günstiger im Markt angeboten werden.
- **Kundenbindung und -zufriedenheit:** Durch finanzielle Anreize zur Produktrückgabe (Pfand, Preisnachlass) besteht eine hohe Wahrscheinlichkeit, einen Folgekauf abschließen zu können. Kundenprobleme werden im One-Stop-Shop ganzheitlicher gelöst (wie Entsorgung der Altprodukte) und Wahlmöglichkeiten des Kunden erhöht (neu vs. „wie neu“). Beim kundenindividuellen Remanufacturing erhalten Kunden ihr eigenes Produkt in aufbereiteter Form zurück, sodass Aufwände bei der Anschaffung neuer Produkttypen (wie Schulung) entfallen.

Bild 1: Beispiele ausgewählter Remanufacturing-Hersteller © IQD





Bild 2: Remanufacturing-Prozessschritte: Von der Rückführung bis zur Redistribution © IQD

- **Neue Märkte:** Die vorteilhafte Kostenstruktur von „Qualität wie neu" ermöglicht den Neukundengewinn, das Zurückdrängen von Billiganbietern oder den Markteintritt in Entwicklungsländern.

- **Innovationsfähigkeit:** Die Möglichkeit zur (Fehler-) Analyse von Produkten nach ihrem Einsatz führt nicht nur zu kontinuierlicher Verbesserung, sondern auch zu Impulsen für neue Produkte und Dienstleistungen. So führte SKF einen Schmiermittelmanagement-Service zur Verlängerung der Lebensdauer ein.

- **Stark verbesserte Umweltwirkung:** Im Vergleich zu eher inkrementellen Effizienzansätzen (z. B. Materialeinsparung) erreicht Remanufacturing radikale Ressourceneinsparungen von bis zu 85 % [4].

Insgesamt reduziert Remanufacturing Zielkonflikte im magischen Dreieck Qualität, Kosten und Zeit.

Mehr als Aufbereitung: Wertschöpfung über mehrere Lebenszyklen

Der produktionsnahe und arbeitsintensive Prozess entfaltet sich von Rückführung bis Redistribution in fünf wesentlichen Schritten (Bild 1). Diese industrielle Aufbereitung gebrauchter Produkte ermöglicht deren Wiederherstellung in „Qualität wie neu" oder sogar besser (beispielsweise Schienen). Auch kann die Spezifikation an aktuelle Bedarfe angepasst werden, oder es können mit technologischem Upgrading aktuelle Standards erfüllt werden (wie Feuerwehrfahrzeuge).

Der Vertrieb refabrizierter Produkte unterscheidet sich damit sowohl operativ als auch strategisch wesentlich von der wenig akzeptierten Gebrauchtgütervermarktung (etwa von Gütern, die im Sinne des „Refurbishing" nur geringfügig aufbereitet wurden), da die verminderte Qualität Kundenbedürfnisse nicht immer erfüllt. Damit ermöglicht Remanufacturing eine echte „zirkuläre" Wertschöpfung, bei der Produkte möglichst lange über mehrere Nutzungszyklen im Einsatz bleiben. Wenngleich die Funktionalität nicht mehr wiederhergestellt werden kann, können die Materialien vom Anbieter in einem geschlossenen Recycling-Kreislauf geführt werden und Primärrohstoffe bei der Neuproduktion ersetzen [5, 6].

Geschäftsmodellentwicklung benötigt neue Prozess- und Produktkompetenzen

Damit wird deutlich, dass Remanufacturing nur dann erfolgreich sein kann, wenn es von der Unternehmensleitung strategisch in allen Komponenten des Geschäftsmodells verankert wird. Ohne die konsequente Entwicklung neuer Kompetenzen ist ein Scheitern vorprogrammiert [8]:

1. **Infrastrukturen und Prozesse:** Remanufacturing-Werke müssen dezentral in ausgewählten Regionen aufgebaut werden, um Transportaufwände und Lieferzeiten (Rückführung, Wiederauslieferung) zu reduzieren. Der Bedarf an geschultem Personal schafft regionale, produktionsnahe Arbeitsplätze. Die zentralisierte Neuproduktion wird teilweise ersetzt.

2. **Rückführungsmanagement:** Meistens scheitert Remanufacturing an der fehlenden Rückgabe der Produkte. Entweder werden finanzielle Anreize für die Kunden geschaffen, die Rückgabe zu veranlassen, oder die Hersteller behalten das Eigentum durch eine dienstleistungsbasierte Bereitstellung. Retro-Logistikprozesse müssen gestaltet werden – oft mit spezialisierten Dienstleistern.

3. **Condition Monitoring:** Hersteller können ein digitales Condition Monitoring der Produkte oder Komponenten durch Sensorik aufbauen, um diese zum optimalen Zeitpunkt beim Kunden zu entnehmen und auszutauschen. Ist der Produktzustand zu schlecht, ist Remanufacturing nicht mehr ökonomisch oder technisch realisierbar.

4. **Dienstleistungsintensivierung:** Einfache Dienstleistungsgeschäftsmodelle wie Leasing lösen durch den Eigentumsverbleib beim Hersteller die Herausforderung der kundenseitigen Unsicherheit über die

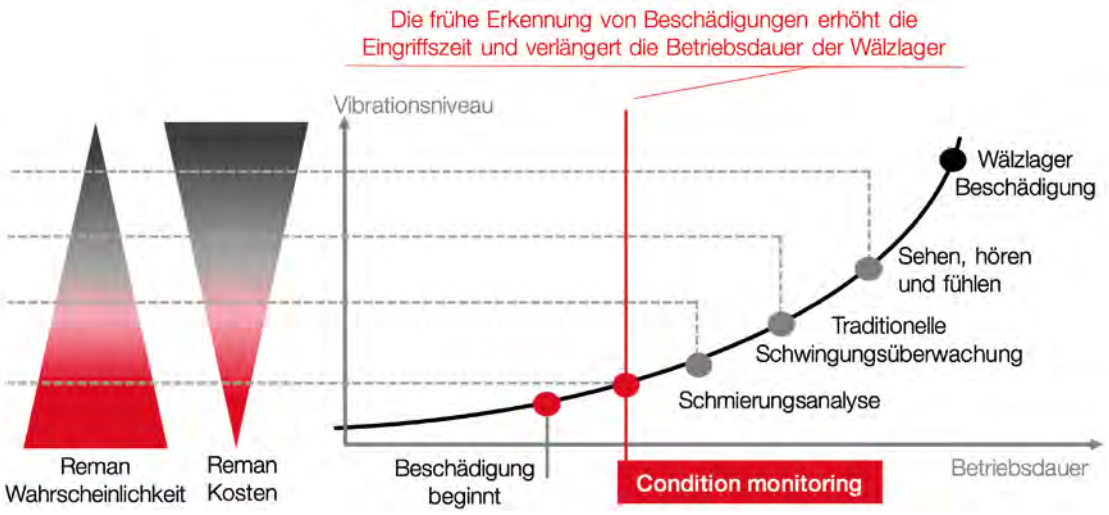


Bild 3: Die Remanufacturing-Lösung von SKF basiert auf Condition Monitoring © SKF Group

Qualität aufbereiteter Produkte und deren Rückführung am Nutzungsende. Pay-per-Performance Modelle harmonisieren weiter die Anreize von Hersteller und Kunden und ermöglichen durch eine enge Kooperation die Reduktion der Total Cost of Ownership [3]. Insgesamt ist ein Wechsel von der tradierten Industrieökonomie zu einer „Performance Economy" nötig [9].

5. **Produktdesign:** Bei der Entwicklung neuer Produkte müssen frühzeitig Modularisierung, Reparierbarkeit und Recyclingfähigkeit verfolgt werden (Design-for-X); bestehende Produkte erhalten ein Redesign. Für ein digitales Monitoring benötigt es digitale Produktfähigkeiten (wie Sensoren).

Design-for-X

Design for X (DfX) bezeichnet einen systematischen Ansatz der Produktentwicklung, bei dem ein Produkt bereits in der Entwurfsphase gezielt auf bestimmte Anforderungen oder Eigenschaften optimiert wird. Das „X" steht dabei als Platzhalter für das jeweilige Entwicklungsziel, z. B. Fertigung (Design for Manufacturing), Montage (Design for Assembly), Kosten, Qualität, Zuverlässigkeit, Wartung oder Recycling. Ziel ist es, unterschiedliche und teilweise widersprüchliche Anforderungen frühzeitig zu berücksichtigen und dadurch Produktqualität zu verbessern, Kosten und Entwicklungszeiten zu reduzieren sowie den gesamten Produktlebenszyklus zu optimieren [16].

Fallstudie: Wiederaufbereitung senkt Kosten und CO_2

Mit mehr als 25 Jahren Erfahrung im industriellen Wälzlager-Remanufacturing zeigt SKF wie Kreislaufwirtschaft in der Schwerindustrie praktisch funktioniert. Gebrauchte Wälzlager werden nicht verschrottet, sondern durch Remanufacturing in einen neuwertigen Zustand gebracht. Dies verringert den CO_2-Fußabdruck um bis zu 90 % und die Kosten um bis zu 75 % bei verringerten Lieferzeiten [14]. SKF bietet Remanufacturing unter anderem für eigene Wälzlager und Fremdfabrikate in der Metall-, Bergbau-, Energie- und Papierindustrie sowie für Schienenfahrzeuge und Marineanwendungen an [11].

Die fünf genannten Kompetenzbereiche kommen wie folgt zum Einsatz:

1. Die **Infrastruktur** beinhaltet über 20 Circular-Solution-Zentren weltweit. Sie ermöglichen die regionale Durchführung von Aufbereitungsprozessen gebrauchter Lager und deren Wiedereinsetzung in Qualität wie neu. Diese regionale Infrastruktur verkürzt Lieferzeiten, senkt CO_2-Ausstoß und Lebenszykluskosten und stärkt kundennahes Know-how [10].

2. Kern ist ein strukturiertes **Rückführungsmanagement**: Das eigens entwickelte Remanufacturing-Portal reduziert dabei den administrativen Aufwand für Kunden. Die Rückführung für das Remanufacturing wird dem Kunden einerseits im Fall von Service-Anfragen ad hoc angeboten, aber andererseits auch zunehmend proaktiv durch Condition Monitoring und Dienstleistungsgeschäftsmodelle gesteuert.

3. **Condition Monitoring** und Reliability Services koppeln die Nutzungsphase frühzeitig mit dem

Remanufacturing-Prozess [12, 13]. Zustandsüberwachung, Früherkennung und Ursachenanalyse helfen, den richtigen Zeitpunkt für Entnahme, Austausch oder Aufarbeitung zu bestimmen, bevor Schäden das Remanufacturing technisch oder wirtschaftlich verhindern (Bild 3).

4. Das **Dienstleistungsgeschäftsmodell** ergänzt den Produktverkauf um eine Leistungs-, Nachhaltigkeits- und Verfügbarkeitslogik. Mit Service-Verträgen rücken Total Cost of Ownership, Anlagenzuverlässigkeit, planbare Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit stärker in den Fokus [10, 14].

5. Remanufacturing prägt auch das **Produktdesign**. Neulager-Fertigungsstandards, Qualitätsanforderungen und Rückverfolgbarkeit sind ein wesentlicher Bestandteil der Anforderungen. Design-for-Remanufacturing wird so Teil der Produktentwicklung [11].

Das Beste aus zwei Welten: Qualität und Zirkularität

Remanufacturing bietet einen Ausweg aus dem Dilemma: entweder mit unveränderter linearer Produktionsweise die Umwelt zu belasten oder durch eingeschränkte Maßnahmen zur Produktlebensdauerverlängerung (Wiederverwendung, Reparatur) sinkende Qualität zu akzeptieren. Es basiert auf gleichbleibender oder steigender Qualität von Produkten durch industrielle Aufbereitung mit radikal reduzierter Umweltwirkung, regionaler Wertschöpfung und verbesserter Kundennähe. Als ganzheitlich umgesetzter Geschäftsmodellansatz kann es die Wettbewerbsfähigkeit durch verbesserte Kostenstruktur, Lieferkettenresilienz, Kundenbindung, Produktqualität und Nachhaltigkeit signifikant steigern. ■

Literatur

[1] Hansen, E. G. (2022). Remanufacturing als Produktion des 21. Jahrhunderts. MC Report, (2. November), 8–9. Online: https://www.mechatronik-cluster.at/news-presse/detail/news/-als-produktion-des-21-jahrhunderts (28.8.2026).

[2] Jugenheimer, A., Rosemann, B., Döpper, F., & Hellmich, C. (2020). Refabrikation: die ultimative Kreislaufwirtschaft. HZwei: Das Magazin für Wasserstoff und Brennstoffzellen, 20(01), 40–42. https://www.hzwei.info/?smd_process_download=1&download_id=5169.

[3] acatech - Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., Circular Economy Initiative Deutschland (CEID) & SYSTEMIQ. (2021). Circular Business Models: Overcoming Barriers, Unleashing Potentials. München. Online: https://en.acatech.de/publication/ (7.10.2022).

Das komplette Literaturverzeichnis finden Sie auf www.factory-innovation.de!

Anzeige

Red Hat Summit
Connect

When everything is open, anything is possible

Zwei Tage, eine Community, konkrete Lösungen: Seien Sie im November 2026 in Darmstadt dabei, wenn Innovation auf Praxis trifft.

Jetzt registrieren!
17. Nov. 2026 | Hands-On Day
18. Nov. 2026 | Red Hat Summit: Connect

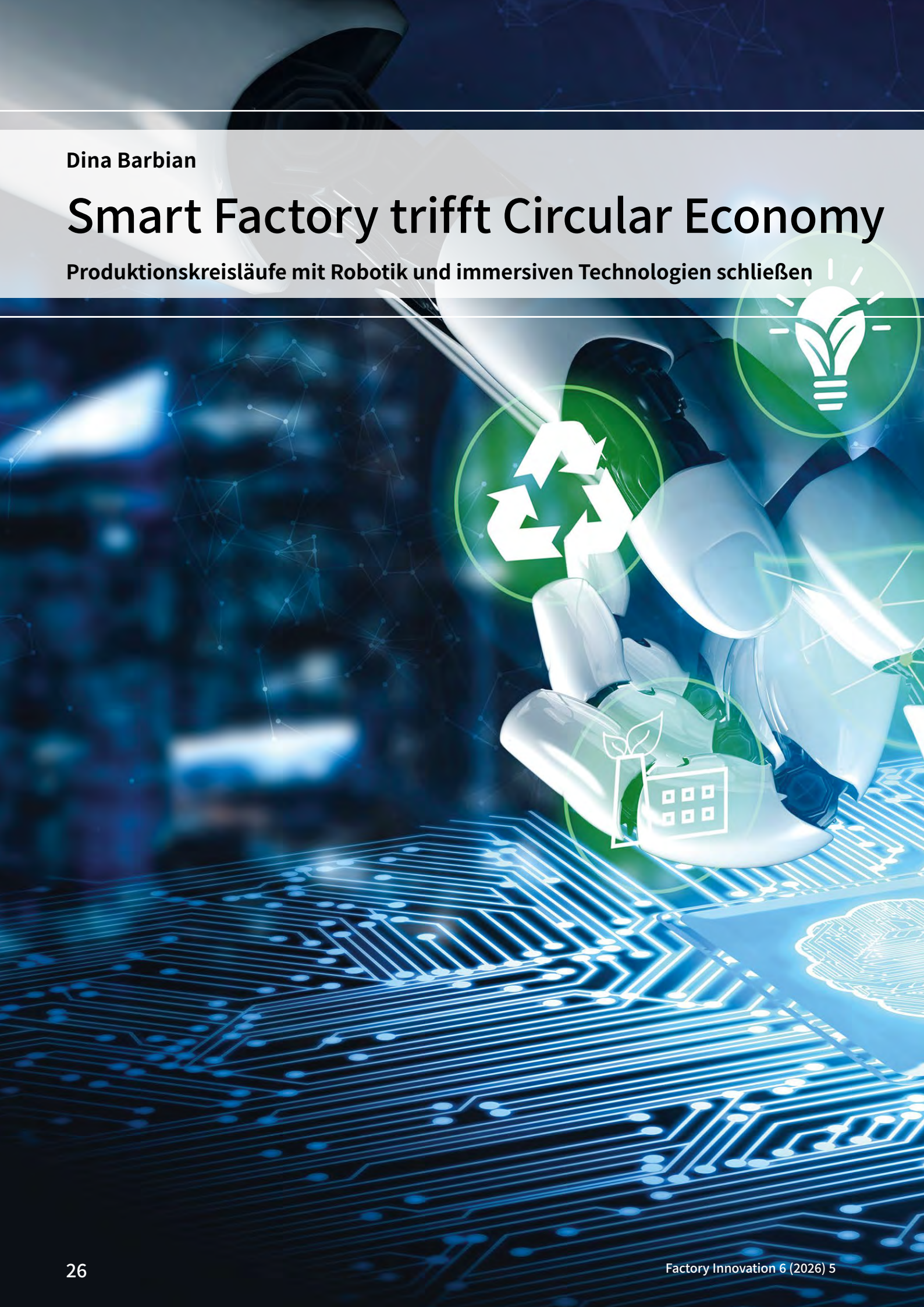
Red Hat

red.ht/rhsc26-de

Dina Barbian

Smart Factory trifft Circular Economy

Produktionskreisläufe mit Robotik und immersiven Technologien schließen





© Adobe Stock/ InfiniteFlow

Die Smart Factory entwickelt sich zunehmend zur Circular Factory, in der digitale Technologien nicht nur Produktivität und Effizienz steigern, sondern auch Ressourcen schonen und Kreisläufe schließen. Wie kann Industrie 4.0 diese Entwicklung unterstützen? KI-gestützte Robotik und immersive Technologien ermöglichen bereits heute signifikante Prozessverbesserungen entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Entscheidend dabei ist ihr zielgerichteter Einsatz.

Seit Beginn der Industrialisierung sind mehrere grundlegende technologische Entwicklungssprünge („Revolutionen“) erkennbar. Die vierte industrielle Revolution, in der wir uns gegenwärtig befinden, umfasst weit mehr als die Fabrik selbst – sie schließt Produktentwicklung, Herstellung, Logistik und Service sowie Geschäftsmodelle und unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke mit ein. Künstliche Intelligenz und digitale Technologien ermöglichen es Maschinen, Anlagen und Produkten, über Software, Plattformen und Netzwerke in Echtzeit zu kommunizieren, Daten auszutauschen und Prozesse zunehmend autonom zu steuern und zu optimieren. Sollen neben Produktivität und Effizienz auch Ressourcen geschont sowie Produktions- und Materialkreisläufe geschlossen werden, müssen Ansätze der Kreislaufwirtschaft integriert werden. Damit stellt sich die zentrale Frage, wie aus der smarten Fabrik eine zirkuläre Fabrik werden kann.

„Design-to-Recycle“

Das Konzept „Design-to-Recycle“ leitet sich aus „Design for Recycling (DfR)“ ab. DfR entwickelte sich vor allem seit den 1980er- und frühen 1990er-Jahren im Kontext der allgemeinen Umweltorientierung in Produktionsprozessen. Es verfolgt das Ziel, Produkte bereits in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase hinsichtlich Materialauswahl, Materialvielfalt, Fügetechniken und Demontierbarkeit so zu gestalten, dass Materialien am Ende des Produktlebenszyklus möglichst einfach getrennt, hochwertig recycelt und als Sekundärrohstoffe wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden können.

Von Industrie 4.0 zur zirkulären Fabrik

In der Industrie 4.0 fehlen bisher Strategien zur Ausarbeitung einer Kreislaufwirtschaft, und auch Recyclinganstrengungen (egal ob „Design-to-Recycle“, „Design-to-Repair“ oder „Cradle-to-Cradle“) werden wenig angesprochen. Dies sind aber wichtige Aspekte auf dem Weg zu einer zirkulären Produktion. Hier setzt die „Circular Factory“ an, die Daten zusätzlich zum Schließen von Produktions- und Materialkreisläufen und zur Schonung von Ressourcen nutzt.

Die Plattform Industrie 4.0 [1] hat dazu ein „Leitbild 2030 für Industrie 4.0“ entwickelt, worin Nachhaltigkeit und insbesondere Zirkularität fest verankert sind. Das Leitbild versteht Industrie 4.0 über die automatisierte Fabrik hinaus als Transformationsprozess hin zu Souveränität, Interoperabilität und Nachhaltigkeit. Souveränität ermöglicht die sichere und selbstbestimmte Nutzung von Produktions-, Produkt- und Materialdaten. Interoperabilität gewährleistet deren Austausch über Unternehmensgrenzen und Lebenszyklusphasen hinweg. Nachhaltigkeit zielt darauf, Ressourcen effizient einzusetzen,

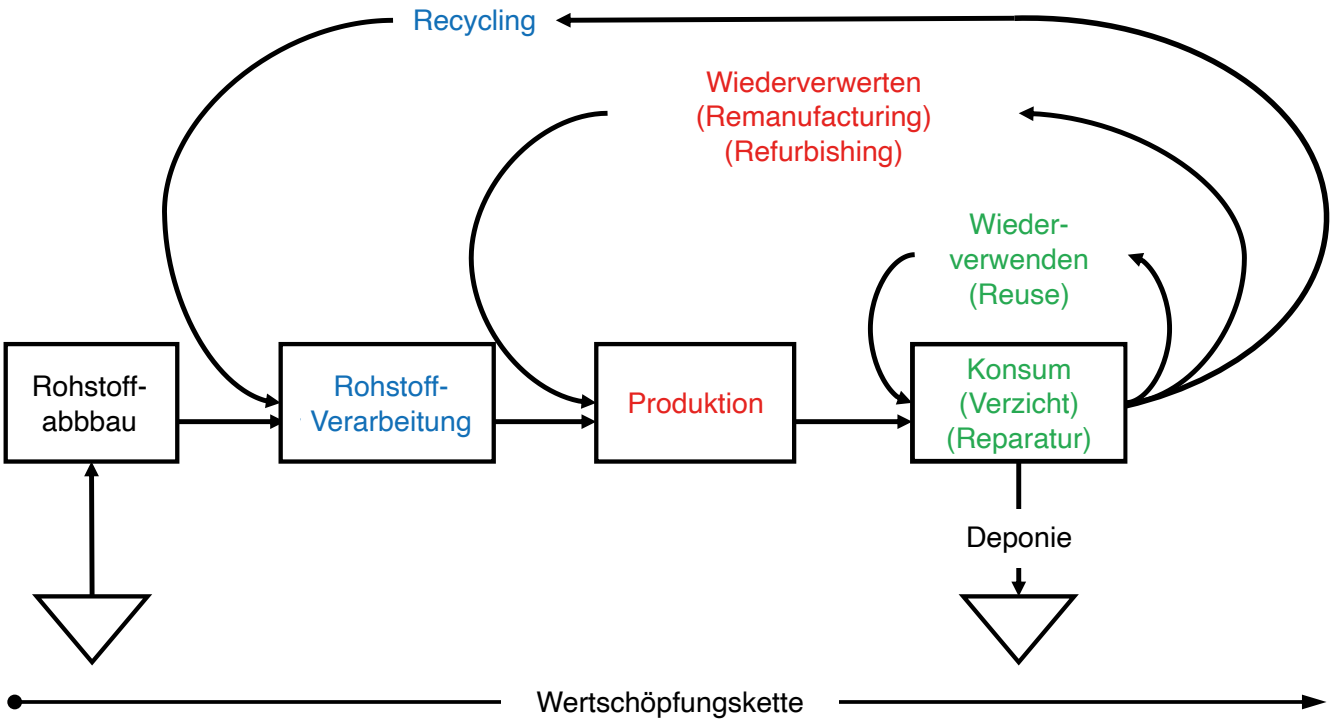


Bild 1: Stufen der Kreislaufwirtschaft © eco2050 Institut für Nachhaltigkeit

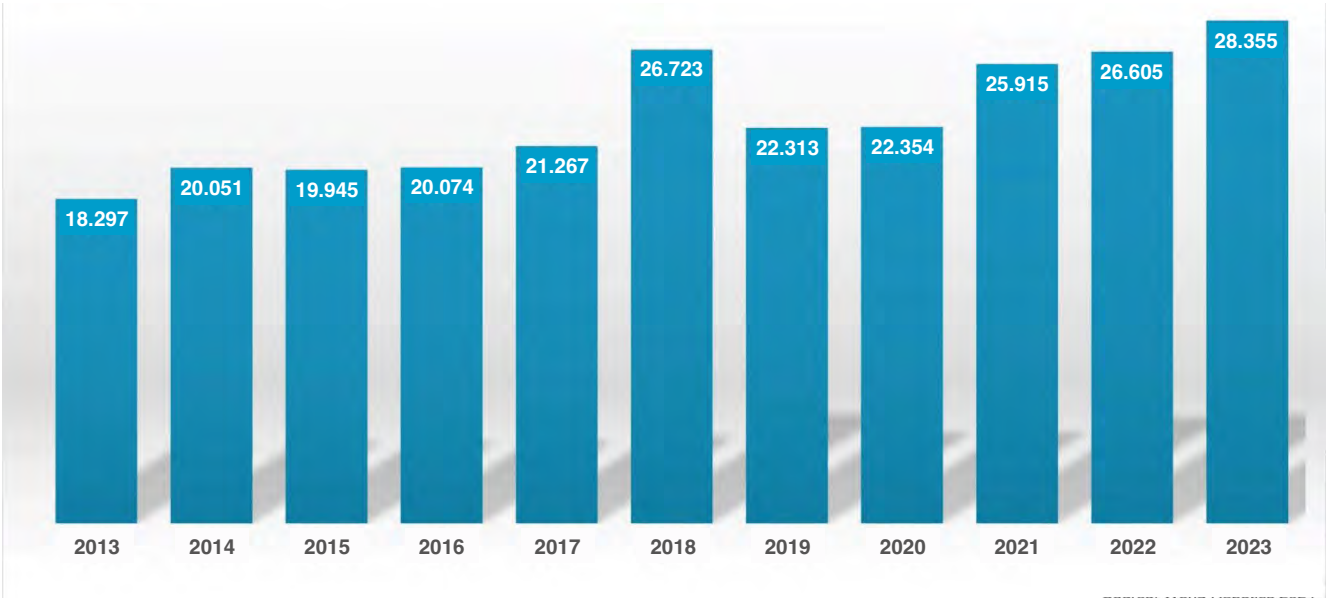


Bild 2: Jährlicher Einsatz von Industrierobotern in Deutschland © IFR International Federation of Robotics

Materialien möglichst lange zu nutzen und industrielle Kreisläufe zu schließen.

Eine Umstellung auf zirkuläre Prozesse kann durch verschiedene Maßnahmen gelingen. Die Vermeidung von Abfallstoffen sollte an erster Stelle stehen, gefolgt von der Vorbereitung zur Wiederverwendung und dem Reparieren (Bild 1).

Dazu hat die EU mit der am 13. Juni 2024 verabschiedeten Richtlinie zur Förderung der Reparatur von Waren (Richtlinie (EU) 2024/1799 [2]) Verbrauchern den Zugang zu Reparaturen erleichtert. Die EU-Richtlinie entstand im Rahmen des EU Green Deal innerhalb des Aktionsplans für die Kreislaufwirtschaft als Ergänzung zur ESPR (Ecodesign for Sustainable Product Regulation, Ökodesign-Verordnung). Das Ziel ist die Verlängerung der Lebensdauer von Produkten, die Schonung der Ressourcen, die Reduktion von Elektroschrott und allgemein die Stärkung der Kreislaufwirtschaft. Neben der Reparatur von Waren ist die Wiederverwertung ein wesentlicher Bestandteil der Kreislaufwirtschaft. Strategien hierzu sind „Remanufacturing“ und „Refurbishing“. Dabei werden Teile eines Altgerätes in ein neues eingesetzt. Eine besondere Form stellt das „Retrofit“ bzw. „Reengineering“ dar. Hier werden aufbereitete Anlagenteile oder -komponenten in bestehende Maschinen oder auch Produktionsstraßen eingesetzt.

„Cradle-to-Cradle“

„Cradle-to-Cradle“ („Von der Wiege zur Wiege“) bezeichnet ein Konzept, in dem „Abfälle“ eines Produktlebenszyklus‘ zum Rohstoff eines neuen Produktionsprozesses werden. Dieses wurde von dem deutschen Chemiker Michael Braungart und dem US-amerikanischen Architekt William McDonough Ende der 1990er-Jahre entwickelt. Ziel ist das Erreichen von Öko-Effektivität von Produkten, die entweder als „biologische Nährstoffe“ in die Umwelt zurückgeführt werden können oder deren Bestandteile als „technische Ausgangsstoffe“ in technische Kreisläufe zurückkehren.

Industrie 5.0: Unterstützung für eine zirkuläre smarte Fabrik?

Eine weitere Stufe ist das von der Europäischen Kommission vorgestellte Konzept Industrie 5.0 [3], [4], worunter weniger eine nächste technologische Entwicklungsstufe verstanden wird als vielmehr eine normative Erweiterung der industriellen und digitalen Transformation. Die Idee: Während Industrie 4.0 vorrangig die Digitalisierung und Automatisierung industrieller Prozesse in den Mittelpunkt stellt, ergänzt Industrie 5.0 diese Perspektive um gesellschaftliche Zielsetzungen und Werte wie Nachhaltigkeit, Resilienz und Menschenzentriertheit [5].

Im Mittelpunkt steht eine stärkere Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine, bei der technologische Innovation dazu beitragen soll, nachhaltigen und gesellschaftlichen Wohlstand zu fördern [6]. Zentrale Technologien und Innovationen sind dabei unter anderem Robotik und immersive Technologien (AR, VR).

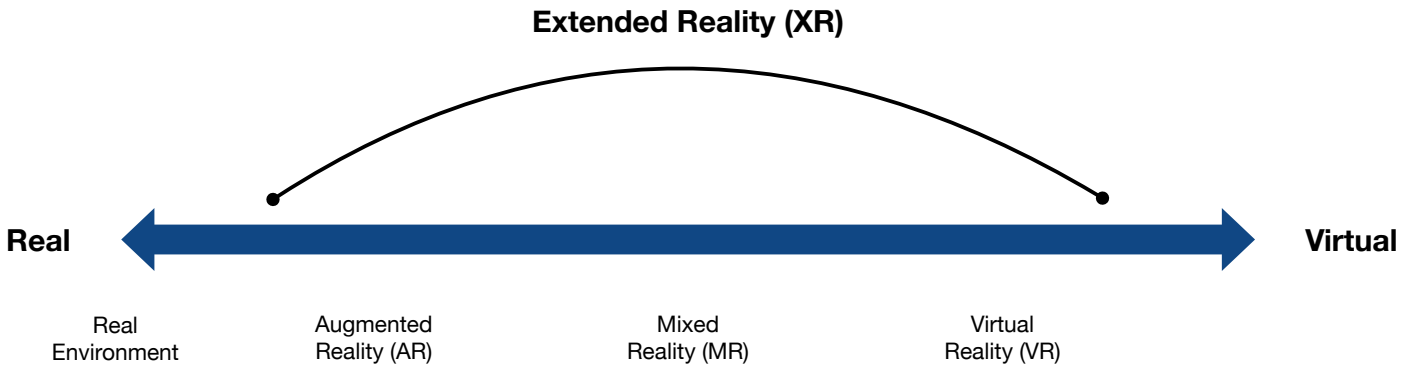


Bild 3: Überblick immersive Technologien [9] © Signals & Images Lab (SI-Lab)

Robotik als Schlüsseltechnologie

Robotik kann entlang des gesamten zirkulären Produktionsprozesses eingesetzt werden und die Demontage gebrauchter Produkte sowie die Sortierung und Trennung von Bauteilen ermöglichen.

In Remanufacturing-Prozessen unterstützt Robotik die Reinigung, Reparatur, Aufarbeitung und Wiedermontage und trägt damit zur Verlängerung der Produkt- und Komponentenlebensdauer bei. Gleichzeitig ermöglicht die hohe Präzision sensor- und KI-gestützter Robotersysteme, den Materialeinsatz zu optimieren sowie Ausschuss und Produktionsabfälle zu reduzieren.

Der Einsatz von Industrierobotern in Deutschland hat laut International Federation of Robotics (IFR) zugenommen (Bild 2) [7]. Die Zahl der jährlichen Neuinstallationen stieg von 18.297 im Jahr 2013 auf den Wert 28.355 im Jahr 2023. Robotik gewinnt als Schlüsseltechnologie der automatisierten Produktion weiter an Bedeutung und eröffnet zugleich neue Potenziale für zirkuläre Prozesse.

Laut Prognosen der IFR wird die Zahl der weltweit eingesetzten Roboter für industrielle Zwecke noch weiter zunehmen. Roboter werden immer mehr zu Arbeitsassistenten und verrichten bestimmte Aufgaben, größtenteils schneller und kostengünstiger. Laut IFR werden zukünftig auch immer mehr humanoide Roboter eine Rolle spielen [8]. Diese Roboter sind Maschinen mit menschlicher Gestalt, die zunehmend Aufgaben in Service, Industrie und Alltag übernehmen.

Immersive Technologien haben vielfältige Anwendungspotenziale

Immersive Technologien wie Augmented Reality (AR) und Virtual Reality (VR) können entlang des gesamten Produktlebenszyklus dazu beitragen, Kreislaufwirtschaftsstrategien zu unterstützen.

Bild 3 zeigt die Bandbreite der immersiven Technologien.

Der Beitrag von Arena et al. [9] ordnet Augmented Reality (AR), Mixed Reality (MR) und Virtual Reality (VR) entlang des sogenannten Reality-Virtuality Continuum ein, das von der vollständig realen bis zur vollständig virtuellen Umgebung reicht. AR erweitert die physische Realität in Echtzeit um digitale Inhalte, die etwa über AR-Brillen, Head-up Displays, Smartphones oder Tablets eingeblendet werden. MR bezeichnet eine überwiegend virtuelle Umgebung, in die reale Elemente integriert sind. Bei VR wird die reale Umgebung vollständig durch eine computergenerierte Welt ersetzt. Alle Bereiche zwischen physischer und virtueller Realität werden unter dem übergeordneten Begriff Extended Reality (XR) zusammengefasst.

Laut einer Bitkom-Studie [10] eignen sich immersive Technologien etwa für Anwendungen in Produktentwicklung, Konstruktion, Fertigung und Wartung. Virtuelle Prototypen und AR-gestützte Engineering-Anwendungen ermöglichen es, Produkte und Montagesysteme bereits vor ihrer physischen Realisierung zu überprüfen und zu optimieren.

Ein besonderes Potenzial für eine zirkuläre Produktion bietet AR bei Wartung und Reparatur. Digitale Informationen, Arbeitsanweisungen oder 3D-Modelle können unmittelbar am realen Produkt oder an einer Maschine eingeblendet werden und Beschäftigte unterstützen. Auch Arena et al. [9] identifizieren Wartung und Reparatur ausdrücklich als industrielle Anwendungsfelder von AR und verweisen zudem auf Potenziale der präventiven bzw. vorausschauenden Wartung („Predictive Maintenance“), durch die technische Probleme frühzeitig erkannt und ungeplante Maschinenausfälle vermieden werden können.

Digitale Technologien benötigen klare Ziele

Die Weiterentwicklung der Smart Factory zur Circular Factory verbindet die digitale Transformation mit Kreislaufwirtschaftsstrategien. Während Industrie 4.0 die technologische Basis für vernetzte, datenbasierte und automatisierte Produktionssysteme schafft, erweitert Industrie 5.0 diese um Nachhaltigkeit, Resilienz und Menschenzentriertheit. Robotik und immersive Technologien unterstützen diese Entwicklung. Entscheidend ist, digitale Technologien gezielt zur Verlängerung von Produktlebenszyklen, Wiederverwendung und Aufarbeitung sowie zur Rückführung von Materialien einzusetzen und so zu zirkulären Produktionssystemen weiterzuentwickeln.

Literatur

[1] Plattform Industrie 4.0.: Leitbild 2030 für Industrie 4.0. URL: https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Standardartikel/leitbild.html, Abrufdatum 28.08.2026.

[2] Europäische Union: Richtlinie (EU) 2024/1799 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. Juni 2024 über gemeinsame Vorschriften zur Förderung der Reparatur von Waren. URL: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202401799, Abrufdatum 28.08.2026.

[3] Breque, M.; De Nul, L.; Petridis, A.: Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Publications Office of the European Union. 2021.

Das komplette Literaturverzeichnis finden Sie auf www.factory-innovation.de!

Anzeige



TAC INSIGHTS

EPPM MIT SAP 2026

Modernes Enterprise Portfolio- und Projektmanagement

26. JAHRESTAGUNG I 25.–26. November 2026, Mannheim

- **SAP Business AI:** hohe Datenqualität auf der BTP gewährleisten, um KI zuverlässig zu nutzen
- **Strategische Ausrichtung:** jedes Projekt messbar und dauerhaft auf die Unternehmensziele einrichten
- **Agilität**: Portfolios in volatilen Zeiten flexibel steuern, um schnell auf Marktveränderungen zu reagieren
- **Messbarkeit:** tatsächlichen Wertbeitrag der Projekte durch datengestützte und greifbare Erfolgskennzahlen evaluieren
- **Datentransparenz:** eine „Single Source of Truth“ für ein echtzeitfähiges Portfolio-Reporting etablieren

Haigis steigert Effizienz mit Walters Groov·tec™ GD Stechsystem

Feldtest überzeugt mit mehr als verdoppelten Werkzeugstandzeiten



© Walter AG

Haigis Gewichtefertigung testete als erster Kunde das Groov·tec™ GD Stechsystem von Walter. Das Ergebnis überzeugt: Ohne Anpassung der Prozessparameter konnten die Standzeiten der Werkzeuge mehr als verdoppelt werden. Gleichzeitig verbesserten sich Prozessstabilität, Rüstzeiten und Bauteilqualität. Die innovative Klemmung der GD-Wendeplatten reduziert Vibrationen und Verschleiß. Seit 2024 ist das System bei Haigis im Einsatz. Der Feldtest bestätigt die Effizienz und Prozesssicherheit der Lösung.

www.walter-tools.com/de-de

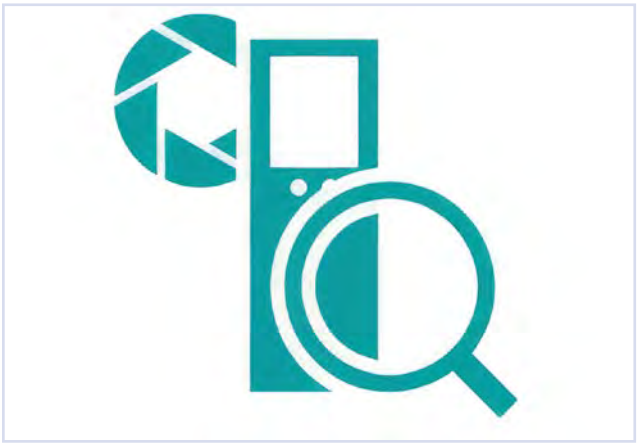
P&G setzt Siemens-KI für die Qualitätsprüfung in der Produktion ein

Visual Inspection Cockpit prüft Produkte in Echtzeit

Procter & Gamble (P&G) setzt gemeinsam mit Siemens das „Visual Inspection Cockpit“ zur KI-gestützten Qualitätsprüfung in der Produktion ein. Das System kontrolliert Produkte in Echtzeit direkt an der Produktionslinie und erkennt auch bei hohen Geschwindigkeiten Abweichungen. Laut Siemens konnte der Ausschuss je nach Produkt um 10 bis 20 % reduziert werden. Neue Installationen lassen sich zudem fünf- bis zehnmal schneller als herkömmliche Bildverarbeitungssysteme in Betrieb nehmen.

de.pg.com

www.siemens.com



© Siemens

ABB-Schwerlastroboter im Einsatz bei Liebherr Components

Landmaschinenhersteller setzt auf das Lagerführungssystem der Ehrhardt Partner Group



© Liebherr

Bei Liebherr Components in Kirchdorf an der Iller übernehmen ABB-Roboter die Beschickung eines Sägezentrums. Zwei IRB 8700 mit jeweils 1,2 Tonnen Traglast handhaben Stahlrohre und -stangen von bis zu neun Metern Länge und führen sie an zwei Sägestationen. Ein weiterer Roboter stapelt die Zuschnitte auf 17 Palettenplätze. Eine Lagerverwaltung von Involon bindet den automatisierten Prozess in den Materialfluss ein.

www.abb.com

www.liebherr.com

IBM und Red Hat starten Lightwell Network

Neue Plattform zur automatisierten Behebung von Sicherheitslücken



© IBM

IBM und Red Hat haben die kommerzielle Einführung von Lightwell bekannt gegeben, einer Lösung zur automatisierten Behebung von Sicherheitslücken im großen Maßstab. Die KI-gestützte Remediation-Engine kombiniert generative KI-Modelle mit menschlicher Engineering-Expertise und identifiziert auch Schwachstellen in tief eingebetteten Softwareabhängigkeiten. Über Lightwell Network erhalten Nutzer Zugriff auf über 6.500 geprüfte und zertifizierte Open-Source-Komponenten inklusive Quellcode und SBOMs.

www.ibm.com/

Wenn Roboter lernen, sich in der Fabrik zu bewegen

BMW erprobt humanoide Robotik und Physical AI in der Serienproduktion

Die BMW Group bringt humanoide Robotik erstmals in ein deutsches Produktionswerk. Im Werk Leipzig soll der Roboter AEON von Hexagon Robotics unter realen Bedingungen getestet werden. Dabei verbindet BMW Künstliche Intelligenz mit Robotik und bestehenden Produktionssystemen. Zum Einsatz kommen soll AEON unter anderem in der Hochvoltbatterie- und Komponentenfertigung. Mit einem neuen Kompetenzzentrum will BMW zudem Erfahrungen sammeln und die Technologie für weitere Produktionsbereiche untersuchen.

www.bmwgroup.com



© BMW Group

Wenn der Chipkreislauf zum Produktionsprinzip wird

Forschungsprojekt GENESIS reduziert Ressourcen in der Halbleiterfertigung



© GenesisEU

Im EU-Projekt GENESIS arbeiten mehr als 50 Partner aus Forschung, Wissenschaft und Industrie an neuen Ansätzen für eine nachhaltigere Chipproduktion. Das Fraunhofer IPMS übernimmt dabei die Leitung eines Arbeitspakets zur Reduzierung von Abfällen und Emissionen. Im Fokus stehen unter anderem alternative Materialien, die Verringerung klimaschädlicher Prozessgase sowie Recyclingverfahren. Die entwickelten Technologien sollen bis 2028 zu einer ressourcenschonenderen Halbleiterfertigung beitragen.

www.fraunhofer.de

D. Rohrschneider, V. Carls, S. Fedder, L. Hofmann und I. Großkreuz

Von vertrauenswürdigen Daten zur Materialrückgewinnung

Technologische Bausteine für eine zirkuläre Wertschöpfung





© Adobe Stock / LivingPixel

Zirkuläre Wertschöpfung erfordert sowohl vertrauenswürdige Produktinformationen als auch geeignete Verfahren zur Rückgewinnung von Komponenten und Materialien. In der Praxis erschweren fehlende Daten, komplexe Strukturen und Produktvielfalt den Materialkreislauf. Praxisnahe Demonstratoren des Transferhubs Digitalisierung und Circular Economy zeigen, wie digitale Technologien und automatisierte Verfahren diese Hürden überwinden und Materialkreisläufe schließen können.

Damit Produkte, Komponenten und Rohstoffe in neue Wertschöpfungszyklen gelangen können, müssen Informationen und Materialflüsse zusammenspielen. In der Praxis liegen Produktdaten jedoch oft unstrukturiert vor, Lieferketteninformationen sind schwer nachvollziehbar und Altgeräte werden aufgrund ihrer Anonymität im Abfallstrom nicht auf Geräteebene behandelt. Digitalisierung und Verfahrenstechnik können an diesen Schnittstellen konkrete Beiträge leisten.

Im Transferhub Digitalisierung & Circular Economy im Prosperkolleg untersucht die Hochschule Ruhr West solche Ansätze anhand praxisnaher Demonstratoren. Dieser Artikel greift drei ausgewählte Anwendungsfelder auf, die unterschiedliche Ebenen zirkulärer Wertschöpfung adressieren: von der KI-gestützten Aufbereitung relevanter Produktdaten über deren vertrauenswürdige Weitergabe entlang der Lieferkette bis zur robotisierten Rückgewinnung von Komponenten und Materialien.

Produktinformationen für weitere Wertschöpfungszyklen

Welche Materialien sind in einem Produkt enthalten? Welche Komponenten lassen sich austauschen oder wiederverwenden? Und welche Informationen werden für Reparatur, Demontage oder Recycling benötigt? Solche Fragen lassen sich nur beantworten, wenn relevante Produktdaten verfügbar und strukturiert zugänglich sind.

Genau hier setzen die neuen Anforderungen der Europäischen Union an, insbesondere der Digitale Produktpass (DPP). Künftig sollen Produktinformationen über unterschiedliche Lebenszyklusphasen hinweg verschiedenen Akteuren der Wertschöpfungskette in einem einheitlichen Format zugänglich gemacht werden. Dazu können Angaben zu Materialien, Herkunft, Reparatur, Wartung oder Verwertung gehören [1].

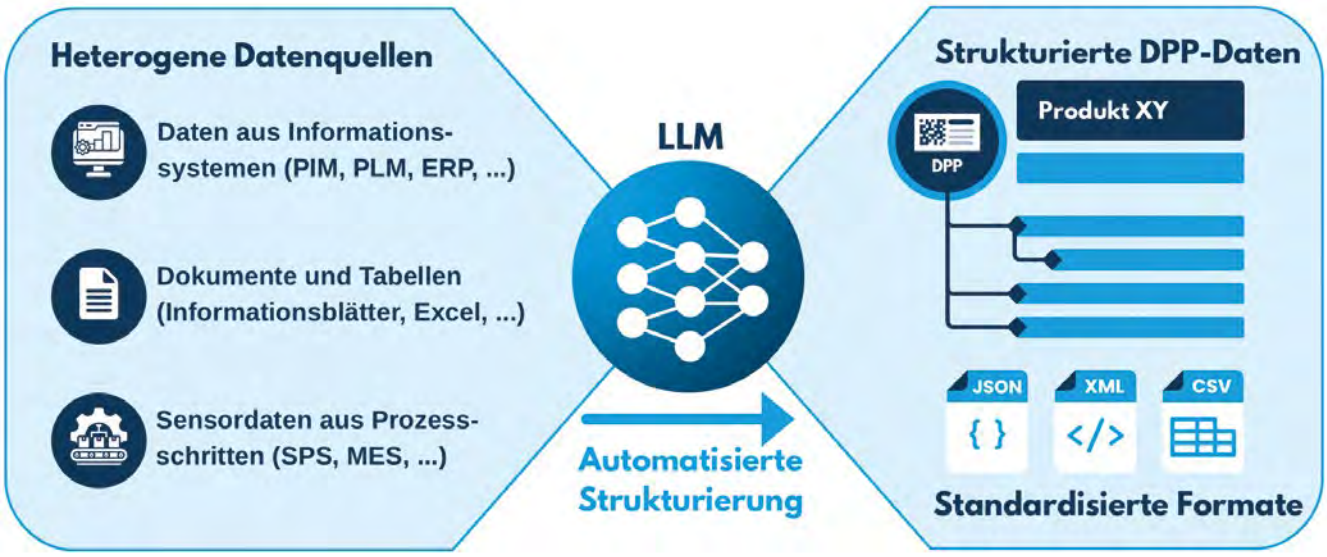
Viele Industrieunternehmen, gerade kleine und mittlere Unternehmen, stehen dabei vor einer Herausforderung: Die benötigten Informationen liegen häufig verstreut über mehrere Systeme und Unternehmensgrenzen vor und ihr strukturiertes Zusammenführen verursacht einen erheblichen Aufwand [2].

Daher beleuchtet der Transferhub aus verschiedenen Perspektiven, wie digitale Tools dabei unterstützen können, solche Informationen automatisiert zu strukturieren und nachvollziehbar bereitzustellen. Ein Demonstrator extrahiert beispielsweise DPP-relevante Produktdaten aus unstrukturierten Texten oder PDF-Dateien.

Das Besondere: Anstelle eines proprietären LLM-Agenten wird hier zunächst auf ein lokales und speziell für die Informationsextraktion trainiertes Sprachmodell gesetzt. Dadurch lässt sich die Lösung mit kostengünstiger Hardware sowie ohne Abhängigkeiten zu externen Cloud-Providern ausschließlich lokal betreiben.

Während für klar abgegrenzte Aufgaben wie die Extraktion einzelner Produktmerkmale bereits kleine, spezialisierte Sprachmodelle ausreichen können, steigen die Anforderungen bei komplexen und heterogenen Produktionsdaten deutlich.

Bild 1: Schematische Darstellung der Überführung von heterogenen Datenquellen in strukturierte DPP-Daten
© David Rohrschneider, Hochschule Ruhr West



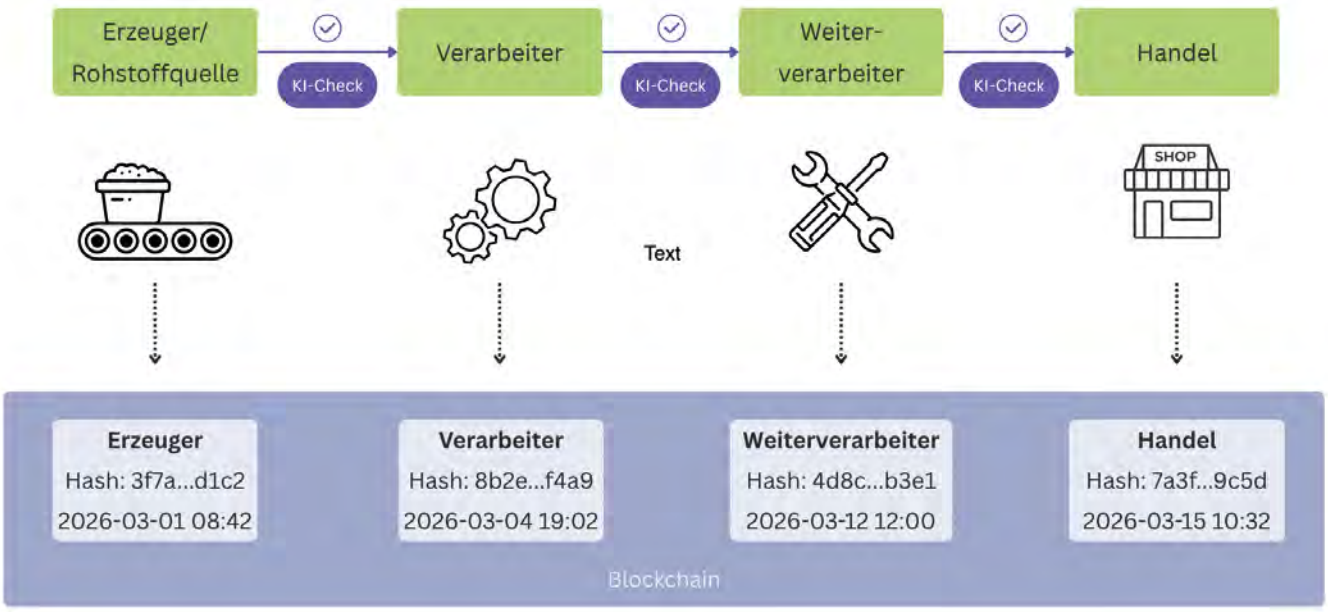


Bild 2: Lieferketten-Nachverfolgung mit KI-gestützter Vertrauensprüfung beim Akteurswechsel
© Vanessa Carls, Hochschule Ruhr West

In einer weiterführenden Studie wurde deshalb untersucht, wie zuverlässig lokale und cloudbasierte LLMs Informationen aus unterschiedlichen Quellen in strukturierte DPP-Schemata überführen können. Wie in Bild 1 dargestellt, werden unter anderem Informationen aus Maschinen, Sensorik oder bestehenden Produktionssystemen zusammengeführt, die in der Praxis häufig in unterschiedlichen Formaten und Systemen vorliegen [3]. Für eine zirkuläre Produktion ist dies besonders relevant, da so Informationen aus verschiedenen Prozessschritten nicht nur erfasst, sondern auch konsistent nutzbar gemacht werden können.

Blockchain und KI für nachvollziehbare Lieferketteninformationen

Zirkuläre Produktion setzt voraus, dass Herkunft, Zustand und Historie von Materialien nachvollziehbar sind. In der Praxis sind diese Informationen jedoch häufig über verschiedene Akteure und Systeme verteilt. Besonders an den Übergabepunkten zwischen Unternehmen entstehen dadurch Lücken in der Datenkette.

Der DPP legt fest, welche Informationen ein Produkt über seinen Lebenszyklus begleiten sollen. Doch woher stammen diese Daten, und wie bleiben sie über viele Akteure hinweg vertrauenswürdig? Blockchain-Technologie setzt genau hier an: als dezentrales, manipulationssicheres Register, hier ergänzt durch KI, die Daten prüft und einordnet [4].

Ein Beispiel liefert die Nachverfolgung von Lieferketten: Jede Station, etwa Erzeuger, Verarbeiter und Händler, dokumentiert ihren Schritt fälschungssicher auf der Blockchain (Bild 2). Am Beispiel Holz erprobt, lässt sich im zugehörigen Pilotprojekt allein für den Schritt der Holzbereitstellungsmeldung eine Prozesszeitersparnis von rund 10 % erzielen [5]; der Ansatz selbst ist bewusst branchenagnostisch gedacht und auf beliebige Rohstoffe und Produkte übertragbar. Aktuell wird das Prinzip um eine KI-gestützte Vertrauensprüfung erweitert: Beim Wechsel zu einem neuen Akteur recherchiert und analysiert ein KI-System automatisiert öffentlich verfügbare Informationen über diesen und schätzt seine Vertrauenswürdigkeit ein, bevor dessen Daten übernommen werden. Ergänzt um RFID zur automatischen Datenerfassung entsteht so eine durchgängige, überprüfbare Historie für den DPP.

Ganz ohne Grenzen ist der Ansatz jedoch nicht: Blockchain garantiert, dass gespeicherte Daten unverändert bleiben, nicht aber, dass sie von Anfang an korrekt sind (Oracle-Problem) [6]. Die KI-basierte Akteursbewertung ist zudem nur so gut wie die verfügbaren Online-Informationen und ersetzt keine verbindliche Zertifizierung, kann sie aber sinnvoll ergänzen. Bei personenbezogenen oder schützenswerten Daten braucht es zusätzlich Verschlüsselungen oder Permissioned-Blockchain-Ansätze mit eingeschränktem Zugang [7], und hier fehlen gerade KMU oft niedrigschwellige Einstiegsmöglichkeiten.

Eine flexible, blockchainbasierte Lösung ist im Transferhub bereits entstanden und erprobt. Als Nächstes werden die KI-gestützte Vertrauensprüfung und der RFID-Gate-Demonstrator im Transferhub gemeinsam weiterentwickelt, an realen Übergabepunkten getestet und schrittweise auf weitere Produktkategorien und Branchen ausgeweitet, um die Übertragbarkeit des Ansatzes über den Holz-Anwendungsfall hinaus zu zeigen.



Bild 3: Aufnahme aus dem CDEL: Nach der Datenerfassung übergibt Roboter A den Akkuschrauber an Roboter B für die Fraktionierung © Mike Duddek, Hochschule Ruhr West

Roboter trennen, was Schredder sonst vermischen

Elektroaltgeräte sind wertvolle Rohstofflager, aber schwer zugänglich. Besonders kleine Elektro- und Elektrokleingeräte variieren stark in Aufbau, Materialmix und Verbindungstechnik. Eine automatisierte Demontage nach dem Vorbild der ursprünglichen Produktion ist daher kaum realistisch. Im klassischen Recycling werden solche Geräte meist mechanisch zerkleinert. Dabei entstehen Materialgemische, die später nur aufwendig oder gar nicht trennbar sind.

Im Transferhub verfolgt das Circular Digital Economy Lab (CDEL) deshalb einen anderen Ansatz: Vorzerlegung vor der Zerkleinerung. Ziel ist keine vollständige zerstörungsfreie Demontage, sondern eine datenbasierte, robotisierte Fraktionierung. Altgeräte werden in Teilströme überführt, die sich besser mechanisch, metallurgisch oder chemisch aufbereiten lassen [8].

Als Demonstrator dient aktuell ein Akkuschrauber. Nach der Geräteidentifikation werden Geometrie und innerer Aufbau erfasst – äußerlich für Greif- und Bewegungsplanung, innerlich per Röntgen. Daraus entsteht eine Schnittstrategie, mit der sich Getriebe, Motor, Batterie und Elektronik im Griffbereich gezielt voneinander trennen lassen.

Die Fraktionierung erfolgt mit einem stationären Wasserstrahl: Ein Industrieroboter führt das Gerät entlang geplanter Schnittlinien durch den Strahl und erzeugt definierte Fraktionen. Dadurch werden kritische Vermischungen vermieden. Besonders relevant ist die Motorfraktion: Neodymhaltige Permanentmagnete haften im konventionellen Schredderprozess am Eisen an und gehen beim Einschmelzen in der Schlacke verloren. Als eigene Fraktion kann der Motor gezielt weiterbehandelt werden – mit deutlich besseren Chancen, kritische Rohstoffe wie Kupfer und Neodym zurückzugewinnen.

Herausfordernd bleiben Gerätevielfalt und -zustand, komplexer Aufbau, sowie fehlende Herstellerinformationen. Für industrielle Anwendungen müssen Erkennung, Greifen, Planen und Schneiden auch bei beschädigten oder verschmutzten Geräten robust, sicher und wirtschaftlich funktionieren. Die CDEL-Anlage ist darauf ausgelegt, mit diesen Unsicherheiten umzugehen und hersteller- sowie modellunabhängig ohne menschliche Intervention zu fraktionieren [9].

Aktuell überträgt das CDEL den Ansatz auf weitere Elektro- und Elektrokleingeräte, darunter elektrische Zahnbürsten. Zugleich wird die nasschemische Aufbereitung ausgewählter Fraktionen weiterentwickelt, insbesondere für Motoren mit neodymhaltigen Permanentmagneten. Nach Schreddern und mechanischer Vorsortierung wird nicht trennbares Material in Säure gelöst und anschließend selektiv chemisch getrennt, ausgefällt oder elektrochemisch zurückgewonnen [10].

Langfristig soll der Prozess internationale Lieferabhängigkeiten von strategischen Rohstoffen verringern und hochwertige Sekundärrohstoffe als Basis für neue industrielle Produktion bereitstellen.

Technologien bedarfsgerecht einsetzen

Die vorgestellten Ansätze adressieren zwar alle Informations- und Prozessprobleme, müssen aber nicht gemeinsam eingesetzt werden. Liegen Produkt- oder Produktionsdaten bereits strukturiert vor, ist keine zusätzliche KI zur Harmonisierung erforderlich. Sind Informationen dagegen über Maschinen, Sensorik, Dokumente oder Systeme verteilt, kann KI helfen, sie zu extrahieren und zu vereinheitlichen.

Sollen diese Daten sicher an nachfolgende Partner weitergegeben werden, kann Blockchain ihre Herkunft und Unveränderheit nachvollziehbar absichern und zusammen mit Zugriffsrechten und Verschlüsselung unbefugte Einsicht verhindern. Gerade bei Zerlegung und Recycling fehlen häufig verlässliche Informationen zu Aufbau, Komponenten und Materialien. Der CDEL-Ansatz ist deshalb so ausgelegt, dass er weitgehend ohne Zusatzinformationen auskommt. Sind vertrauenswürdige Produktdaten allerdings verfügbar, können sie die Zerlegung weiter verbessern, Stoffströme gezielter trennen und die Rückgewinnung wertvoller Materialien erleichtern.

Für Unternehmen liegt der Mehrwert darin, den eigenen Engpass zu identifizieren und dort anzusetzen, wo Daten fehlen, unstrukturiert vorliegen, nicht vertrauenswürdig weitergegeben werden können oder Rückgewinnungsprozesse durch fehlende Produktinformationen und nicht kreislauffähiges Design erschwert werden. Projekte wie der Transferhub bieten dafür einen praxisnahen Erprobungsraum, in dem Unternehmen geeignete Technologien kennenlernen und ihren Nutzen für die eigenen Prozesse bewerten können.

Am Beitrag waren außerdem folgende Personen als Autoren beteiligt: Franziska Czernik, Marc Jansen, Saulo H. Freitas Seabra da Rocha und Uwe Handmann.

Förderhinweis: Die Arbeiten wurden durch die Projekte „Transferhub – Digitalisierung & Circular Economy im Prosperkolleg" (EFRE-20800649 und EFRE-20800650) sowie „Circular Performer Emscher-Lippe" (EFRE-20600019) unterstützt. Die Projekte werden durch das MWIKE.NRW finanziert und von der Europäischen Union im Rahmen des EFRE/JTF-Programms NRW 2021–2027 kofinanziert.

Literatur

[1] Europäische Kommission. (2026, 3. Juli). Digital Product Passport. Internal Market, Industry, Entrepreneurship And SMEs. Abgerufen am 19. August 2026, von https://single-market-economy.ec.europa.eu/single-market/digital-product-passport_en

[2] Dao, A. (2026). Digital Product Passport Readiness: Preliminary evidence on regulatory information gaps, digitalisation challenges and service provider engagement. In Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.19317687

[3] Rohrschneider, D., Pehlke, M., Handmann, U. & Jansen, M. (2026). LLM-based JSON Mapping and Blockchain Integration for Digital Product Passports. Digital Business, 6(1), 100167. https://doi.org/10.1016/j.digbus.2026.100167

Das komplette Literaturverzeichnis finden Sie auf www.factory-innovation.de!

Veranstaltungen | Nachrichten

Energiemanagement für die Getränkeproduktion

Entdecken Sie das GRÜN GQM MES auf der BrauBeviale 2026



© GRÜN GQM GmbH

Die GRÜN GQM zeigt auf der BrauBeviale 2026, wie die GQM MES Software Messstellen, Anlagenstrukturen sowie Zähler- und Prozessdaten zu einer durchgängigen Energie-Performance-Analyse verbindet. Unternehmen vergleichen ihren Energieverbrauch mit einer definierten Energiebasis, erkennen Abweichungen in Echtzeit und analysieren Kennzahlen auf jeder Ebene. So werden aus Energiedaten konkrete Steuerungsinformationen für eine effizientere Produktion. Besuchen Sie uns in Halle 10, Stand 125.

www.gruen.net



Redaktion Factory Innovation

Digitale Zukunft der Produktion aus Berlin

Mercedes-Benz setzt neue Maßstäbe in der Motorenfertigung

Mit dem neuen Axial-Fluss-Motor und dem Digital Factory Campus zeigt Mercedes-Benz, wie Zukunft heute bereits Realität wird. Im ältesten noch produzierenden Werk des Automobilkonzerns in Berlin-Marienfelde trifft technologische Exzellenz auf Leidenschaft für Innovation. Entstanden ist mehr als ein neuer Antrieb: ein starkes Zeichen dafür, wie aus visionären Ideen eine neue industrielle Realität wächst.

Mit dem Produktionsstart gewinnt Berlin weiter an Profil als industrieller Innovationsstandort und macht zugleich deutlich, welche Bedeutung der Standort für die Umsetzung technologischer Zukunftslösungen hat. Auch für Deutschland und Europa setzt der Produktionsstart ein klares Signal im internationalen Wettbewerb.

Der Axial-Fluss-Motor basiert auf einem technisch bewährten Grundprinzip, das nun erstmals in eine skalierbare Großserienfertigung überführt wird. Damit wird aus einem hochkomplexen Vorhaben ein industriell beherrschbarer Produktionsprozess: 98 exakt aufeinander abgestimmte Prozessschritte, zahlreiche neu entwickelte Verfahren und mehr als 30 Patentanmeldungen stehen für eine Fertigung, die technisch neue Maßstäbe setzt. Hochautomatisierte Abläufe, Lasertechnologie und eine intelligente, KI-gestützte Qualitätskontrolle greifen dabei nahtlos ineinander. Vier Beispiele aus der Fertigung verdeutlichen diese Innovationsleistung im Detail.

Präzise Drahtverarbeitung für höchste Leistungsdichte

Ein wesentlicher Innovationsschritt liegt in der Verarbeitung des Kupferdrahts für die Spulen. Um die hohe Leistungsdichte des Motors zu erreichen, wurde gemeinsam mit einem Partner ein Verfahren entwickelt, bei dem rechteckiger Kupferdraht verarbeitet wird. Das erlaubt eine deutlich effizientere Nutzung des Bauraums als bei herkömmlichem Runddraht, stellt aber zugleich hohe Anforderungen an die Umformung. Der Draht wird dafür mit hoher Geschwindigkeit in enge Radien gebogen, ohne dass Falten entstehen, die Isolierung beschädigt oder der Querschnitt verringert wird.

Präzise Laserverbindung unter engsten Bauraumbedingungen

Ein weiterer innovationsrelevanter Prozessschritt liegt in der Verschaltung der Spulenpakete im Stator. Die einzelnen Spulenenden müssen unter stark eingeschränkten Bauraumbedingungen präzise mit dem jeweiligen Verschaltungsdraht verbunden werden. Dafür kommt eine hochpräzise Laserverbindung zum Einsatz, die einen kontrollierten, minimalen Wärmeeintrag ermöglicht und die umliegenden Kunststoffstrukturen vor thermischer Schädigung schützt.

Prozesssicheres Polymerschweißen durch Künstliche Intelligenz

Eine weitere im Prozess genutzte Innovation ist das Polymerschweißen von Kunststoffteilen im Antriebsstrang. Die Teile müssen so verbunden werden, dass der Wärmeeintrag minimal bleibt und benachbarte Bereiche nicht beschädigt werden. Dazu wird eine KI-gestützte optische Echtzeit-Qualitätskontrolle eingesetzt. Sie ermittelt die exakte Lage eines Bauteils, legt virtuelle Schutzzonen über sensible Bereiche und stellt sicher, dass der Laser nur die vorgesehenen Oberflächen bearbeitet. Parallel wird die Verbindung automatisch dokumentiert, was die Prozesssicherheit zusätzlich unterstützt.

Technische Präzision in der Endmontage

Eine weitere technologische Herausforderung, die erfolgreich gemeistert wurde, ist die hochpräzise Positionierung des Stators zwischen den Rotorscheiben unter hohen Kräften und minimalen Toleranzen. Ein innovativer Regelungsalgorithmus korrigiert dazu in der Endphase des Prozesses mit hoher Genauigkeit die Position des Stators und sorgt dafür, dass dieser exakt in der magnetischen Mittelebene bleibt.



Angelina Marko

Von der Pflicht zum Mehrwert

Digitaler Produktpass 4.0 macht Produktprozesse interoperabel





© Adobe Stock/ Laura, Anna

Der Digitale Produktpass wird für immer mehr Unternehmen zur Voraussetzung für den europäischen Marktzugang. Welche Informationen für einzelne Produktgruppen konkret bereitzustellen sind, wird schrittweise festgelegt. Doch Unternehmen können bereits heute wichtige Grundlagen schaffen. Der Ansatz des DPP4.0 verbindet die regulatorischen Anforderungen mit den Prinzipien von Industrie 4.0: Produktinformationen werden standardisiert, maschinenlesbar und interoperabel bereitgestellt. Damit wird der Produktpass zum Ausgangspunkt für automatisierte Prozesse und neue digitale Wertschöpfung.

Mit der Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR) hat die Europäische Union den Rahmen für den Digitalen Produktpass geschaffen. Für die künftig erfassten Produktgruppen wird er damit weit mehr als ein freiwilliges digitales Informationsangebot: Ist für ein Produkt ein Digitaler Produktpass vorgeschrieben, muss dieser grundsätzlich vorhanden sein, damit das Produkt in der Europäischen Union in Verkehr gebracht oder in Betrieb genommen werden kann.

Der Produktpass wird Teil des Marktzugangs

Das klingt zunächst nach einer weiteren regulatorischen Aufgabe für Hersteller. Doch welche Informationen Unternehmen künftig konkret bereitstellen müssen, wird erst schrittweise in produktspezifischen delegierten Rechtsakten festgelegt. Sie bestimmen unter anderem Datenumfang, Granularität und Zugriffsrechte.

Die Richtung ist damit bekannt, viele Details sind aber noch offen. Warten sollten Unternehmen trotzdem nicht: Schon heute zeichnet sich die grundlegende Aufgabe ab, Produktinformationen strukturiert, eindeutig zuordenbar, maschinenlesbar und interoperabel verfügbar zu machen.

Die eigentliche Herausforderung liegt hinter dem QR-Code

In der öffentlichen Wahrnehmung wird der Digitale Produktpass häufig auf den Datenträger am Produkt reduziert. Für Hersteller liegt die größere Herausforderung jedoch dahinter: Wo befinden sich die benötigten Produktinformationen? Sind sie eindeutig einem Produkt zugeordnet, strukturiert und aktuell? Können unterschiedliche IT-Systeme sie interpretieren und bleiben sie langfristig verfügbar?

Gerade in der Elektro- und Digitalindustrie sind Produktinformationen heute über zahlreiche Systeme und Dokumente verteilt. Technische Daten entstehen beispielsweise im Engineering und Product Lifecycle Management, weitere Informationen liegen in ERP-Systemen, Datenbanken oder Dokumenten. Hinzu kommen Informationen von Zulieferern. Ein Teil der Daten ist strukturiert verfügbar, ein anderer weiterhin in Dokumenten oder proprietären Formaten.

Der Digitale Produktpass macht damit eine Herausforderung sichtbar, die weit über Regulierung hinausgeht: Produktdaten müssen über System- und Lebenszyklusgrenzen hinweg nutzbar werden. Die strategische Frage lautet daher nicht nur, welche Datenfelder künftig erforderlich sind, sondern auch, wie Produktinformationen organisiert werden müssen, damit regulatorische Anforderungen effizient erfüllt und dieselben Informationen zugleich für digitale Prozesse genutzt werden können.

DPP4.0: Compliance und Digitalisierung zusammendenken

Hier setzt DPP4.0 an. Der Digitale Produktpass sollte nicht als isolierte regulatorische Lösung aufgebaut werden. Stattdessen verbindet DPP4.0 die Anforderungen des Produktpasses mit Konzepten, Standards und Technologien der Industrie 4.0. Ziel ist eine Umsetzung, die regulatorische Anforderungen adressiert und zugleich Produktinformationen für digitale Geschäftsprozesse nutzbar macht.

Ein zentraler Baustein dafür ist die Asset Administration Shell (AAS). Sie ermöglicht es, Informationen zu Produkten und Assets standardisiert und maschinenlesbar abzubilden. Informationen werden in modularen Teilmodellen strukturiert und mit eindeutiger Semantik versehen. Dadurch können unterschiedliche Systeme dieselben Informationen nicht nur technisch übertragen, sondern auch inhaltlich eindeutig interpretieren.

Der Unterschied ist wesentlich: Ein PDF-Datenblatt kann digital verfügbar sein und trotzdem muss ein Mensch die darin enthaltenen Informationen lesen und interpretieren.

Eine semantisch beschriebene Produkteigenschaft innerhalb einer standardisierten digitalen Repräsentation kann dagegen direkt von Maschinen und Software verarbeitet werden. Diese Maschinenlesbarkeit macht aus Produktinformationen eine Ressource für digitale Prozesse.

Digitaler Produktpass

Der Digitale Produktpass (DPP) stellt Informationen über ein Produkt digital zur Verfügung. Den europäischen Rechtsrahmen bildet die Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR). Welche Informationen konkret enthalten sein müssen, wird produktspezifisch in delegierten Acts festgelegt. Über einen eindeutigen Produktidentifikator und einen Datenträger, beispielsweise einen QR-Code, werden physisches Produkt und digitale Informationen miteinander verknüpft. Dabei können je nach Information und Nutzergruppe unterschiedliche Zugriffsrechte gelten.

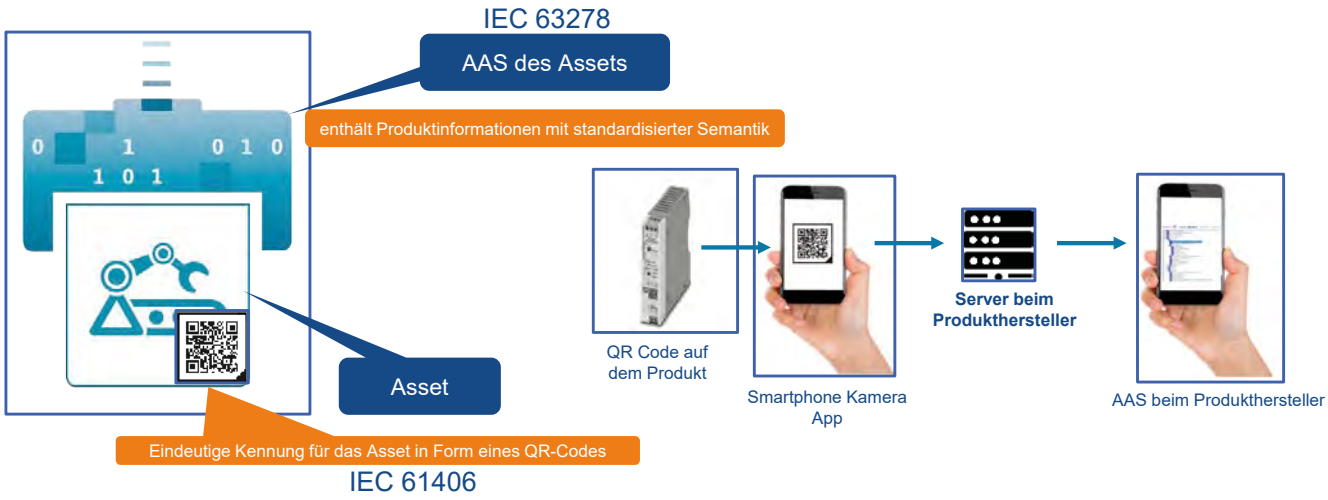


Bild 1: Zusammenspiel von physischem Asset, eindeutiger Identifikation und digitaler Repräsentation. Ein QR-Code nach IEC 61406 dient als Zugangspunkt zur AAS des Produkts, die auf Basis der IEC 63278 standardisierte Produktinformationen bereitstellt © Plattform Industrie 4.0

Einmal digitalisieren – mehrfach nutzen

Darin liegt eine wesentliche Chance für Unternehmen: Viele Informationen, die künftig regulatorisch relevant sein können, entstehen ohnehin in den Wertschöpfungsprozessen. Werden sie ausschließlich für den DPP in eine zusätzliche Datenstruktur überführt, entsteht im ungünstigsten Fall ein weiteres Informationssilo mit zusätzlichem Pflege- und Integrationsaufwand.

DPP4.0 verfolgt einen anderen Ansatz: Produktinformationen sollen standardisiert und interoperabel verfügbar sein, sodass sie für unterschiedliche Zwecke genutzt werden können.

Die Einsatzmöglichkeiten reichen deutlich über die Erfüllung regulatorischer Informationspflichten hinaus. Maschinenlesbare Produktinformationen können beispielsweise automatisiert in Engineering- und Beschaffungsprozesse übernommen werden. Technische Daten können bei der Inbetriebnahme direkt in nachgelagerte Systeme einfließen. Serviceunternehmen können benötigte Wartungsinformationen eindeutig einem Produkt zuordnen. Informationen zu Ersatzteilen, Reparatur oder Demontage können über den Lebenszyklus verfügbar gemacht werden.

Auch für die Kreislaufwirtschaft ist diese Durchgängigkeit entscheidend. Reparatur, Wiederverwendung, Refurbishment und Recycling benötigen Informationen über Produkte, Materialien und Komponenten. Sind diese Informationen standardisiert und maschinenlesbar verfügbar, können sie zunehmend automatisiert in die entsprechenden Prozesse einfließen. Damit verändert sich die Perspektive auf den Produktpass: Die regulatorische Verpflichtung bleibt bestehen, aber die dafür notwendige Digitalisierung kann gleichzeitig wirtschaftlichen Nutzen erzeugen.

Interoperabilität entscheidet über den Nutzen

Dieser Mehrwert entsteht nicht allein dadurch, dass Informationen digital vorliegen. Nutzt jeder Hersteller eigene Datenstrukturen und Semantiken, bleiben Übersetzungen und individuelle Schnittstellen notwendig. Deshalb ist Interoperabilität eine zentrale Voraussetzung, damit digitale Produktinformationen automatisiert und herstellerübergreifend genutzt werden können.

Hier spielen Standards und gemeinsame Informationsmodelle eine entscheidende Rolle. Sie sorgen dafür, dass eine technische Eigenschaft unabhängig vom Hersteller

Asset Administration Shell

Die Asset Administration Shell (AAS) ist die standardisierte digitale Repräsentation eines Assets und ein zentrales Konzept der Industrie 4.0. Sie strukturiert Produktinformationen in modularen Teilmodellen, versieht sie mit eindeutiger Semantik und macht sie maschinenlesbar verfügbar. Die AAS ist international in der IEC 63278 standardisiert. Damit können Informationen interoperabel in unterschiedlichen Systemen und digitalen Geschäftsprozessen genutzt werden.

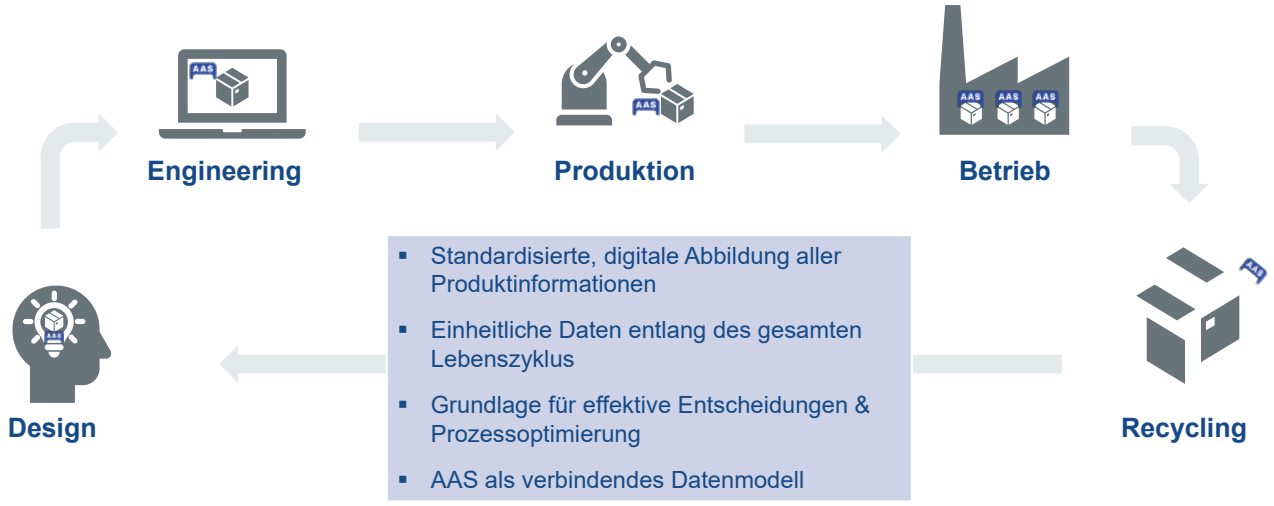


Bild 2: Produktinformationen über den gesamten Lebenszyklus nutzen: Die Asset Administration Shell (AAS) schafft eine standardisierte digitale Abbildung von Produktinformationen und ermöglicht deren Nutzung entlang des Produktlebenszyklus © ZVEI e. V.

eindeutig beschrieben und von unterschiedlichen Systemen interpretiert werden kann. Für Unternehmen bedeutet das zugleich Investitionsschutz: Statt für einzelne regulatorische Anforderungen jeweils neue proprietäre Lösungen aufzubauen, können bestehende standardisierte Strukturen erweitert und für neue Anforderungen wiederverwendet werden.

Gerade angesichts noch ausstehender produktspezifischer Anforderungen ist diese Modularität wichtig: Neue Informationsanforderungen können in eine bestehende digitale Produktrepräsentation integriert werden, ohne für jeden Anwendungsfall eine neue technische Architektur aufzubauen.

Nicht alle Daten müssen für alle sichtbar sein

Ein häufiges Missverständnis beim Digitalen Produktpass ist die Vorstellung eines vollständig transparenten Produkts, bei dem sämtliche Informationen öffentlich verfügbar werden. Das ist weder die Zielsetzung noch für industrielle Produkte praktikabel. Unterschiedliche Akteure entlang des Produktlebenszyklus benötigen unterschiedliche Informationen. Marktüberwachungsbehörden benötigen beispielsweise andere Informationen als Betreiber, Reparaturbetriebe oder Recycler. Gleichzeitig verfügen Hersteller über sensible Produkt- und Unternehmensdaten, deren Schutz für ihre Wettbewerbsfähigkeit entscheidend ist. Deshalb müssen Informationsbereitstellung und Zugriffsrechte zusammengedacht werden.

Auch hier bietet eine modulare digitale Produktrepräsentation Vorteile. Öffentlich zugängliche Informationen können von geschützten Informationen getrennt werden. Je nach Anwendungsfall erhalten unterschiedliche Akteure nur Zugriff auf die für sie notwendigen Daten.

Das können Hersteller heute bereits tun

Solange die delegierten Rechtsakte für die jeweiligen Produktgruppen nicht vorliegen, lassen sich konkrete zukünftige Datenpflichten nicht vorwegnehmen. Unternehmen können dennoch wichtige Grundlagen schaffen.

Der erste Schritt ist eine Bestandsaufnahme der eigenen Produktinformationen. Unternehmen sollten wissen, welche Daten bereits vorhanden sind, in welchen Systemen sie entstehen, welche davon strukturiert vorliegen und wo noch dokumentenbasierte oder manuelle Prozesse bestehen.

Der zweite Schritt betrifft die eindeutige Identifikation. Digitale Informationen entfalten nur dann ihren Nutzen, wenn physische Produkte und ihre digitale Repräsentation zuverlässig miteinander verbunden werden können.

Drittens sollten Unternehmen bei neuen Digitalisierungsprojekten konsequent auf Standards, Maschinenlesbarkeit und Interoperabilität achten. Wer heute neue proprietäre Datensilos aufbaut, wird sie für den DPP und weitere digitale Anwendungen später sehr wahrscheinlich erneut integrieren müssen.

Schließlich lohnt sich der Blick über Compliance hinaus: Wo werden Produktinformationen heute mehrfach zwischen Engineering, Produktion, Vertrieb, Kunden und Service übertragen? Wo könnten standardisierte digitale Informationen manuelle Über-

gaben ersetzen und Prozesse automatisieren? Solche Anwendungsfälle machen den DPP nicht nur zum Digitalisierungsthema.

Aus der Pflicht kann digitale Wertschöpfung werden

Der Digitale Produktpass wird für produzierende Unternehmen zweifellos neue Anforderungen mit sich bringen. Für die betroffenen Produktgruppen wird die digitale Bereitstellung vorgeschriebener Informationen künftig Teil der Produkt-Compliance und damit des europäischen Marktzugangs. Es wäre jedoch zu kurz gedacht, diese Entwicklung ausschließlich als neue Dokumentationspflicht zu behandeln.

Die Industrie steht ohnehin vor der Aufgabe, Informationen über Produkte und Assets durchgängiger verfügbar und automatisiert nutzbar zu machen. Denn Medienbrüche, proprietäre Datenformate und mehrfach gepflegte Produktinformationen erschweren heute noch durchgängige digitale Prozesse in Engineering, Produktion, Betrieb und Service. Der Digitale Produktpass kann diese Entwicklung beschleunigen – vorausgesetzt, seine Umsetzung wird mit der industriellen Digitalisierung zusammengedacht.

DPP4.0 steht für diese Verbindung: Regulatorisch relevante Informationen sollen standardisiert und digital bereitgestellt werden, während die zugrunde liegende interoperable Produktrepräsentation zugleich für weitere Informationen und digitale Geschäftsprozesse genutzt werden kann.

Unternehmen müssen bisher nicht jedes zukünftige Datenfeld kennen. Sie können aber die Grundlagen schaffen, um Produktinformationen künftig effizient bereitzustellen und weiterzuverwenden. So kann aus der Pflicht zum Digitalen Produktpass mehr als Compliance werden: ein Ausgangspunkt für interoperable Daten, automatisierte Prozesse und digitale Wertschöpfung.

Anzeige

EUROPAS DIGITALE **SOUVERÄNITÄT** BEGINNT BEI DER **SOFTWARE**

Wer digitale Infrastruktur kontrolliert, bestimmt über **Datenschutz**, **Innovation** und **wirtschaftliche Unabhängigkeit**.

ZWEI GÜTESIEGEL FÜR **VERTRAUEN** IN EUROPÄISCHE **SOFTWARE**:

- **Software** entwickelt in Europa
- Datenschutz nach **EU-Standard**
- Daten und Hosting in **Europa**
- Stärkung europäischer **Anbieter** und **Innovationen**

SOFTWARE HOSTED IN EUROPE

SOFTWARE MADE IN EUROPE



Technologische Souveränität ist entscheidend für **Europas Wettbewerbsfähigkeit**.
Dr. Oliver Grün | Präsident BITMi

ZEIGEN SIE, DASS IHRE SOFTWARE FÜR **EUROPAS DIGITALE ZUKUNFT** STEHT.

Jetzt informieren & Siegel beantragen:
bitmi.de

bitmi Bundesverband IT-Mittelstand e.V.

Neuer Division President bei B&R

Christian Strahberger übernimmt die Leitung der Machine Automation Division



© B&R

Christian Strahberger ist neuer Division President der Machine Automation Division von ABB (B&R). Er folgt auf Florian Schneeberger, der im April bei einem tragischen Unfall ums Leben kam. Strahberger bringt 25 Jahre Führungserfahrung aus Maschinenbau, Motion Control und Leistungselektronik mit. Zuletzt war der promovierte Halbleiterphysiker bei Danfoss als Chief Technology Officer und Leiter der Chipfertigung tätig.

www.br-automation.com

Katrin Krebs wird neue CFOO von Shopware

Erfahrene Finanzmanagerin übernimmt Verantwortung für Finanzen und operative Steuerung

Katrin Krebs wird zum 15. September 2026 Chief Financial & Operating Officer der Shopware AG. Die erfahrene Finanzmanagerin übernimmt die Verantwortung für Finanzen, Personal, Recht, IT und Betrieb. Zuvor war sie CFO der Scalian Germany AG. Mit mehr als 23 Jahren Erfahrung in der Technologie- und Softwarebranche soll Krebs Shopwares weiteres Wachstum und die internationale Skalierung vorantreiben.

www.shopware.com



© shopware AG

Neuer Produktionschef für AGCO in Europa

Ekkehart Gläser übernimmt Verantwortung in der EME-Region



© AGCO GmbH

Zum 1. August 2026 übernimmt Ekkehart Gläser als Vice President of Manufacturing EME die Verantwortung für die Produktion von Fendt, Valtra und AGCO Power in Europa und dem Nahen Osten. Damit erweitert er seinen bisherigen Aufgabenbereich deutlich. Künftig verantwortet er acht Produktionsstandorte in Deutschland, Finnland und Italien und damit ein internationales Netzwerk des AGCO-Konzerns.

www.fendt.com



© Jinda Niopho/Getty Images

Variantenfertigung: Wenn das ERP zum Wettbewerbsvorteil wird

Vom Kundenwunsch bis zur Produktion: VlexPlus verbindet die gesamte Prozesskette

Individuelle Produkte sind gefragt wie nie. Doch mit jedem zusätzlichen Merkmal steigen die Anforderungen an Daten, Prozesse und Entscheidungen. Eine neue Abmessung verändert den Materialbedarf, eine Ausstattungsoption beeinflusst Arbeitsgänge und Kapazitäten, eine technische Anpassung wirkt sich auf Preis und Liefertermin aus.

Für Variantenfertiger stellt sich deshalb die Frage: Beherrscht das ERP diese Abhängigkeiten durchgängig – oder wird es selbst zum Engpass?

In vielen Unternehmen werden Varianten nur über Artikel und manuelle Prüfungen gesteuert. Stammdaten vervielfachen sich, Wissen bleibt bei einzelnen Mitarbeitenden und Fehler werden oft erst in Arbeitsvorbereitung oder Produktion sichtbar. Die Folgen sind Nacharbeit, verzögerte Lieferungen und eine unklare Ertragslage.

Ein zukunftsfähiges ERP beschreibt Produkte deshalb über Merkmale, Regeln und Abhängigkeiten. Nicht jede Kombination wird als eigener Artikel angelegt. Stattdessen erzeugt das System aus einer konkreten Konfiguration automatisch relevante Informationen – von Komponenten und Arbeitsgängen über Materialbedarfe und Kapazitäten bis zu Preis, Kosten und Liefertermin.

Genau hier setzt die ERP-Software VlexPlus an. Die Lösung wurde für Fertigungsunternehmen mit komplexen Varianten, Einzelstücken und kundenindividuellen Produkten entwickelt. Produktlogik, ERP-Daten und Fertigungsprozesse sind tief integriert. So wird aus dem Kundenwunsch bereits im Vertrieb eine technisch plausible und kaufmännisch bewertbare Auftragsgrundlage.

Die Entscheidungen aus der Konfiguration stehen anschließend in Beschaffung, Planung, Fertigung, Kalkulation und Controlling zur Verfügung. Änderungen bleiben nachvollziehbar, Erfahrungswissen wird als Regelwerk nutzbar und alle Abteilungen arbeiten mit einer gemeinsamen Datenbasis. Das reduziert Medienbrüche und schafft eine belastbare Grundlage für Wachstum.

Variantenmanagement ist damit keine Zusatzfunktion, sondern eine strategische Architekturfrage. Unternehmen benötigen ein ERP, das Flexibilität nicht durch Sonderlösungen erkauft, sondern Komplexität systematisch verarbeitet. VlexPlus hilft Variantenfertigern, individuelle Produktionsprozesse effizient zu strukturieren und ihre Marktposition zu bewahren.

VLEXsoftware gmbh

Fritz-Hornschuch-Straße 12
DE-95326 Kulmbach
Tel: 09221 691770
www.vlexplus.com

Dimitri Petrik, Ali Bozkurt und Carsten Ellwein

Produktpass mit Mehrwert

Transparente Produktinformationen stärken die Kreislaufwertschöpfung





© Adobe Stock/ Infinite Flow

Digitale Produktpässe werden primär als neue regulatorische Compliance-Aufgabe wahrgenommen. Für produzierende Unternehmen können sie aus der Anwendung jedoch weitere Potenziale entfalten. Insbesondere der Einsatz sekundärer Materialien und Baugruppen kann von den in Produktpässen enthaltenen Daten profitieren, sodass sie helfen, die Kreislaufwirtschaft in den industriellen Shopfloor zu integrieren.

Die Kreislaufwirtschaft ist ein nachhaltiges Paradigma, welches darauf abzielt, den Wert von Produkten, Komponenten und Materialien möglichst lange zu erhalten, um den Einsatz primärer Ressourcen zu reduzieren [1]. Die dafür notwendige Entkoppelung der Wertschöpfung vom linearen „Take-Make-Dispose"-Modell erfolgt über verschiedene Kreislaufstrategien wie Rethink, Reduce, Reuse, Repair, Refurbish, Remanufacture, Repurpose, Recycle, und Recover. Für Produktionsunternehmen bedeutet dies, dass Wertschöpfung nicht mehr mit der Produktion oder dem Verkauf eines Produkts endet: Produkte und Komponenten können nach ihrer Nutzung zurückkehren, erneut bewertet und wieder in Produktionsprozesse integriert werden.

Die Kreislaufwirtschaft kann auf unterschiedlichen Ebenen in die Produktion integriert werden [2, 3]:

- Sekundärmaterialien können Primärrohstoffe im Materialinput ersetzen.
- Funktionsfähige Komponenten aus Produktrücknahmen können erneut in der Montage eingesetzt werden.
- Auch Produktionsanlagen können durch Weiterverwendung, Reparatur oder Retrofit länger im Einsatz bleiben.

Doch bisherige Erfahrungen zeigen, dass die Integration der Kreislaufwirtschaft für produzierende Unternehmen komplex ist und mit erheblichen Herausforderungen verbunden sein kann. Dokumentierte Fallstudien (z. B. Gorenje) zeigen, dass mehrjährige Kreislauftransformationen wertvolle Erkenntnisse für ein Unternehmen über eigene Fähigkeiten und die Produktpalette liefern, aber nicht als erfolgreiche Wertschöpfungstransformation des Unternehmens bezeichnet werden können [4].

Voraussetzungen zur Realisierung der Kreislaufwirtschaft

Bisherige Forschung zeigt, dass die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft von zwei eng miteinander verbundenen Voraussetzungen abhängt:

1. der physischen Rückführung von Produkten und Materialien,
2. der Verfügbarkeit verlässlicher Informationen über deren Lebenszyklus.

Erstens müssen Produkte am Ende ihrer Nutzungsphase wieder in die Wertschöpfung zurückgeführt werden. Hierfür bedarf es geeigneter Rücknahme- und Logistikstrukturen sowie transparenter Informationen darüber, wie und über welche Wege Kunden oder Betreiber Produkte an Hersteller oder andere Akteure des Kreislaufs zurückgeben können [5].

Zweitens spielt Information eine grundlegende Rolle für das Funktionieren zirkulärer Wertschöpfungssysteme. Ob ein zurückgeführtes Produkt weiterverwendet, repariert, aufgearbeitet, remanufactured oder stofflich recycelt werden sollte, hängt unter anderem von seiner Materialzusammensetzung, seinem aktuellen Zustand, seiner Nutzungshistorie und bereits durchgeführten Reparaturen oder Modifikationen ab (Bild 1).

Verlässliche Lebenszyklusinformationen schaffen damit die notwendige Transparenz, um fundierte Entscheidungen über Produktgestaltung, Produktion, Wiederverwendung und Recycling zu treffen. Ihre systematische Erhebung, Strukturierung und Weitergabe gilt entsprechend als wesentliche Voraussetzung für die Schließung von Stoff- und Produktkreisläufen [6].

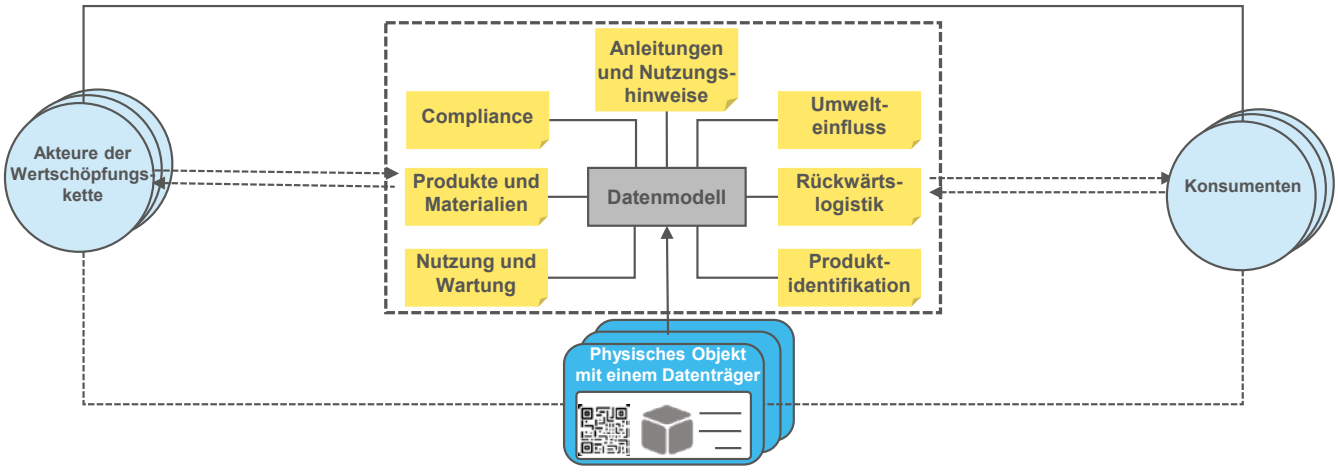


Bild 1: Konzeptionelle Darstellung eines Kreislaufs © eigene Darstellung

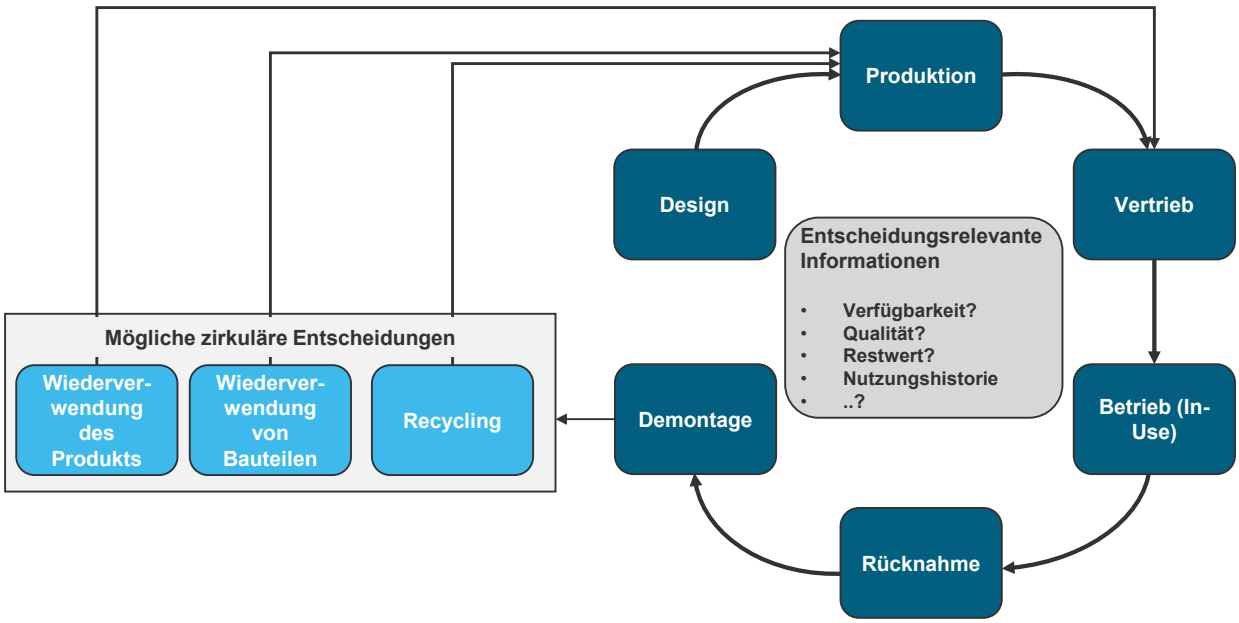


Bild 2: Vereinfachte Konzeption eines Digitalen Produktpasses © eigene Darstellung

Fehlende Transparenz bleibt zentrales Hindernis

Gerade bei der Informationsbeschaffung besteht jedoch weiterhin eine zentrale Lücke: Dem steigenden Bedarf an Lebenszyklusdaten stehen bislang unzureichend etablierte Routinen und Kanäle für den Datenaustausch gegenüber [7]. Relevante Informationen sind häufig über verschiedene Akteure und Informationssysteme entlang der Wertschöpfungskette verteilt und verändern sich zudem während der Nutzung eines Produkts, etwa durch Reparaturen, den Austausch von Komponenten oder technische Modifikationen [8].

Fehlende Transparenz, begrenzter Datenaustausch und mangelnde Standardisierung gehören daher weiterhin zu den zentralen Hindernissen für eine zielführende Zuführung sekundärer Produkte und Materialien in die eigene Produktion. Damit stellt sich für produzierende Unternehmen nicht nur die Frage, wie Produkte zurückkommen, sondern auch, wie ihr Zustand und ihr Restwert sind.

Um genau diese Herausforderung der Informationsbündelung zu adressieren, kann der Digitale Produktpass (DPP) helfen. Ein DPP kann als eine regulatorisch-getriebene, digitale Repräsentation eines eindeutig identifizierbaren Produkts, einer Produktcharge oder eines Produktmodells bezeichnet werden. Im Sinne der europäischen Ökodesign-Verordnung (ESPR) soll er vorgeschriebene Produktinformationen über den gesamten Lebenszyklus strukturiert erfassen, organisieren und über Datenträger und digitale Schnittstellen organisationsübergreifend zugänglich machen [9]. Ein DPP beinhaltet Daten über Zusammensetzung, Zustand oder Nutzungshistorie eines Produkts und stellt diese für Entscheidungen über die weitere Verwendung bereit (Bild 2).

Genau darin liegt die Chance, Kreislaufwirtschaft enger mit industriellen Produktionsprozessen zu verzahnen. Für produzierende Unternehmen liegt das Potenzial des DPPs jedoch nicht allein in der Erfüllung regulatorischer Vorgaben. Ohnehin fordert die Gesetzgebung die Einführung eines DPPs aktuell nur für bestimmte Produktkategorien wie Batterien, Haushaltselektronik oder Textilien.

Verlässliche Daten fördern effiziente Kreislaufstrategien

Dennoch kann das Konzept einer digitalen Repräsentation, die über Unternehmensgrenzen hinweg verfügbar gemacht wird, auch auf die nicht über die Ökodesign-Richtlinie erfassten Produktkategorien oder die Produktionsanlagen angewendet werden. Für die Produktion sind dabei primär die Daten zu Zusammensetzung, Zustand, Nutzung oder Reparaturen interessant. Mit Shopfloor-Prozessen und betrieblichen Anwendungssystemen verknüpft, können diese Daten Entscheidungen über Wartung, Retrofit, Wiederverwendung, Remanufacturing oder Recycling unterstützen. Entscheidend ist, dass diese Daten in Beschaffung und Produktionsplanung, Instandhaltung und Retrofit, Demontage, Wiederaufarbeitung oder die erneute Materialversorgung der Produktion einfließen [10].

Besonders greifbar wird dieses Potenzial im Remanufacturing. Werden gebrauchte Produkte zurückgenom-

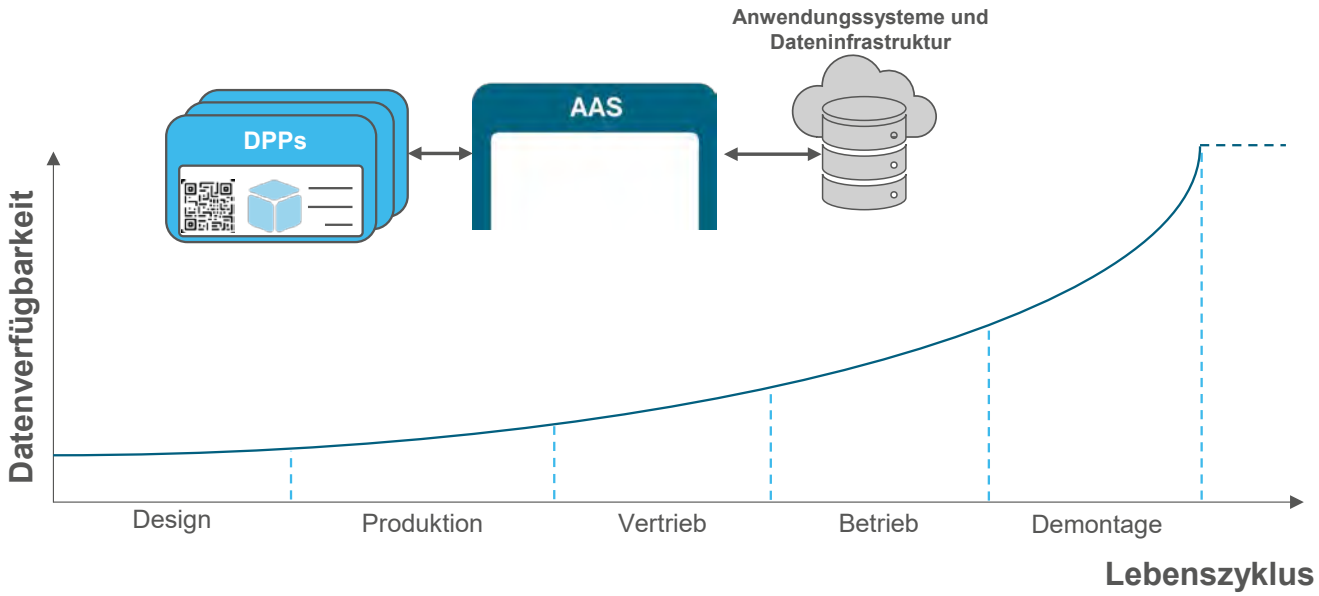


Bild 3: Entwicklung der Datenverfügbarkeit entlang des Lebenszyklus © eigene Darstellung

men und für die Wiederaufarbeitung zerlegt, stellt sich für das produzierende Unternehmen die Frage, welche der enthaltenen Komponenten erneut verwendet werden können und welche ersetzt oder recycelt werden müssen.

Ohne verlässliche Lebenszyklusinformationen ist hierfür häufig eine aufwendige Prüfung erforderlich. Sind hingegen Informationen zu verbauten Komponenten, Nutzungsdauer, Wartungen, Belastungen oder bereits erfolgten Reparaturen verfügbar, kann der Zustand einzelner Bauteile wesentlich gezielter eingeschätzt werden.

Ein Bauteil, das erst kurz vor der Rücknahme ersetzt wurde, kann beispielsweise trotz eines insgesamt alten Produkts noch für den Einbau in ein wiederaufgearbeitetes oder neu zusammengesetztes Produkt geeignet sein. Dass diese Form der Kreislaufführung bereits industriell praktiziert wird, zeigt beispielsweise das Remanufacturing von Fahrzeugkomponenten bei ZF [11].

Das Unternehmen arbeitet unter anderem gebrauchte Achsen und Getriebe industriell auf und führt sie als Austauschaggregate wieder dem Markt zu. Dazu werden zurückgeführte Altteile zunächst identifiziert und bewertet, anschließend demontiert und ihre einzelnen Komponenten geprüft. Wiederverwendbare Komponenten können nachgearbeitet werden, während nicht mehr geeignete Teile ersetzt werden. Das aufgearbeitete Aggregat wird abschließend erneut geprüft [12]. Der DPP kann dabei helfen, aus einem unspezifischen Rückläufer eine besser bewertbare Quelle für wiederverwendbare Komponenten zu machen.

Bessere Datenverfügbarkeit verlängert Produktnutzungsdauer

Wie groß der Nutzen solcher Lebenszyklusinformationen sein kann, zeigt auch eine Studie zum Einsatz der DPPs für fahrerlose Transportsysteme und autonome mobile Roboter (AGV/AMR) [13]. Gerade bei diesen langlebigen Produktionsassets kann das Alter des Gesamtsystems wenig darüber aussagen, in welchem Zustand sich einzelne Komponenten befinden. Ein zehn Jahre altes Fahrzeug kann beispielsweise Komponenten und Baugruppen enthalten, die eher einem Verschleiß unterliegen als andere. Sind Informationen über Nutzung, Wartung, Austauschvorgänge und Komponentenzustände über den Lebenszyklus verfügbar, können Hersteller bei Rücknahme oder Weiterbetrieb wesentlich gezielter entscheiden, welche Komponenten weiterverwendet, ersetzt oder aufgearbeitet werden sollten.

Das größte Potenzial Digitaler Produktpässe wurde in der untersuchten Intralogistik daher weniger im Recycling als vielmehr in lebenszyklusbezogenen Services gesehen – etwa in einer verbesserten Wartungsplanung, Predictive Maintenance und Retrofit-Entscheidungen sowie generell in der Verlängerung der Nutzungsdauer von Produktionsassets. Insofern können DPPs die Verlängerung der Nutzungsdauer unterstützen und als eine wichtige Datenquelle für Retrofit-Servicemodelle agieren. Wird beispielsweise die Historie einer Batterie mit Informationen über Nutzung, Zustand und verbleibende Leistungsfähigkeit verbunden, lässt sich fundierter entscheiden, ob sie ausgetauscht oder weiterbetrieben werden kann. Auf Flottenebene können solche Informationen helfen, Fahrzeuge zu vergleichen, Investitionen zu priorisieren

und Modernisierungen zu planen. Über den Produktlebenszyklus kann eine solche umfassende Datenbasis aufgebaut werden, die bei zirkulären Entscheidungen zur Verfügung steht (Bild 3).

Die Asset Administration Shell als Bindeglied

Damit solche Szenarien funktionieren, müssen DPP-Daten in Industrie 4.0-Architekturen integrierbar sein, wo Daten aus Sensoren, Steuerungen und Instandhaltungssystemen entstehen. Hier ist die Asset Administration Shell (AAS) relevant. Sie stellt eine standardisierte digitale Repräsentation eines Assets bereit und strukturiert Informationen in Submodellen. Auf diese Weise lassen sich Informationen zu Produkt, Prozess und (Fertigungs-) Ressourcen miteinander verknüpfen [14, 15]. Diese strukturierten Informationen können dabei für verschiedene Anwendungen, beispielsweise zur Zustandsüberwachung, Rückverfolgbarkeit oder in der Planung neuer Produkte, genutzt werden.

DPP und AAS übernehmen dabei unterschiedliche, aber komplementäre Rollen [16]. Der DPP stellt ausgewählte Lebenszyklusinformationen für ein eindeutig identifizierbares Produkt oder eine Komponente bereit. Die AAS kann diese Informationen in die digitale Repräsentation eines Produktionsmittels oder Systems einbetten und mit weiteren Betriebsdaten verbinden. So kann beispielsweise der DPP einer Batterie in die digitale Repräsentation eines AGV integriert werden. Aus isolierten Passdaten wird damit ein Bestandteil eines operativ nutzbaren Datenmodells. Der Mehrwert und die Möglichkeit einer solchen Verknüpfung von Batteriepassdaten mit AAS-Submodellen und maschinenlesbaren Repräsentationen wurden bereits konzeptionell aufgezeigt [13].

Viele relevante Daten eines DPPs entstehen allerdings nicht in einem einzigen Unternehmen. Hersteller, Zulieferer, Betreiber, Instandhalter und Recycler besitzen jeweils unterschiedliche Ausschnitte des Lebenszyklus [9]. Soll der DPP die Kreislaufwirtschaft tatsächlich in Produktionsprozesse bringen, müssen diese Informationen kontrolliert über Unternehmensgrenzen hinweg nutzbar werden. Datenräume und Initiativen wie Manufacturing-X adressieren diese Herausforderung. Sie zielen auf einen souveränen Datenaustausch auf Basis gemeinsamer Regeln und Standards. DPPs können dabei als produktbezogener Anker dienen, während AAS-basierte Datenmodelle die technische Interoperabilität unterstützen. Für Produktionsnetzwerke ergibt sich somit die Perspektive, dass sie relevante Daten nicht mehr über zahlreiche proprietäre Schnittstellen austauschen müssen. Stattdessen können sie diese semantisch standardisiert über Konnektoren für die konkret relevanten Prozesse der Kreislaufwertschöpfung verfügbar machen [9, 17].

Der DPP im industriellen Alltag

Für Produktionsunternehmen ist es daher sinnvoll, den Digitalen Produktpass als Instrument zu betrachten, um leistungsfähige und unternehmensübergreifende Dateninfrastrukturen zu schaffen. Dabei müssen sich Unternehmen fragen, an welchen Stellen heute sinnvolle Informationen fehlen, um Produkte, Komponenten und Produktionsmittel länger zu nutzen, Rückläufer besser zu bewerten oder Sekundärmaterialien erneut in die Produktion einzuspeisen. Aus dieser Perspektive evolviert ein DPP oder eine am DPP orientierte freiwillige Digitalisierung der Lebenszyklusdaten von Produkten und Produktionsanlagen zum Bindeglied zwischen Produktentstehung, Nutzung und zirkulärer Wertschöpfung. In Verbindung mit AAS, Digitalen Zwillingen, Datenräumen und vorhandener Unternehmenssoftware können die Daten des DPPs zirkuläre Entscheidungen in Planung, Betrieb und Steuerung der Produktion wesentlich unterstützen. ■

Literatur

[1] Kirchherr, J., Yang, N. H. N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M. J., & Hartley, K. (2023). Conceptualizing the circular economy (revisited): an analysis of 221 definitions. Resources, conservation and recycling, 194, 107001.

[2] Psarommatis, F., May, G., & Azamfirei, V. (2025). Product reuse and repurpose in circular manufacturing: a critical review of key challenges, shortcomings and future directions. Journal of Remanufacturing, 15(2), 273-310.

[3] Skärin, F., & Rösiö, C. (2025). Enabling circularity throughout the production system's lifecycle–practices, challenges, and requirements. Production & Manufacturing Research, 13(1), 2522678.

Das komplette Literaturverzeichnis finden Sie auf www.factory-innovation.de!

David Budde

Mehr Flexibilität, geringere Stromkosten?

Was volatile Strommärkte für die Energiebeschaffung im Mittelstand bedeuten





© Adobe Stock/vegefox.com

Energiekosten sind für den deutschen Mittelstand zur größten unternehmerischen Belastung geworden – noch vor Fachkräftemangel und schwacher Konjunktur. Das zeigt der Energie-Monitor Mittelstand 2026, für den mehrere Hundert Entscheider aus energieintensiven Branchen befragt wurden. Wie lassen sich diese Ergebnisse in den Kontext eines Strommarkts einordnen, der durch den wachsenden Anteil erneuerbarer Energien und teils negative Börsenpreise immer volatiler wird?



Bild 1: Der Ausbau erneuerbarer Energien und volatile Strompreise eröffnen neue Chancen: Batteriespeicher gleichen Schwankungen im Strommarkt aus und werden zu einem wichtigen Baustein der professionellen Energiebeschaffung für den Mittelstand © trawa

Jahrzehntelang waren Strompreise für Unternehmen leicht zu kalkulieren: Die Preisentwicklung war stabil, die Struktur überschaubar, die Verträge langfristig planbar. Diese Zeiten sind aufgrund mehrerer Entwicklungen vorbei. Zum einen hat die durch den Angriffskrieg gegen die Ukraine ausgelöste Energiekrise 2022 tiefe Spuren hinterlassen. Durch die Drosselung der Gaslieferungen nach Europa, auf die Deutschland zuvor jahrzehntelang gesetzt hatte – und weil an der Strombörse meist Gaskraftwerke den Preis für alle Erzeuger bestimmen –, schlug die Gaskrise direkt auf den Strommarkt durch.

Der Strommarkt hat seine Berechenbarkeit verloren

So betrug der Großhandelspreis für Strom im Schnitt zwischen Januar und Oktober 2022 24 ct/kWh – achtmal so hoch wie 2020. Für die Industrie, und insbesondere den Mittelstand ohne eigene Energieexperten, sind die hohen Preise seitdem eine enorme Herausforderung.

Zum anderen wächst seit 2010 der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung deutlich. Wind- und Solaranlagen speisen witterungsabhängig ein, unabhängig davon, wie viel Strom gerade tatsächlich gebraucht wird. Erzeugung und Nachfrage fallen dadurch zunehmend auseinander, und die Börsenpreise schwanken stärker in beide Richtungen. Nach unten zeigt sich das besonders deutlich: 2025 registrierte der Strommarkt einen Rekord von 573 Stunden mit negativen Strompreisen, 116 mehr als im Vorjahr. Gleichzeitig nahm auch die Zahl der Stunden mit Preisen von mehr als 20 ct/kWh um 25 % auf 162 zu. Beide Enden der Preisverteilung gewinnen an Dynamik.

Die Kehrseite dieser Entwicklung zeigen sogenannte Dunkelflauten, wenn wenig Wind weht und wenig Sonne scheint. Ein Beispiel: Ende 2024 stieg der Börsenpreis innerhalb einer Stunde um knapp das Zwölffache des

Merit-Order und negative Strompreise

An der Strombörse bestimmt die sogenannte Merit-Order-Reihenfolge den Preis: Kraftwerke bieten in der Reihenfolge ihrer Grenzkosten Strom an, das teuerste noch benötigte Kraftwerk setzt den Preis für alle. Wind- und Solaranlagen haben nahezu keine Grenzkosten und drücken den Preis bei hoher Einspeisung deshalb stark nach unten. Bei einem Überangebot kann der Preis sogar negativ werden. Erzeuger zahlen dann dafür, dass ihnen der Strom abgenommen wird.

damaligen Jahresdurchschnitts auf über 90 ct/kWh. Auch wenn das ein Extremwert war, steckt dahinter ein struktureller Trend. Mit wachsendem Anteil wetterabhängiger erneuerbarer Energien werden Überangebote und Engpässe häufiger.

Was die Entwicklung für den industriellen Mittelstand bedeutet

Deutschland hat unter den G20-Ländern die höchsten Strompreise, unter anderem bedingt durch Abgaben, Steuern, und Netzentgelte. Das trifft Unternehmen zusätzlich zur ohnehin angespannten wirtschaftlichen Lage.

Was das im Unternehmensalltag bedeutet, zeigt der Energie-Monitor Mittelstand 2026 von trawa. Im Februar 2026 befragte das Marktforschungsinstitut INNOFACT AG insgesamt 304 Personen aus mittelständischen Unternehmen (50 bis 1.000 Mitarbeitende) in besonders energieintensiven Branchen wie Produktion, Logistik, Handel, Bau und Immobilien, die an Energieentscheidungen beteiligt sind.

Das Ergebnis: Mehr als die Hälfte (54 %) zählt hohe Energiekosten zu den zwei größten Herausforderungen, noch vor Fachkräftemangel (41 %) und deutlich vor steigenden Lohnkosten. Bei Unternehmen machen Energiekosten mindestens 10 % der Betriebskosten aus, bei 9 % sogar mehr als ein Fünftel.

Entsprechend tief sitzt die Verunsicherung. Zwei Drittel der Befragten (66 %) befürchten, dass sich eine Energiekrise wie 2022 wiederholen könnte; in Unternehmen mit hohem Energiekostenanteil sind es sogar 75 %. Und sie hatten recht: Die Datenerhebung endete Ende Februar 2026, wobei die jüngsten geopolitischen Spannungen im Nahen Osten darin noch gar nicht abgebildet sind. Die Sorge unter Unternehmen dürfte also eher zu- als abnehmen.

Die Krise 2022 hat aber auch etwas bewegt. 37 % der Unternehmen haben seither interne Kompetenzen für die Energiebeschaffung aufgebaut. Und 57 % sehen in der Marktvolatilität eine Chance zur Kosteneinsparung.

(Teil-)dynamische Bezugsmodelle gewinnen an Prominenz

Noch beziehen drei Viertel der befragten Unternehmen ihren Strom ausschließlich zum Festpreis, doch der Trend zeigt in eine andere Richtung. 69 % der Betriebe wollen künftig auf ein dynamisches oder teil-dynamisches Bezugsmodell setzen, bei dem ein Anteil des Stroms über die Strombörse (Spotmarkt) beschafft wird. Nur 25 % planen, dauerhaft beim traditionellen Festpreis zu bleiben.

Fixpreis, dynamisch, teil-dynamisch – die Bezugsmodelle im Überblick

Bei der Strombeschaffung zum Festpreis wird der Preis für die gesamte Vertragslaufzeit im Voraus festgelegt. Unternehmen haben zwar Planungssicherheit, aber keinen Zugriff auf günstige Marktphasen. Bei dem dynamischen Beschaffungsmodell wird der Strom vollständig über den Spotmarkt zu wechselnden, oft viertelstündlich schwankenden Preisen bezogen. Die teil-dynamische Beschaffung kombiniert beides: Ein Sockelbedarf wird zu einem fest vereinbarten Preis abgesichert, ein flexibler Restbedarf folgt dem Börsenpreis.

Wer auf Dynamik setzt, benötigt dafür auch die technische Grundlage. Nur die Hälfte dieser Unternehmen verfügt aktuell über Echtzeit-Daten zu Verbrauch und Preis im Viertelstundentakt.

Und eine Mehrheit (58 %) empfindet die langwierigen Entscheidungsprozesse bei der Strombeschaffung als deutliche Belastung.

Batteriespeicher gleichen Schwankungen aus

Batteriespeicher erlauben es, günstige Marktphasen zu nutzen, etwa in Zeiten mit niedrigen oder gar negativen Preisen. Im energieintensiven Mittelstand ist das Thema angekommen: 25 % setzen bereits Batteriespeicher ein, 46 % diskutieren oder planen deren Anschaffung. Nur 19 % haben sich bewusst dagegen entschieden, 10 % haben sich schlicht noch nicht damit befasst.

Was viele zurückhält, sind wirtschaftliche Fragen. Für 71 % der unentschlossenen oder ablehnenden Unternehmen zählen hohe Anschaffungskosten zu den wichtigsten Hinderungsgründen. Daneben werden lange Freigabe- und Vorlaufzeiten sowie fehlende Förderanreize genannt.

Typische Lastprofile aus der Industrie verbildlichen, wie Flexibilität konkret funktioniert – am Beispiel eines Kunststoffherstellers. Beim Hochfahren der Maschinen am frühen Morgen schießt der Verbrauch dort von der Grundlast auf einen Spitzenwert, genau dann, wenn die Preise an der Strombörse am höchsten sind.

Ein nachts günstig geladener Speicher kann diese Spitze abfedern.



Bild 2: Nicht alle Unternehmen profitieren vom Industriestrompreis – umso wichtiger wird eine strategische und eigenständige Energiebeschaffung © Unsplash/Bernd Dittrich

Nicht alle Unternehmen vertrauen auf staatliche Entlastungsmaßnahmen

Der Industriestrompreis ist neben der Strompreiskompensation das bekannteste Entlastungsinstrument der Bundesregierung, eine auf 2026 bis 2028 befristete staatliche Beihilfe für 91 Wirtschaftszweige der KUEBBL-Liste. Gefördert werden 50 % des anrechenbaren Stromverbrauchs über einen Differenzpreis, orientiert am Großhandelspreis – nicht, wie oft angenommen, über einen pauschalen Fixpreis von 5 Cent pro Kilowattstunde.

Da sich die Förderhöhe am Referenzpreis und nicht am individuellen Einkaufspreis bemisst, bleibt die eigene Strombeschaffung ein zusätzlicher Hebel, um Kosten zu senken. Mit der Reinvestitionspflicht muss mindestens die Hälfte der Beihilfe in Dekarbonisierungsmaßnahmen wie z. B. einen Batteriespeicher fließen.

In der Praxis können sich jedoch längst nicht alle Betriebe auf den Industriestrompreis verlassen. Obwohl der Energie-Monitor gezielt Unternehmen aus energieintensiven Branchen befragt hat, von denen fast alle mehr als zwei Gigawattstunden Strom im Jahr verbrauchen, stehen 48 % laut eigener Angabe nicht auf der KUEBBL-Branchenliste. Weitere 11 % wissen nicht einmal, ob sie profitieren könnten. Selbst 81 % der berechtigten Unternehmen bemängeln ein Missverhältnis zwischen Aufwand und Entlastung. 61 % fehlen schlicht die Ressourcen für die Antragstellung.

KUEBBL-Liste und Industriestrompreis

Der Industriestrompreis ist eine für die Jahre 2026–2028 befristete staatliche Beihilfe für besonders energieintensive Unternehmen. Berechtigt sind ausschließlich Betriebe aus 91 Wirtschaftszweigen, die auf der KUEBBL-Liste stehen, benannt nach den EU-Leitlinien für staatliche Klima-, Umweltschutz- und Energiebeihilfen. Die Liste definiert, welche Branchen aufgrund ihrer Energieintensität und ihres internationalen Wettbewerbsdrucks Zugang zu Förderungen und Entlastungen erhalten.

Flexibilität als strukturelle Antwort

Die Ergebnisse des Energie-Monitors machen deutlich: Energiekosten belasten den Mittelstand stärker als je zuvor, staatliche Entlastungsinstrumente wie der Industriestrompreis erreichen aber nur einen Teil der Unternehmen – und selbst dort mit hohem administrativem Aufwand. Zugleich zeigt die Studie, dass ein relevanter Teil des Mittelstands begonnen hat, seine Energiebeschaffung aktiver zu gestalten, etwa durch den Umstieg auf hybride, teildynamische Modelle, den Aufbau interner Kompetenzen und die Auseinandersetzung mit Batteriespeichern.

Der Weg dorthin braucht digitale Verbrauchs- und Preisdaten sowie Systeme, die daraus Entscheidungen ableiten. Reines Festhalten am Festpreis senkt das Kostenrisiko nicht dauerhaft, sondern kann bei anhaltender Volatilität sogar teurer werden als flexible Modelle. ■

Anzeige

August-Wilhelm Scheer Institut Digital Research

From Dead End to Roadmap.

In einem Tag zum KI-Fahrplan.

In einem Tag identifizieren wir gemeinsam, wo KI in deinem Unternehmen wirklich wirkt – interaktiv, praxisnah und ausgerichtet an deinem realen Herausforderungen.

DAS BEKOMMT IHR KONKRET

- **Auf dein Unternehmen zugeschnitten**
  Anforderungen und Herausforderungen im Fokus
- **Konkrete KI-Anwendungsfälle**
  für deine Prozesse und Geschäftsbereiche
- **Priorisierte KI-Potenziale**
  nach Nutzen, Machbarkeit & Wirtschaftlichkeit
- **Klare nächste Schritte**
  mit konkreten Handlungsempfehlungen

KI-Workshop für dein Unternehmen anfragen

30 Min. kostenfreies Erstgespräch · unverbindlich





Flash Calciner – eine einzigartige Pilot-Forschungsinfrastruktur, die 2026 von VITO in Mol, Belgien, eingeweiht wurde © VITO 2026

Redaktion Factory Innovation

Kreislaufwirtschaft: von der Forschung in die Fabrik

Im Gespräch mit der führenden belgischen Forschungseinrichtung VITO

VITO ist eine unabhängige, strategisch ausgerichtete Forschungsorganisation mit 1.400 Mitarbeitern. Sie betreibt angewandte Forschung mit dem Ziel, mit Kreislaufwirtschaft die Autonomie und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zu stärken, Gesellschaften widerstandsfähiger zu machen und die Qualität des Lebensumfeldes zu verbessern.

Im Jahr 2024 stammten lediglich 12,2 % der in der EU verwendeten Materialien aus dem Recycling – ein Wert, der weit hinter dem für 2030 gesetzten Ziel von 24 % zurückbleibt. Belgien gehört mit 22,7 % zu den Vorreitern, doch auch hier zeigt sich: Die Fortschritte in Richtung echter Kreislaufwirtschaft verlaufen insgesamt nur langsam.

Dabei gibt es durchaus Grund zur Zuversicht. Immer mehr Technologien für hochwertiges Recycling stehen zur Verfügung, und zunehmend lassen sich auch kritische Rohstoffe wiederverwenden. Neue kreislaufwirtschaftliche Wertschöpfungsketten entstehen bereits – etwa in der Textil- und der CO_2-Branche. Die größten Herausforderungen liegen daher weniger in der Technik als vielmehr darin, tragfähige Märkte zu schaffen, die notwendige Produktionsgröße zu erreichen, Erschwinglichkeit sicherzustellen und die passende Infrastruktur aufzubauen.

Mit dem bevorstehenden Europäischen Kreislaufwirtschaftsgesetz sowie ergänzenden Verordnungen wie PPWR und ELVR möchte die EU genau hier ansetzen – und die Verfügbarkeit sowie Nachfrage nach hochwertigen Sekundärrohstoffen gezielt stärken. Im folgenden Interview ordnen wir ein, wo die größten Hebel liegen und was jetzt zu tun ist.

Die Redaktion im Gespräch mit Désirée De Poot, Pressesprecherin, und Philip Marynissen, Experte für Kreislaufwirtschaft, vom belgischen Forschungszentrum VITO.





Désirée De Poot, Pressesprecherin, VITO und Philip Marynissen, Experte Kreislaufwirtschaft, VITO
© VITO 2026

Was verbirgt sich hinter VITO und was sind die Ziele und Aufgaben der Institution?

VITO ist eine unabhängige, strategisch ausgerichtete Forschungsorganisation mit 1.400 Mitarbeitern. Wir widmen uns der angewandten Forschung mit dem Ziel, die Autonomie und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie zu stärken, unsere Gesellschaft widerstandsfähiger zu machen und die Qualität unseres Lebensumfeldes zu verbessern.

Sie verbinden Forschung, technologische Entwicklung und Beratung. Was unterscheidet Ihren Ansatz von dem einer klassischen Forschungseinrichtung – und wie gelingt es Ihnen, Forschungsergebnisse tatsächlich in industrielle Anwendungen zu überführen?

Eine traditionelle Forschungseinrichtung wird in erster Linie anhand ihrer wissenschaftlichen Leistungen beurteilt. Wir gehen jedoch einen Schritt weiter, indem wir diese wissenschaftliche Grundlage mit technologischer Entwicklung, Demonstration, Daten und Beratung verbinden.

Der Übergang zu industriellen Anwendungen erfolgt in erster Linie durch enge Zusammenarbeit mit Unternehmen sowie durch die schrittweise Entwicklung und Erprobung von Technologien. Wir bringen verschiedene Disziplinen und Partner zusammen und stellen so sicher, dass Technologien nicht nur aus technischer Sicht optimiert, sondern auch hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Machbarkeit bewertet werden.

Mit rund 1.400 Mitarbeitenden und mehr als 40 Fachgebieten sind Sie sehr breit aufgestellt. Wie organisieren Sie die Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Disziplinen, wenn komplexe Themen wie zirkuläre Produktion bearbeitet werden?

Das Fachwissen einer einzigen Disziplin reicht hierfür nicht aus. Wir betrachten diese Themen daher nicht aus der Perspektive einzelner Disziplinen. Chemiker, Werkstoffexperten, Energie- und Umweltspezialisten, Datenexperten ... jeder bringt eine eigene Perspektive ein. So können wir nicht nur die Technologie selbst betrachten, sondern auch Rohstoffe, Energieverbrauch, wirtschaftliche Machbarkeit, Umweltauswirkungen und das Potenzial für eine Skalierung auf industrielles Niveau. Wir verbinden dieses interdisziplinäre Wissen mit Pilotanlagen und der Zusammenarbeit mit Unternehmen und anderen Partnern. Ein kreislauforientierter Prozess muss nicht nur technisch im Labor funktionieren, sondern auch wirtschaftlich und industriell realisierbar sein.

Welche Rolle spielt die Zusammenarbeit mit Unternehmen?

Unternehmen bringen ihr Wissen über den Markt, Produktionsprozesse und spezifische Anforderungen ein, während wir unsere wissenschaftliche Expertise, Technologie und Infrastruktur bereitstellen. Wir arbeiten auf vielfältige Weise zusammen, von Auftragsforschung und gemeinsamen Innovationsprojekten bis zu Technologietransfer und Lizenzierung. Eine weitere wichtige Aufgabe besteht darin, die Risiken für Unternehmen zu verringern. Viele Innovationen scheitern nicht daran, dass die Technologie nicht funktioniert, sondern daran, dass der Schritt vom Labor zum industriellen Maßstab zu unsicher oder zu kostspielig ist.

Welche Rolle spielen dabei Digitalisierung und Künstliche Intelligenz? Werden KI-Lösungen künftig ein ebenso wichtiger Bestandteil sein wie klassische technologische Forschung?

Digitalisierung und KI werden zu einem immer wichtigeren Bestandteil der Forschungs- und Technologieentwicklung. Wir können die Zukunft zwar nicht vorhersagen, wissen aber, dass KI die Forschung niemals ersetzen kann. Unsere Stärke liegt genau in dieser Kombination: KI wird mit Fachwissen in den Bereichen Werkstoffe, Energie, Chemie, Gesundheit, Klima und industrielle Prozesse verknüpft.

Sie verstehen sich als Partner der nachhaltigen Transformation. Wo möchten Sie als Organisation in den nächsten fünf bis zehn Jahren den größten Unterschied machen – und welche Technologien werden dafür entscheidend sein?

Lösungen, die unsere Branche autonomer und wettbewerbsfähiger machen, sind naturgemäß auch nachhaltiger. In den kommenden Jahren werden wir den



State-of-the-art: VITO Earth – das erste klimaneutrale Laborgebäude in Flandern
© Anais Callens | www.anaiscallens.com

größten Einfluss dort ausüben, wo industrielle Nachhaltigkeit, Kreislaufwirtschaft und digitale Technologie zusammenlaufen. Dies wird weniger durch die Erfindung einer einzelnen bahnbrechenden Technologie geschehen, sondern vielmehr durch die Skalierung von Technologien vom Labor- in den industriellen Maßstab. Dieser Trend ist bereits deutlich zu erkennen. Wir konzentrieren uns zunehmend auf größere, innovative Pilotprojekte und bauen unsere Living Labs erheblich aus.

Welche Produktionsschritte müssen Unternehmen zuerst verändern, wenn sie ihre Prozesse wirklich zirkulär ausrichten wollen?

Messen heißt wissen. Der erste Schritt besteht darin, die wichtigsten Material-, Energie- und Wasserströme zu erfassen und zu ermitteln, wo Verbesserungen möglich sind. Zu Beginn stehen die Analyse aller Prozesse sowie die Prüfung, wie Abfall- oder Restströme reduziert und verwertet, Primärrohstoffe durch recycelte Materialien oder Restströme ersetzt und die gewonnene Energie effizienter genutzt werden können. Darüber hinaus wird untersucht, wie Wasserströme durch Wasseraufbereitung und -wiederverwendung in einen Kreislauf gebracht werden können.

Welcher Anwendungsfall von VITO zeigt, weshalb zirkuläre Produktion nicht nur ökologisch, sondern auch industriell und wirtschaftlich sein kann?

Die Infrastruktur des „Flash Calciner“ von VITO in Mol erfüllt einen dringenden Bedarf in der Zement- und Bauindustrie, innovative und nachhaltige Bautechnologien zu entwickeln und zu testen. Es handelt sich um eine Pilotanlage, die tonreiche Abfallströme aus Baggerarbeiten im Hafen von Antwerpen zur Herstellung von Zementersatzstoffen nutzt. Die Produktion verbraucht weitaus weniger Energie als die herkömmliche Zementherstellung und reduziert die CO_2-Emissionen drastisch. Darüber hinaus haben alle Akteure der Wertschöpfungskette Zugang zu dieser Infrastruktur für gemeinsame Forschungsvorhaben oder im Rahmen eines Projekts durchgeführte Forschungsarbeiten. Die entwickelten alternativen Zemente können sofort auf Mörtel- und Betonebene getestet werden.

Wie lässt sich der Erfolg der zirkulären Produktion messen? Welche Kennzahlen sind besonders relevant?

Letztlich zählt die Gesamtwirkung. Spart dieses Produkt oder dieser Produktionsprozess im Vergleich zum herkömmlichen Produkt tatsächlich Primärrohstoffe, CO_2-Emissionen, Energie und Abfall ein? Man kann nicht voraussetzen, dass ein Produkt aus recycelten Materialien automatisch umweltfreundlicher ist. Das können wir nur feststellen, wenn wir auch eine Lebenszyklusanalyse (LCA) für dieses Produkt oder diesen Prozess durchführen. ■

Lesen Sie online weiter:

Anzeige

POTSDAM CONSULTING
ADVISORY GMBH

Board Advisory für KI- und IT-Fragen

Strategische Klarheit, belastbare Beurteilung und unabhängige Orientierung für Vorstand, Beirat und Geschäftsführung.

Fundierter entscheiden. Strategisch besser steuern.

Als Spezialist für Wertschöpfung durch sichere Informationssysteme berät PCG seit über 25 Jahren Vorstände und Geschäftsleitungen zu KI-Governance, Cyber- und OT-Security, Resilienz und Compliance.

Von der Strategie über Wachstum und sichere IS-/OT-Integration bis zu Prozesseffizienz, Post-Merger-Integration und Business-IS-Alignment mit KI.

Board Level Advisory at the highest level

Potsdam Consulting Advisory GmbH
www.potsdam-consulting.com

Dejan Todorovic

11 KI-Lizenzen machen noch keine Mannschaft

Mit klarer Spielidee, starken Rollen und klarer Aufstellung wird KI zum Spielmacher





© unsplash/julia-taubitz

KI-Transformation scheitert selten an fehlenden Werkzeugen. Vielmehr fehlt oft die gemeinsame Spielidee: ein organisatorischer Rahmen, der Strategie, Entscheidungen, Kompetenzen, Technologie und Wertschöpfung zusammendenkt. Ein KI-Betriebsmodell schafft diese Verbindung und macht aus einzelnen Initiativen eine verlässliche, skalierbare Fähigkeit. So wird aus vielen guten Einzelspielern eine Mannschaft, die gemeinsam Wirkung erzielt.

Künstliche Intelligenz ist in vielen Unternehmen längst angekommen. Mitarbeitende nutzen Werkzeuge, Fachbereiche erproben Anwendungen und Pilotprojekte zeigen erste Potenziale. Trotzdem entsteht daraus nicht automatisch nachhaltige Wertschöpfung. Zwischen der Verfügbarkeit einer Technologie und ihrer verlässlichen Nutzung im Unternehmen liegt eine organisatorische Lücke.

Der Anpfiff ist längst erfolgt

Das Muster ähnelt einer Fußballmannschaft mit starken Einzelspielern, aber ohne gemeinsame Spielidee. Einzelne Aktionen können gelingen, doch ihr Erfolg bleibt zufällig und personenabhängig. In Unternehmen zeigt sie sich als Tool-Wildwuchs, unverbundene Piloten, widersprüchliche Regeln und unklare Entscheidungen. Es fehlt nicht an Technik, sondern am System für das Zusammenspiel.

Die zentrale Führungsfrage lautet deshalb nicht, welche KI ein Unternehmen nutzt. Sie lautet: Wie muss die Organisation aufgestellt sein, damit KI verlässlich, sicher und wiederholbar Wert schafft? Das KI-Betriebsmodell gibt darauf eine integrierte Antwort. Es macht aus vielen Einzelentscheidungen eine gemeinsame Logik und aus punktueller Nutzung eine organisationale Fähigkeit.

Technologie allein schafft noch keine Transformation

Die Technologiefrage ist attraktiv, weil sie konkret, sichtbar und vergleichsweise schnell zu beantworten ist. Ein Werkzeug lässt sich beschaffen, eine Lizenz verteilen und ein Pilot starten. Schwieriger sind die unsichtbaren Organisationsfragen: Welchem Ziel dient KI? Wer entscheidet über Prioritäten und Risiken? Welche Regeln gelten bereichsübergreifend? Wie werden Lernen und Nutzen zu einem dauerhaften Teil der Organisation?

KI berührt gleichzeitig Strategie, Prozesse, Daten, Führung, Zusammenarbeit, Kompetenzen und Verantwortung. Wird sie als reines IT-, Innovations- oder Schulungsthema behandelt, entstehen Teiloptimierungen. Ein Betriebsmodell schafft die notwendige Verbindung über Funktionsgrenzen hinweg.

Auch die Projekterfahrung aus einem Schweizer Industrieunternehmen stützt diese Sicht. Eine Befragung von

Praxisbox: Warum braucht es ein KI-Betriebsmodell?

1. Es verbindet strategische Absicht mit Entscheidungen im Alltag.
2. Es koordiniert Fachbereiche, IT, Führung, Risiko und Befähigung als Gesamtsystem.
3. Es macht Wirkung wiederholbar und weniger abhängig von einzelnen Personen oder Tools.
4. Es schafft einen stabilen Rahmen, der sich mit Technologie und Erfahrung weiterentwickelt.

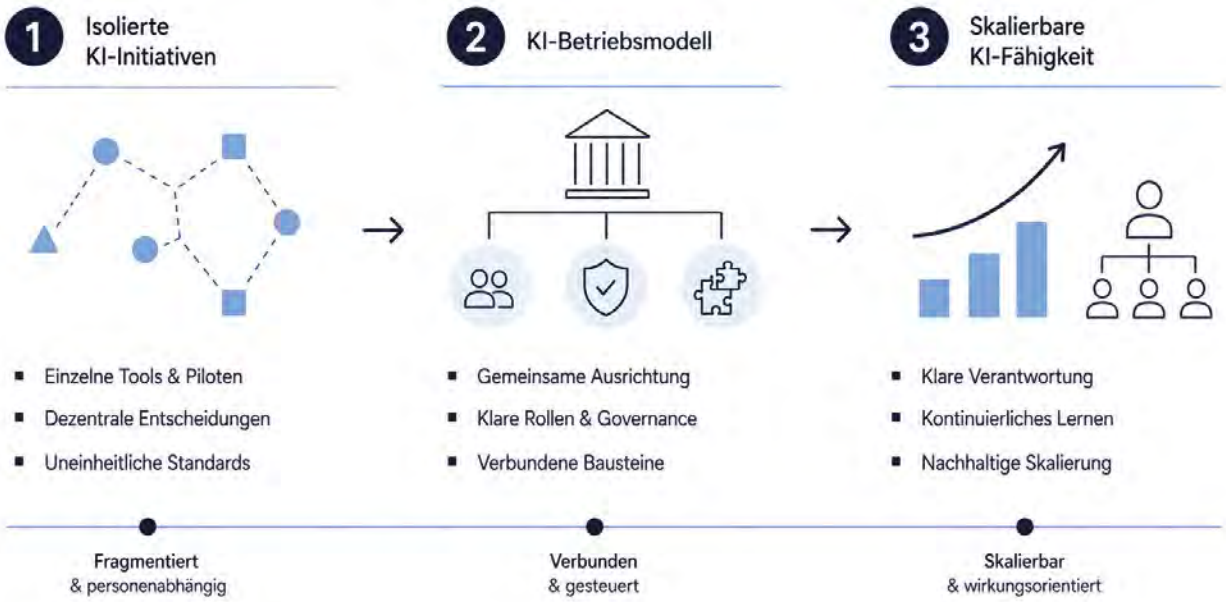


Bild 1: Vom KI-Aktivismus zur skalierbaren organisationalen KI-Fähigkeit © Dejan Todorovic



Bild 2: Die fünf Bausteine des KI-Betriebsmodells und ihre zentralen Leitfragen © Dejan Todorovic

45 Führungskräften und Kadermitarbeitenden zeigte hohe Offenheit und Motivation für KI im Alltag – der Engpass lag also nicht bei der Akzeptanz, sondern bei isolierten Initiativen, fehlender Governance und uneinheitlichen Standards. Bezeichnend: Keine der sechs priorisierten Maßnahmen betraf einen weiteren KI-Anwendungsfall, alle adressierten Ownership, Governance, Standards oder Befähigung. Das zeigt: Erst die Struktur macht aus technischer Möglichkeit eine steuerbare Entwicklung (siehe Bild 1).

KI-Betriebsmodell als Spielsystem der Organisation

Ein KI-Betriebsmodell ist kein technisches Konzept und kein Projektplan. Es beschreibt, wie ein Unternehmen KI organisiert, steuert und in nachhaltige Wirkung übersetzt.

Im Mittelpunkt steht deshalb nicht die Frage: „Welche KI nutzen wir?“ Sondern: „Wie müssen wir aufgestellt sein, damit KI verlässlich Wert schafft?“

Dafür verbindet das Betriebsmodell fünf zentrale Bausteine: Vision & Strategie, Governance & Steuerung, Kompetenzen & Promotion, Technologie & Daten sowie KI-Use-Cases & Projekte. Gemeinsam beantworten sie fünf einfache Fragen: Wohin wollen wir? Wer entscheidet? Wer kann es? Was ist erlaubt und technisch möglich? Wo entsteht Wirkung? Die fünf Bausteine und ihre Leitfragen sind in Bild 2 zusammengefasst.

Der Mehrwert entsteht im Zusammenspiel. Die Vision gibt die Richtung vor, Governance schafft Klarheit und Verantwortung, Kompetenzen befähigen die Menschen, Technologie und Daten bilden die sichere Basis und KI-Use-Cases übersetzen alles in konkreten Geschäftswert.

In der Fußballmetapher ist das KI-Betriebsmodell das Spielsystem der Organisation. Es schreibt nicht jeden Spielzug vor, sorgt aber dafür, dass Rollen, Regeln und Zusammenspiel klar sind. So bleibt die Organisation auch dann handlungsfähig, wenn sich Technologien, Anforderungen oder Rahmenbedingungen verändern.

Das macht das Betriebsmodell langfristig tragfähig: Tools wechseln. Das Spielsystem bleibt.

Fünf Bausteine, eine gemeinsame Spielidee

Die fünf Bausteine sind keine unabhängigen Arbeitspakete. Sie bilden eine Wirkungslogik, in der jeder Teil die Voraussetzungen für andere Teile schafft. Eine Vision ohne Governance bleibt eine Absicht. Governance ohne Kompetenzen erzeugt Regeln ohne Anwendung. Kompetenzen ohne sichere Technologie führen zu Unsicherheit oder Schatten-IT. Technologie ohne Use-Case-Logik erzeugt Aktivität ohne belastbaren Geschäftswert.

Ein einzelner starker Baustein kann lokale Erfolge erzeugen. Skalierbare Wirkung entsteht jedoch erst, wenn alle fünf Elemente aufeinander abgestimmt sind. Wie im Fußball macht erst das gemeinsame Spielsystem aus Talenten eine Mannschaft.

Diese Interdependenz erklärt auch, warum KI-Transformation nicht sinnvoll an eine einzelne Funktion delegiert werden kann. Sie benötigt ein gemeinsames Verständnis der Beiträge und Abhängigkeiten. Das Betriebsmodell macht diese Zusammenhänge sichtbar und ermöglicht, Lücken nicht als isolierte Probleme, sondern als Störungen im Zusammenspiel zu behandeln (siehe Bild 3).



Bild 3: Bedeutung der fünf Bausteine und typische Folgen fehlender Elemente © Dejan Todorovic

Das KI-Betriebsmodell muss auf den Platz gebracht werden

Ein KI-Betriebsmodell ist kein Konzept, das einmal entwickelt und anschließend abgelegt wird. Seine Wirkung entsteht erst im Betrieb. Dafür braucht es klare Verantwortlichkeiten, einen verbindlichen Steuerungsrhythmus und eine kontinuierliche Überprüfung der Wirkung.

Entscheidend ist ein fester Takt. Verantwortliche müssen regelmäßig Prioritäten überprüfen, neue KI-Use-Cases bewerten, Hindernisse beseitigen und Erfahrungen aus den Fachbereichen zusammenführen. So werden Entscheidungen nicht nur getroffen, sondern auch nachverfolgt. Lernen wird damit Teil der Organisation und nicht dem Zufall einzelner Projekte überlassen. Genau diese regelmäßige Governance-Kadenz hält das Betriebsmodell im Alltag lebendig.

Ebenso wichtig ist die Messung. Ein Betriebsmodell ohne Kennzahlen bleibt eine Behauptung. Dabei braucht es nicht von Beginn an ein komplexes Reporting. Wenige aussagekräftige Kennzahlen können bereits zeigen, ob Entscheidungen schneller werden, Kompetenzen wachsen, freigegebene Technologien tatsächlich genutzt werden und erfolgreiche KI-Use-Cases den Weg vom Piloten in den Regelbetrieb schaffen.

So entsteht ein lernendes System: orientieren, priorisieren, entscheiden, umsetzen, Wirkung messen und gezielt weiterentwickeln. Neue Erkenntnisse fließen dort in Prioritäten, Regeln und Fähigkeiten zurück, wo Anpassung notwendig ist.

Wie im Fußball wirkt auch das beste Spielsystem erst in der Anwendung: Rollen müssen gelebt, Abläufe trainiert und Ergebnisse ausgewertet werden. Ein KI-Betriebsmodell wirkt nur, wenn es gelebt, gesteuert und weiterentwickelt wird.

Für wen ist das KI-Betriebsmodell gedacht?

Die Notwendigkeit eines Betriebsmodells hängt nicht von der Unternehmensgröße ab. Auch ein kleines oder mittleres Unternehmen muss Richtung, Verantwortung, Befähigung, technische Leitplanken und Nutzen zusammenführen.

Der Unterschied liegt nicht in der Logik, sondern in der Ausgestaltung. Was in einem Großunternehmen auf mehrere Gremien und Funktionen verteilt ist, kann in einem KMU durch wenige Personen und schlanke Regeln getragen werden.

Entscheidend ist nicht die Komplexität, sondern die passende Ausgestaltung. Ein schlankes Modell kann wirksamer sein als umfangreiche Governance, wenn es klare Entscheidungen ermöglicht und gelebt wird.

Auch der Reifegrad bestimmt die Tiefe: Zu Beginn genügen Orientierung und wenige verbindliche Grundlagen; mit wachsender Nutzung werden Portfolio, Architektur und Wirkungsmessung differenzierter. Das Betriebsmodell wächst mit der Organisation.

Die Bewährungsprobe: Nutzen, Grenzen und Warnsignale

Das KI-Betriebsmodell schafft Orientierung, Verbindlichkeit und eine gemeinsame Sprache. Es macht Abhängigkeiten sichtbar und ermöglicht wiederholbare Entscheidungen. Es ersetzt jedoch weder technische Architekturarbeit noch rechtliche Prüfung, Datenschutzberatung oder den Business Case einer konkreten Anwendung. Ebenso wenig garantiert es Erfolg ohne aktives Führungscommitment und gelebte Verantwortung.

Ob das System wirklich trägt, zeigt sich an seinen Warnsignalen. Parallelstrukturen entstehen, Schatten-IT wächst, Piloten stapeln sich ohne Skalierung, Steuerungsroutinen verlieren ihren Takt oder zentrale Leitplanken sind im Alltag unbekannt. Dann existiert das Betriebsmodell möglicherweise auf dem Papier, aber nicht als wirksame Organisationspraxis. Die Reaktion sollte nicht das nächste Tool sein, sondern die gezielte Stärkung der schwächsten Verbindung.

Die zweite Gefahr ist Überbürokratisierung. Das Betriebsmodell soll Entscheidungen nachvollziehbar und sicher machen, nicht verlangsamen. Es braucht nur so viel Struktur, wie für Richtung, Verantwortung, Lernen und Wirkung notwendig ist.

Diese Warnsignale sind kein theoretisches Konstrukt: Sie deckten sich in der Praxis mit dem, was Führungskräfte und Mitarbeitende selbst berichteten.

Fünf Warnsignale für ein fehlendes Spielsystem

1. Bereiche bauen eigene KI-Lösungen an gemeinsamen Leitplanken vorbei.
2. Schatten-IT wächst trotz vorhandener Richtlinien weiter.
3. Piloten werden gestartet, aber kaum in den Regelbetrieb überführt.
4. Entscheidungs- und Lernroutinen finden nur unregelmäßig statt.
5. Zentrale Regeln und Verantwortlichkeiten sind im Alltag nicht bekannt.

Das Finale: Systeme gewinnen Meisterschaften

Unternehmen brauchen ein KI-Betriebsmodell, weil KI keine isolierte Technologie, sondern eine organisationsweite Veränderung ist. Es verbindet Richtung, Verantwortung, Kompetenzen, technologische Voraussetzungen und Wertschöpfung zu einem System, das Entscheidungen ermöglicht, Lernen fördert und Skalierung unterstützt. Einzelne Talente und gute Werkzeuge können Spiele entscheiden. Nachhaltiger Erfolg entsteht jedoch dort, wo eine klare Spielidee, abgestimmte Rollen und konsequente Umsetzung zusammenspielen. Für die KI-Transformation gilt dasselbe: Technologie schafft Möglichkeiten. Das Betriebsmodell macht daraus nachhaltige und skalierbare Wirkung.

Anzeige



Redaktion Factory Innovation

Kunststoff als Schlüssel für die Kreislaufwirtschaft

Wie aus Innovationen industrielle Wirklichkeit werden kann

Deutschland verfügt im Bereich der Kunststoffindustrie über eine exzellente Forschungslandschaft und eine starke industrielle Basis. Dennoch gelingt es häufig nicht schnell genug, neue Kunststofftechnologien aus Laboren und Pilotanlagen in großtechnische industrielle Anwendungen zu überführen. Gerade im Bereich der Kreislaufwirtschaft zeigt sich diese Herausforderung besonders deutlich. Worauf es beim Zusammenspiel zwischen Produzenten, Lieferketten, Politik und Gesellschaft ankommt, erklären Dr. Christine Bunte, Managing Director, und Bettina Dempewolf, Head of Communications, beim PlasticsEurope Deutschland e. V. FI traf beide im Rahmen der Innovations-Pressekonferenz 2026 in Berlin.

Was ist der Verband PlasticsEurope Deutschland?

Dr. Christine Bunte: PlasticsEurope Deutschland vertritt die Kunststofferzeuger in Deutschland gegenüber Politik, Behörden, Medien, Wissenschaft und Gesellschaft. Zu unseren Mitgliedern zählen Rohstofferzeuger, Additivhersteller und Compoundeure, vom Start-up bis zum Großkonzern – insgesamt mehr als 50 Unternehmen mit rund 57.000 Beschäftigten. Dabei geht es heute vor allem um drei große Fragen: Wie gestalten wir den Übergang zu einer klimaneutralen Kreislaufwirtschaft? Wie sichern wir die weltweite Wettbewerbsfähigkeit der Industrie in Deutschland und Europa? Wie schaffen wir Rahmenbedingungen für die rasche Überführung von Innovationen in industrielle Anwendungen?



Dr. Christine Bunte, Hauptgeschäftsführerin, Plastics Europe Deutschland e.V. © Plastics Europe / 2026 – The Tailors Photography

Was motiviert Sie persönlich in Ihrer Arbeit für den Verband?

Bunte: Mich motiviert, dass wir an einer der zentralen industriellen Transformationen unserer Zeit arbeiten. Kunststoffe stehen häufig im Zentrum gesellschaftlicher Kritik. Gleichzeitig sind sie für Medizin, erneuerbare Energien, Mobilität, Digitalisierung, Bau, Infrastruktur und viele weitere Lebensbereiche unverzichtbar. Die Aufgabe besteht deshalb nicht darin, die bestehenden Herausforderungen kleinzureden. Vielmehr müssen wir konkrete Lösungen entwickeln und umsetzen. Wir wollen die Vorteile der Materialien erhalten, ihren Einsatz verantwortungsvoll gestalten und gleichzeitig Abfälle, Emissionen und den Verbrauch fossiler Rohstoffe deutlich reduzieren.

Bettina Dempewolf: Mich motiviert vor allem, komplexe Zusammenhänge verständlich zu machen und den Dialog mit Menschen zu führen, die sehr unterschiedliche Perspektiven auf Kunststoffe haben. Kommunikation darf dabei kein Selbstzweck sein. Sie muss Transparenz schaffen, kritische Fragen zulassen und zeigen, wo die Industrie Fortschritte erzielt, aber auch, wo noch Handlungsbedarf besteht. Besonders spannend finde ich es, Innovationen und die Menschen dahinter sichtbar zu machen.

Welche Ziele verfolgen Sie dabei und welchen Nutzen bieten Sie Ihren Mitgliedern?

Bunte: Unser Zielbild ist zunächst eine klimaneutrale Kreislaufwirtschaft für Kunststoffe. Gleichzeitig soll die

Industrie in Deutschland wettbewerbsfähig bleiben, während weiterhin in neue Anlagen, Recyclingtechnologien und alternative Rohstoffe investiert wird. Zu dieser Entwicklung möchten wir beitragen. Unsere Mitglieder profitieren von einer gemeinsamen politischen Interessenvertretung, fundierten Analysen regulatorischer Anforderungen, fachlichem Austausch und einer starken europäischen Vernetzung.

Sie haben europaweit Dependancen. Wie erfolgt die Zusammenarbeit?

Bunte: Viele politische und regulatorische Entscheidungen werden auf europäischer Ebene getroffen. Deshalb arbeiten wir eng mit verschiedenen Akteuren zusammen, beispielsweise aus den Bereichen Kreislaufwirtschaft, Chemikalienregulierung und Produktsicherheit. Ein Beispiel ist die Gestaltung wettbewerbsfähiger Industriestandorte. Die europäischen Positionen werden gemeinsam entwickelt, müssen aber immer in die jeweiligen nationalen Kontexte übersetzt werden. Genau darin liegt eine wesentliche Aufgabe von Plastics Europe Deutschland.

Wie unterstützen Sie Ihre Mitgliedsunternehmen bei der Umstellung auf eine zirkuläre Kunststoffwirtschaft?

Bunte: Auf mehreren Ebenen. Wir analysieren politische und regulatorische Entwicklungen, bringen Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette zusammen und setzen uns für Rahmenbedingungen ein, die Investitionen in Recycling, alternative Rohstoffe und klimaneutrale Produktionsverfahren ermöglichen. Unsere Plastics Transition Roadmap beschreibt den Weg zu einem Kunststoffsystem, das bis 2050 zirkulär arbeitet und Netto-Null-Emissionen erreicht. Dazu gehören mehr mechanisches und chemisches Recycling, der Einsatz biobasierter und anderer nicht fossiler Rohstoffe, recyclinggerechtes Design sowie der Ausbau von Sammlung und Sortierung. Die Transformation kann nicht von einem einzelnen Unternehmen und auch nicht von einem einzelnen Teil der Wertschöpfungskette geleistet werden. Sie benötigt abgestimmtes Handeln von Erzeugern, Verarbeitern, Markenherstellern, Handel, Entsorgungswirtschaft, Recyclern und Politik.

Welche aktuellen gesetzlichen Vorgaben beschäftigen die Branche derzeit besonders?

Bunte: Aktuell beschäftigt uns insbesondere die Umsetzung der europäischen Verpackungsverordnung, der PPWR. Sie gilt grundsätzlich seit dem 12. August 2026 und enthält unter anderem Anforderungen an Recyclingfähigkeit, Rezyklatanteile, Verpackungsminimierung, Wiederverwendung und Kennzeichnung. Viele technische Details müssen noch durch delegierte Rechtsakte und Standards konkretisiert werden. In Deutschland kommen die Umsetzung durch das Verpackungsrecht-Durchführungsgesetz, die Diskussion um eine nationale Plastiksteuer sowie die Nationale Kreislaufwirtschaftsstrategie (NKWS) hinzu. Ebenso beschäftigen uns die europäische Chemikalienpolitik, Anforderungen an Mikroplastik und Pelletverluste, der Digitale Produktpass sowie Vorgaben für unterschiedliche Anwendungsbereiche wie Fahrzeuge, Bauprodukte oder Medizinprodukte. Unser Anliegen ist dabei nicht weniger Regulierung um jeden Preis. Wir brauchen Regeln, die ambitioniert, praktikabel, europaweit harmonisiert und technologisch offen sind. Nationale Sonderwege, Doppelregulierung und unklare Nachweispflichten erschweren Investitionen, ohne automatisch einen zusätzlichen ökologischen Nutzen zu erzeugen.



Bettina Dempewolf, Leiterin Kommunikation, Plastics Europe Deutschland e.V. © Plastics Europe / 2026 – The Tailors Photography

Welche Rolle spielt Digitalisierung beim Aufbau einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft?

Bunte: Angesichts der Komplexität von Produktionsprozessen und Wertschöpfungsketten ist Digitalisierung ein entscheidender Enabler der Kreislaufwirtschaft. Kreisläufe lassen sich nur effizient schließen, wenn Informationen über Materialien, Produkte und Abfallströme verfügbar sind. Digitale Systeme können sichtbar machen, welche Materialien sich wo im Kreislauf befinden, welche Mengen künftig als Abfall anfallen und welche Qualität diese Stoffströme besitzen. So können Sortier- und Recyclingkapazitäten besser geplant und Rohstoffe gezielter eingesetzt werden.

Welche besonderen Anforderungen werden dabei an die Kunststoffindustrie gestellt?

Bunte: Die Kunststoffindustrie verarbeitet sehr unterschiedliche Materialien und Rezepturen für Anwendungen mit jeweils eigenen Sicherheits- und Qualitätsanforderungen. Digitale Systeme müssen diese Komplexität abbilden können. Gleichzeitig müssen Datenschutz, Cyber-Sicherheit und der Schutz geistigen Eigentums gewährleistet sein. Rezepturen und Prozessinformationen gehören häufig zum wichtigsten Know-how eines Unternehmens. Ein Digitaler Produktpass sollte deshalb relevante Kreislaufinformationen bereitstellen, ohne vertrauliche Geschäftsinformationen offenzulegen. ■

Lesen Sie online weiter:

X40: RFID-Mobile-Computer für effiziente Datenerfassung

Robustes Enterprise-Gerät kombiniert RFID, Scanning und moderne Konnektivität



© TSC Auto ID

TSC Auto ID präsentiert den RFID-fähigen Mobile Computer X40 von Bluebird. Das robuste Enterprise-Gerät erfasst bis zu 50 RFID-Tags pro Sekunde und unterstützt Multi-Barcode-Scanning sowie Triple-Side-NFC. Mit 5G, Wi-Fi 6E, Bluetooth 5.3 und UWB bietet der X40 schnelle Kommunikation und präzise Ortung. Dank IP68, Sturzfestigkeit bis 1,5 Meter und Wechselakku eignet er sich für den anspruchsvollen Einsatz in Logistik, Lager, Fertigung und weiteren Branchen.

www.tscprinters.com

Habia entwickelt Verkabelung für die nächste Generation der E-Mobilität

HV-Busbars und Magnetic Wires ermöglichen kompakte, leistungsfähige und langlebige Elektroantriebe

Habia erweitert sein Portfolio für die Elektromobilität um kundenspezifische HV-Busbars und Magnetic Wires. Die flachen Busbars ermöglichen eine platzsparende Stromverteilung und können Gewicht sowie elektrische Verluste reduzieren. Magnetic Wires sind für kompakte Elektromotoren mit hoher Leistungsdichte ausgelegt und halten je nach Material Temperaturen bis 260 °C stand. Auch PFAS-freie Varianten sind verfügbar.

www.habia.com



© KI-generiert

Robust, leise und bis zu 130 Kilogramm belastbar

TORWEGGE stellt neue Kunststoffrolle „LEO“ vor



© TORWEGGE

TORWEGGE erweitert sein Sortiment um die neue Kunststoffrolle „LEO“. Die glasfaserverstärkte Polyurethan-Lauffläche bietet eine Tragfähigkeit von bis zu 130 Kilogramm und ermöglicht einen geräuscharmen, bodenschonenden Lauf. LEO Basic mit verzinkten Stahlelementen ist spritzwassertauglich, während LEO Pro mit Edelstahl auch für den Außenbereich geeignet ist. Ab 2.000 Stück können Kunden die Rolle mit eigenem Logo und Wunschfarbe bestellen. Beide Varianten sind mit abgedichteten Kugellagern und Fadenschutz ausgestattet und vollständig recycelbar.

www.torwegge.de

Festo erweitert sein Partnernetzwerk in der Schweiz

Rubix wird offizieller Vertriebspartner für Automatisierungstechnik



© Festo SE & Co. KG

Festo baut seine Präsenz im Schweizer Industriemarkt aus: Seit 1. September 2026 ist die Rubix Switzerland AG offizieller Partner des Automatisierungsspezialisten. Maschinen- und Anlagenbauer sowie Unternehmen aus Instandhaltung und MRO erhalten dadurch Zugang zu Festo-Produkten, Automatisierungslösungen und technischer Beratung. Die Kooperation verbindet damit zwei etablierte Industrieanbieter und soll den Zugang zu Automatisierungstechnik in der Schweiz erleichtern.

www.festo.com

Siemens und EPG bündeln ihre Kräfte für intelligentere Stromnetze

Neue Kooperation soll Netzdaten in Echtzeit nutzbar machen

Siemens und die Electric Power Group (EPG) arbeiten künftig gemeinsam an einer besseren Überwachung und Steuerung elektrischer Netze. EPG bringt seine Technologie zur synchronisierten Erfassung von Netzdaten ein, Siemens integriert diese Informationen in seine Automatisierungs- und Netzlösungen. Ziel ist es, Netzbetreibern mehr Transparenz zu geben und Störungen sowie kritische Entwicklungen frühzeitig zu erkennen. Die Partnerschaft verbindet damit Datenerfassung, Automatisierung und vorausschauende Netzsteuerung.

www.siemens.com



© Siemens

GEA erweitert Technologiezentrum in Oelde

Ausbau für größere Maschinen und neue Kundenversuche



© GEA

GEA investiert in die Erweiterung seines Process Test Centers am Stammsitz der mechanischen Trenntechnik in Oelde. Ein zusätzlicher Testraum schafft Kapazitäten für Kundenversuche, interne Entwicklungsprojekte und Tests mit größeren Maschinen. Auch moderne Skidlösungen sollen dort erprobt werden. Die Fertigstellung ist bis Ende 2026 vorgesehen. Damit baut GEA seinen Standort als Entwicklungs- und Erprobungszentrum für industrielle Verfahrenstechnik weiter aus.

www.gea.com/de

Lernfabrik Globale Produktion

Karlsruher Institut für Technologie





alle Fotos © wbk

Lernfabriken machen digitale Technologien greifbar – vom ersten Test bis zur Anwendung im eigenen Betrieb. Unsere Serie stellt Orte vor, an denen Interessierte Wissen aufbauen, Vertrauen gewinnen und Veränderung aktiv gestalten können.

In dieser Ausgabe wird die Lernfabrik Globale Produktion am Karlsruher Insitut für Technologie vorgestellt, die sich u. a. durch reale Produkte und eine vollständige Prozesskette ohne Blackboxen von anderen Angeboten unterscheidet.

Kontext und Ziele der Lernfabrik

- **Ziele**
  Betriebliche Weiterbildung, Hochschullehre, Forschung, Transfer in Unternehmen, Demonstrator für Industrie (4.0)
- **Zielgruppe**
  Studierende, Industrie
- **Industriepartner**
  Neura Robotics, Bosch, Schneider Electric, PROMESS, Balluff
- **Einbindung in Curriculum und Weiterbildung**
  eigenständige Vorlesungsreihe, Praxismodul für weitere Vorlesungen, Weiterbildung für Mitarbeiter aus der Industrie
- **Besonderheiten**
  globale Produktion, reales Produkt, vollständige Prozesskette ohne Blackboxen



Didaktisches Konzept und Lernformate

- **Lernformen**
  Theorieinput mit Aufgabenstellung, Erarbeitung von Lösungsvorschlägen in Kleingruppen, Diskussion und Einigung auf eine Lösung im Plenum, freie Umsetzung der Lösung in der Produktionslinie, Durchführung einer Produktionsrunde, Diskussion von Ergebnissen z. B. anhand von KPI in einem Shopfloor Meeting, nächster Zyklus zur weiteren Verbesserung
- **Evaluation des Lernerfolgs**
  im universitären Kontext über schriftliche Tests und mündliche Prüfungen
- **Sicherstellung einer zielgruppengerechten Vermittlung**
  Niveauanpassung, Vorbereitung durch Skript im universitären Kontext

Organisation, Betrieb und Geschäftsmodell

- **Lern-Coaches**
  wissenschaftliches Personal als Lehrkräfte und Trainer und für die Weiterentwicklung/Instandhaltung, studentische Hilfskräfte als Unterstützung
- **Finanzierung der Lernfabrik**
  Mischmodell – Demonstratoren, die für Projekte gebraucht werden und sich in die Lernfabrik integrieren lassen, nutzen Projektmittel, manche Firmen leihen/sponsern Hardware, Industrieteilnehmer zahlen Teilnahmegebühr
- **Geschäftsmodelle**
  offene Seminare zu bestimmten Themen, maßgeschneiderte Kurse für bestimmte Unternehmen, gemeinsame Forschungsprojekte mit Industrie



Prozess-, Produkt- und Technikumgebung

- **Dargestellter Prozess**
  Montage eines Elektromotors in einer High-Mix-Low-Volume-Umgebung (zwölf Varianten mit unterschiedlichen Motor- und Getriebekombinationen)

- **Hergestellte Produkte**
  Elektromotor aus dem Automobilbereich, der z. B. in Fensterhebern und automatischer Sitzverstellung verwendet wird

- **Realitätsnähe des Prozesses**
  sehr realitätsnah mit realem Industrieprodukt, das in einer Produktionslinie mit acht Montagestationen vollständig montiert wird, zudem kann noch ein Motorprüfstand zur Linie hinzugefügt werden. Materialfluss beginnt in einem Lager, Einzelteile müssen selbstständig kommissioniert und durch interne Logistik zu den Arbeitsplätzen geliefert werden, Schulungen wie AGN (Agile Globale Produktionsnetzwerke) simulieren sogar die Produktion an unterschiedlichen Standorten mit Logistik zwischen den Standorten.

- **Integrierte Technologien und Industrie 4.0-Elemente**
  RFID, MES, Echtzeit-KPIs, Digitale Zwillinge

- **Flexibilität der technischen Infrastruktur**
  Modulare Stationen mit Batteriebetrieb auf Rollen zur schnellen und eigenständigen Anpassung des Layouts ohne technische Restriktionen; kein Anschluss an Netzwerk oder Druckluft notwendig, Übertragung per WLAN.

Wirkung, Evaluation und Weiterentwicklung

- **Erfolgsmessung**
  Feedback, Evaluationen
- **Entwicklung und Ausbau**
  technisch vollständig überarbeitet, thematisch regelmäßig an neue Trends und Themen angepasst, neue Zielgruppen durch neue Schulungsformate (Lernreihe mit fünf 2-Tages-Kursen, einzelne 2-Tages-Kurse, bis zu halbtägigen Crash-Kursen)



Forschung, Innovation und Vernetzung

- **Forschungsschwerpunkte**
  Lean Production, Industrie 4.0, SixSigma/Datamining, globale Produktionsnetzwerke, Digitaler Zwilling, Nachhaltigkeit/Circular Economy
- **Integration neuer Forschungsergebnisse**
  regelmäßige Anpassung der Szenarien und Storyline (Digitaler Zwilling und Kreislaufproduktion sind neue Einheiten), neue Technologien (Entwicklung einer eigenen MES-Lösung, Flexibilisierung der Stationen)
- **Auswahl an Publikationen**
  - A Didactic GUI Framework for Teaching Robot-Based Sequencing Logic in Learning Factories (CLF 2026)
  - Advancing Learning Factories: A Framework For Research, Education And Industry Collaboration In Modern Manufacturing (CLF 2025)
  - Optimizing Learning Paths for Digital Twin Education: Content Structuring and Didactic Approaches (CLF 2025)
- **Aktive Netzwerke und Kooperationen**
  IALF, InnoVet Lernfabriken@BeruflicheBildung, Nachwuchsstiftung Maschinenbau
- **Berücksichtigung internationaler Perspektiven**
  englischsprachige Angebote

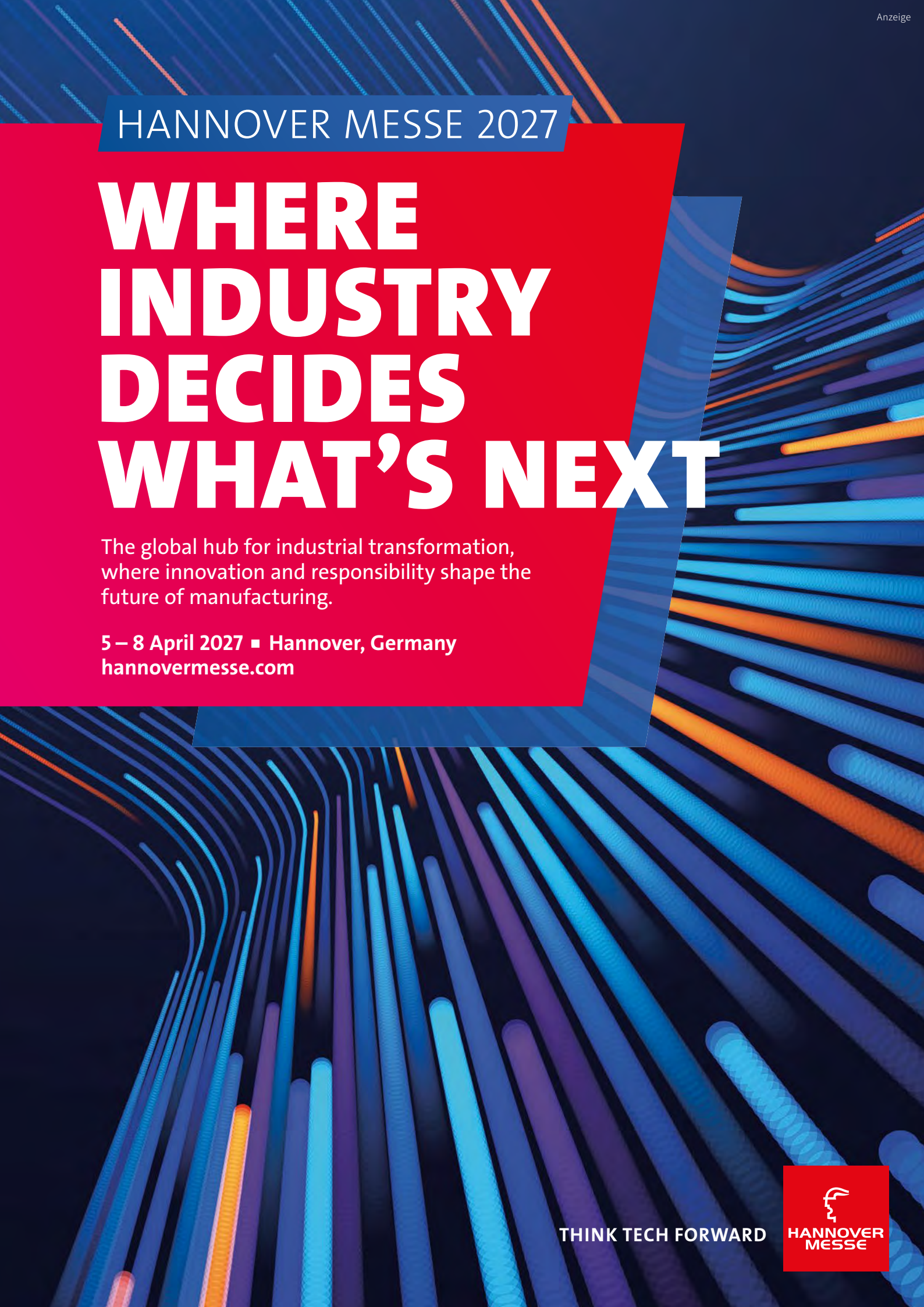
Optionen für externe Firmen

- **Serviceangebote**
  offene Standardmodule mit Anmeldung zu festen Terminen (z. B. zu Lean, 6Sigma, Digitaler Zwilling etc.), maßgeschneiderte Firmenschulungen bei ausreichender Teilnehmerzahl

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Gisela Lanza
gisela lanza@kit edu

Anzeige


HANNOVER MESSE 2027
WHERE INDUSTRY DECIDES WHAT'S NEXT
The global hub for industrial transformation, where innovation and responsibility shape the future of manufacturing.
5 – 8 April 2027 ■ Hannover, Germany
hannovermesse.com
THINK TECH FORWARD
HANNOVER MESSE

Hanna Theuer und Norbert Gronau

Smart Factory Consulting im kompakten Benchmark

Potenziale erkennen. Prozesse optimieren. Zukunft gestalten.

Abels & Kemmner Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH
86 www.ak-online.de

Aicep Portugal Global
86 portugalglobal.pt/en/

bdf consultants GmbH
87 bdfexperts.de

Becker 4punkt0
87 www.becker-4punkt0.de

CG Project Management
87 www.cg-pm.fr

MIS Analytics GmbH
88 www.mis-analytics.de

Flowing Business GmbH
88 flowingbusiness.de

Fraunhofer Austria Research GmbH
89 www.fraunhofer.at

Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP
89 www.hro.ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
89 www.ipa.fraunhofer.de

HIR GmbH
90 www.hirgmbh.de

ion3 Prozessmanagement GmbH
90 www.ion3.info/de/

© Adobe Stock/Tensor-Spark

Logivations GmbH
91 logivations.com/de/

Potsdam Consulting Advisory GmbH
91 www.potsdam-consulting.de

Profil M Beratung für Human Resources Management GmbH und Co. KG
91 www.profil-m.de

Reissenweber GmbH
92 www.jreissenweber.com

ROI-EFESO Management Consulting AG
92 www.efeso.com

Steger IT-Systeme
93 www.adesso.de

Technologie-Initiative SmartFactory KL e. V.
93 www.smartfactory.de

umbrella.associates GmbH
93 www.umbrella.associates

Executive Download

Summary (PDF) und vollständige Datenbasis (XLSX) mit Anbietern, Funktionen, Leistungsmerkmalen und flexiblen Filteroptionen

Die Digitalisierung der Produktion ist ein zentraler Hebel für Wettbewerbsfähigkeit, Effizienz und Zukunftssicherheit. Smart Factory Consultants helfen Unternehmen, digitale Potenziale zu erkennen, Prozesse gezielt zu verbessern und innovative Lösungen nachhaltig zu implementieren. Mit ihrer Expertise verbinden sie technologische Möglichkeiten mit den individuellen Anforderungen und Zielen der Unternehmen. So schafft die Digitalisierung die Grundlage für eine zukunftsfähige, agile und wettbewerbsstarke Produktion.

Marktüberblick: ausgewählte Anbieter

Diese herstellerneutrale Marktstudie bietet einen strukturierten Vergleich von Smart Factory Consultants und zeigt zentrale Auswahlkriterien. Die Print-/ePaper-Ausgabe enthält eine Auswahl; die detaillierten Daten stehen als Excel im Executive Download bereit.

Executive Download: Summary und Datenbasis in einem Paket

Per Abonnement oder Einzelkauf: die Executive Summary (PDF) als kompakter Überblick plus die vollständige Datenbasis (XLSX) mit mehr Details – Anbieter, Funktionen, Leistungsmerkmale und Filteroptionen. Damit können Sie Ergebnisse direkt weiterverarbeiten, relevante Anbieter vergleichen und fundierte interne Entscheidungsprozesse unterstützen.

Die industrielle Produktion wird zunehmend komplexer: Neue Technologien, vernetzte Systeme und wachsende Datenmengen treffen auf etablierte Prozesse und heterogene Infrastrukturen. Gleichzeitig ist die digitale Transformation für viele Unternehmen längst keine strategische Option mehr, sondern eine betriebswirtschaftliche Notwendigkeit. Wer am Markt bestehen will, muss nicht nur Effizienzpotenziale ausschöpfen, sondern auch regulatorischen Anforderungen genügen – von der Dokumentationspflicht über Nachhaltigkeitsberichterstattung bis zu branchenspezifischen Compliance-Vorgaben.

Vor diesem Hintergrund gewinnen Smart Factory Consultants an Bedeutung. Sie helfen Unternehmen, die Vielzahl an Technologien und Handlungsoptionen zu strukturieren, sinnvolle Prioritäten zu setzen und Digitalisierungsvorhaben zielgerichtet umzusetzen.

Mehr als reine Technologieberatung

Das Angebot von Smart Factory Consultants deckt ein breites Spektrum entlang der digitalen Transformation ab. Ausgangspunkt ist häufig eine Reifegradanalyse, mit der Unternehmen ihren aktuellen Digitalisierungsstand bewerten, Handlungsfelder identifizieren und konkrete nächste Schritte ableiten können. Darauf aufbauend wird die Umsetzung von Digitalisierungsinitiativen unterstützt und Unternehmen werden bei der Integration neuer Technologien und Lösungen in nachhaltig bestehende Prozesse begleitet.

Ein weiterer Schwerpunkt der befragten Berater liegt im Umgang mit Daten. Data Governance schafft klare Strukturen für Qualität, Verfügbarkeit, Verantwortlichkeiten und die sichere Nutzung von Daten. KPI-Dashboards helfen dabei, relevante Produktions- und Unternehmenskennzahlen transparent darzustellen und Abweichungen frühzeitig zu erkennen. Dadurch entsteht eine belastbare Grundlage für datenbasierte Entscheidungen und kontinuierliche Prozessverbesserungen.

Auch Künstliche Intelligenz nimmt als Beratungsfeld an Bedeutung zu. Consultants identifizieren geeignete Anwendungsfälle und unterstützen bei deren Umsetzung – beispielsweise der Qualitätskontrolle, der vorausschauenden Instandhaltung oder der Prozessoptimierung. Parallel rücken Sicherheit und Resilienz der Produktion stärker in den Fokus. Angebote wie OT-Sicherheit und Penetrationstests helfen, Schwachstellen in industriellen Systemen aufzudecken und Produktionsumgebungen so besser vor Cyber-Angriffen zu schützen. Business-Continuity-Konzepte zielen darauf ab, die Handlungs- und Produktionsfähigkeit auch bei Störungen aufrechtzuerhalten.

Weitere Beratungsfelder befassen sich mit den zunehmenden Anforderungen an Nachhaltigkeit und widerstandsfähige Wertschöpfungsketten. Bei der CO_2-Reduzierung geht es darum, Einsparpotenziale beim Energieverbrauch und bei Produktionsprozessen zu identifizieren und darauf aufbauend konkrete Maßnahmen abzuleiten. Die Analyse von Lieferkettenrisiken unterstützt Unternehmen dabei, kritische Abhängigkeiten und potenzielle Engpässe frühzeitig zu erkennen und ihre Resilienz zu stärken.

Damit Digitalisierung dauerhaft Wirkung entfalten kann, nimmt auch der Faktor Mensch eine zentrale Rolle ein. Schulungen vermitteln notwendige Kompetenzen für den Umgang mit neuen Technologien und digitalen Prozessen.

EU AI Act: Herausforderung und Chance für die Produktion

Mit dem EU AI Act erhält der Einsatz Künstlicher Intelligenz in der Europäischen Union erstmals einen umfassenden verbindlichen Rechtsrahmen. Für Unternehmen gewinnt die Verordnung angesichts wachsender regulatorischer Anforderungen damit spürbar an Relevanz. Unternehmen müssen ihre KI-Systeme in Risikoklassen einordnen, Transparenz- und Dokumentationspflichten erfüllen und sicherstellen, dass ihre Lösungen sicher und nachvollziehbar arbeiten. Die praktische Umsetzung ist anspruchsvoll und bedeutet für viele produzierende Unternehmen eine zusätzliche Herausforderung. Smart Factory Consultants unterstützen sie dabei, die Anforderungen zu verstehen, KI-Anwendungen zu bewerten und Compliance-konforme Implementierungen zu gestalten – von der Risikoanalyse bis zur Integration von Governance-Strukturen. So können produzierende Unternehmen nicht nur regulatorische Anforderungen sicher erfüllen, sondern zugleich die Grundlage für einen verantwortungsvollen und zukunftsfähigen Einsatz von KI schaffen.

Vielfältige Verbesserungspotenziale entlang der Wertschöpfung

Die Antworten der befragten Unternehmen zeigen, dass Smart Factory Consulting vor allem auf messbare Verbesserungen in den Bereichen Produktion, Logistik und Steuerung abzielt. Als typische Ergebnisse werden eine höhere Lieferbereitschaft, geringere Bestände, effizientere Planungs- und Steuerungsprozesse sowie eine Reduzierung des Working Capitals genannt. Auch Produktivitätssteigerungen im Supply Chain Management, eine höhere Anlagenverfügbarkeit und eine insgesamt stabilere Wertschöpfung werden häufig als Wirkung beschrieben.

Mehrere Unternehmen berichten zudem, dass sich durch standardisierte und digitalisierte Prozesse die Stammdatenkomplexität deutlich verringert, sich die Durchlauf-

zeiten verkürzen und Fehler, die durch manuelle Übertragungen entstehen, reduziert werden. Weitere genannte Effekte sind ein geringerer Koordinationsaufwand, weniger Mikromanagement, kürzere Reaktionszeiten und ein ruhigerer, stabilerer Prozessablauf. In einzelnen Antworten werden außerdem verbesserte Compliance-Nachweise, höhere Transparenz und eine nachhaltigere Umsetzung von Veränderungsprozessen hervorgehoben.

Im Bereich Produktion und Instandhaltung nennen die befragten Unternehmen zusätzlich Effekte wie eine höhere OEE, weniger Stillstände, geringere Nacharbeits- und Prüfaufwände, eine bessere Flächennutzung und eine gesteigerte Flexibilität. Auch KI-gestützte Optimierung, Automatisierung und Cyber-Resilienz werden als relevante Ergebnisdimensionen genannt. Die Befragten betonen dabei, dass solche Wirkungen je nach Ausgangslage, Branche und Projektumfang stark variieren können.

Die genannten Kennzahlen verdeutlichen mögliche Größenordnungen, sind aber nicht pauschal übertragbar. In den Antworten werden unter anderem Effizienzsteigerungen, Bestandsreduktionen, kürzere Lieferzeiten, eine bessere Lieferzuverlässigkeit und Einsparungen bei Kapazitäten oder Kosten genannt. Für die Marktstudie ist deshalb wichtig festzuhalten, dass die Ergebnisse aus den Aussagen der befragten Unternehmen stammen und als projektspezifische Erfahrungswerte zu verstehen sind.

Teams zeichnen sich durch Interdisziplinarität aus

Die befragten Unternehmen geben an, dass ihre Beratungsteams interdisziplinär zusammengesetzt sind. Die Mitarbeiter verfügen über Kompetenzen aus den Bereichen Ingenieurwesen, Betriebswirtschaft, Wirtschaftsinformatik, IT und OT, Softwareentwicklung sowie Security. Je nach Projekt werden zudem Experten für Produktion, Logistik, Change Management, Organisationsentwicklung und strategische Themen hinzugezogen. So können technische und organisatorische Fragestellungen ganzheitlich betrachtet und passgenaue Lösungen für Smart-Factory-Vorhaben entwickelt werden.

Anbieter im Profil: Stärken und Ausrichtung

Smart Factory Consultants verfolgen ein gemeinsames Ziel: Sie unterstützen produzierende Unternehmen bei der Digitalisierung und Weiterentwicklung ihrer Prozesse. Viele Anbieter kombinieren dabei Analyse, Konzeption und Umsetzung und betrachten Daten, Prozesse und Technologien im Zusammenhang. Im Fokus stehen konkrete Verbesserungen, etwa bei Effizienz, Transparenz oder Prozessqualität. Oft gehört auch die Begleitung von der strategischen Planung bis zur operativen Umsetzung zum Beratungsansatz.

Unterschiede zeigen sich insbesondere bei den fachlichen Ursprüngen und Schwerpunkten der Anbieter. Einige verfügen über eine starke Expertise in der Daten- und Systemwelt, etwa im MES- oder ERP-Umfeld oder bei Digitalen Zwillingen. Andere kommen aus Bereichen wie Supply Chain, Produktionsplanung oder mathematischer Optimierung und setzen entsprechend auf Simulation und quantitative Analysen. Einen weiteren Schwerpunkt bilden Beratungen mit ausgeprägter Expertise in Change Management, Leadership und Organisationsentwicklung. Hier stehen neben der Technologie primär die Veränderung von Strukturen und Arbeitsweisen im Mittelpunkt.

Auch hinsichtlich des Technologiebezugs unterscheiden sich die Ansätze. Einige Anbieter setzen eigene Softwarelösungen oder KI-Plattformen ein, während andere bewusst technologie- und herstellerneutral arbeiten. Forschungsnahe Beratungen bringen zudem aktuelle Methoden, Prototypen und Forschungsergebnisse in Projekte ein. Praxisorientierte Anbieter legen den Schwerpunkt dagegen auf Implementierung und operative Wirkung. Abgerundet wird das Spektrum durch spezialisierte Anbieter für Cybersecurity, die sich hauptsächlich mit der Absicherung vernetzter Produktionsumgebungen befassen.

Antworten aus der Praxis

Im Folgenden erhalten Sie eine kompakte Auswahl zentraler Angebote von 20 Smart Factory Consultants. Die Darstellung basiert auf den Antworten der Anbieter auf einen einheitlichen Fragebogen. Die abgefragten Angebote reichen von Beratungsleistungen über den Umgang mit regulatorischen Anforderungen und KI in der Produktion bis zur fachlichen Zusammensetzung des Beraterteams, der Einbeziehung der Kunden in den Change-Prozess, den Alleinstellungsmerkmalen (USPs) und den typischen Kundengrößen sowie den Abrechnungsmodellen. Das Ziel besteht darin, die unterschiedlichen Beratungsangebote vergleichbar zu machen und Unternehmen bei der Auswahl geeigneter Smart Factory Consultants zu unterstützen.

Die vollständige Marktübersicht mit allen Anbietern und Features steht Ihnen online zur Verfügung – im Professional-Abo oder flexibel als Einzelkauf.

Unternehmen	Abels & Kemmner Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH	Aicep Portugal Global
Plattform	**Smart Factory Consulting von Abels & Kemmner Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH**	**Smart Factory Consulting von Aicep Portugal Global**
		
Beratungsangebot	Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, Umsetzung	
Wie gestalten Sie den Change-Management-Prozess auf dem Shopfloor?	Wir binden Betroffene frühzeitig ein und machen geplante Veränderungen durch Simulation vorab transparent. Auswirkungen auf Bestände, Lieferfähigkeit und Produktion werden anhand realer Daten sichtbar. Das schafft Akzeptanz, reduziert Umsetzungsrisiken und erleichtert Pilotierung, Schulung und Rollout.	AICEP – Portugal Trade & Invest ist die staatliche Wirtschaftsförderungsagentur Portugals. Sie unterstützt portugiesische Unternehmen bei der Internationalisierung und Exportförderung sowie internationale Investoren bei der Umsetzung von Investitionsprojekten in Portugal.
Was sind typische Ergebnisse Ihrer Projekte (z. B. OEE-Steigerung, Kostensenkung) und in welcher Größenordnung?	Höhere Lieferbereitschaft, geringere Bestände, effizientere Planungs- und Steuerungsprozesse, Working Capital Reduction; Produktivitätssteigerung im SCM	Mit ihrem Netzwerk in Portugal und rund 50 Ländern weltweit bietet AICEP Marktinformationen, Beratung und Geschäftskontakte an, begleitet Investitionsvorhaben und fördert die internationale Wettbewerbsfähigkeit der portugiesischen Wirtschaft.
Wie ist Ihr Beraterteam fachlich zusammengesetzt (IT, OT, Ingenieurwesen, Change Management)?	Unser interdisziplinäres Team besteht aus Kaufleuten, Ingenieuren und Softwareentwicklern. Damit verbinden wir betriebswirtschaftliche Supply-Chain- und Prozesskompetenz mit technischem Verständnis, quantitativen Methoden und IT-/Softwarekompetenz.	Darüber hinaus unterstützt sie die Ausbildung junger Talente durch internationale Praktikumsprogramme und berät über optimale Standorte für Investitionsprojekte.
Wo sehen Sie Ihre besonderen USPs im Vergleich zu anderen Smart-Factory-Beratungen?	Unser USP liegt in der Verbindung von Supply-Chain-Expertise, mathematischer Optimierung und Digitalem Zwilling. Wir beraten nicht nur, sondern simulieren Planungs- und Steuerungsstrategien vor ihrer Umsetzung. So machen wir Auswirkungen auf Bestände, Lieferbereitschaft, Kapazitäten und Produktion quantitativ ...	keine Angabe
Wie groß sind die typischen Kundenunternehmen, die Sie beraten?	100 Mio. bis 1.5 Mrd. €	keine Angabe

bdf consultants GmbH	Becker 4punkt0	CG Project Management
Smart Factory Consulting von bdf consultants GmbH	**Smart Factory Consulting von Becker 4punkt0**	**Smart Factory Consulting von CG Project Management**
		
Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Lieferkettenrisiko, KPI-Dashboard, Reifegradanalyse, Umsetzung	Penetrationstest, Business Continuity, KPI-Dashboard, Schulung, Umsetzung
Wir arbeiten über Key-User. Fachbereich und Fertigung sind ab dem ersten Prototyp im System dabei, testen an echten Aufträgen und bringen die Regeln ein, die bisher nur in Köpfen standen. Eingeführt wird schrittweise, erst eine Produkt- oder Fertigungslinie, dann der Rollout. Ein eigenständiges ...	Natürlich werden die Mitarbeiter vom Shopfloor mit einbezogen.	Unser Change-Management-Ansatz basiert auf dem Verständnis der Anforderungen, der Vorbereitung der Einführung, der Schulung der Anwender und der schrittweisen Unterstützung bei der Einarbeitung in Gouti. Unser Fachwissen konzentriert sich eher auf das Projekt- und Portfoliomanagement als auf industrielle ...
Typische Ergebnisse: deutlich reduzierte Stammdatenkomplexität, weil Varianten regelbasiert statt manuell entstehen; kürzere Durchlaufzeit von der Anfrage bis zum Fertigungsauftrag; weniger Fehler durch den Wegfall manueller Übertragungen; belastbare Compliance-Nachweise in regulierten Prozessen. Konkrete Kennzahlen ...	Ersparnis von 15 %	Die Ergebnisse variieren je nach Unternehmen und dessen Anforderungen. In der Regel verbessert Gouti die Transparenz von Projekten und Portfolios, zentralisiert Informationen, erleichtert die Zusammenarbeit und unterstützt die Verwaltung von Ressourcen, Arbeitsaufkommen und Terminen.
SAP-Berater mit Prozess- und Modulwissen aus Fertigung, Logistik und Projektabwicklung, ergänzt um Entwicklung (ABAP, Fiori, Schnittstellen) sowie Kollegen mit ingenieurwissenschaftlichem Hintergrund aus dem Maschinen- und Anlagenbau.	Technik und Betriebswirtschaft	Unser Team besteht aus drei Vertriebsmitarbeitern, drei Softwareentwicklern, einem Projektmanager sowie unserem Gründer. Wir vereinen Fachwissen in den Bereichen Softwareentwicklung, Projekt- und Portfoliomanagement, Vertriebsunterstützung und Kundenbetreuung.
Wir kommen von der Datenseite, nicht von der Maschinenseite. Grundlage jeder Smart Factory ist eine sauber strukturierte, regelbasiert gepflegte Produkt- und Prozessdatenbasis in SAP. Mit SAP PPG haben wir dafür eine eigene Lösung: Sie erzeugt Varianten, Stücklisten, Arbeitspläne und Maschinenparameter ...	Durch eine Analyse genau den Punkt herauszufinden, bei dem ein Einstieg in die Digitalisierung am meisten bringen wird.	Unsere Stärke liegt in der Verbindung von Projektmanagement-Know-how, persönlicher Beratung und digitaler Technologie. Mit Beratung, Implementierung, Schulungen und der Gouti-Software unterstützen wir Unternehmen dabei, Projekt- und Portfoliomanagement effizient zu strukturieren – individuell, ...
Mittelständische Industrieunternehmen bis Konzerne, überwiegend 500 bis über 10.000 Mitarbeitende. Schwerpunkte: Maschinen- und Anlagenbau, Komplexbau, Pharma, Bauzulieferung, Energie.	500 Mitarbeiter	In der Regel beraten wir kleine und mittlere Unternehmen (KMU), mittelgroße Organisationen und Großunternehmen sowie Organisationen des öffentlichen Sektors.

Unternehmen	MIS Analytics GmbH	Flowing Business GmbH
Plattform	**Smart Factory Consulting von MIS Analytics GmbH**	**Smart Factory Consulting von Flowing Business GmbH**
		
Beratungsangebot	Business Continuity, Lieferkettenrisiko, Data Governance, KPI-Dashboard, KI-Anwendung, Schulung, Umsetzung, OT-Sicherheit	KPI-Dashboard, KI-Anwendung, Schulung, Reifegradanalyse, Umsetzung
Wie gestalten Sie den Change-Management-Prozess auf dem Shopfloor?	keine Angabe	Schulungs- und Qualifizierungstrainings werden auf Basis von manuellen/analogen Systemen trainiert. Es bleibt der anschließende Weiterbetrieb mit einem analogen oder digitalen System.
Was sind typische Ergebnisse Ihrer Projekte (z. B. OEE-Steigerung, Kostensenkung) und in welcher Größenordnung?	keine Angabe	Typische Ergebnisse sind viel weniger Aufwand in Koordination und Mikromanagement, kürzere Durchlaufzeiten, höhere Pünktlichkeit, stabiler FLOW und weniger Hektik. In Referenzprojekten wurden rund 30 % Effizienzsteigerung berichtet; in einem weiteren stieg die auf Anwesenheitszeiten normierte Value-Point-Leistung ...
Wie ist Ihr Beraterteam fachlich zusammengesetzt (IT, OT, Ingenieurwesen, Change Management)?	Interdisziplinär (Ingenieurwesen, BWL, Wirtschaftsinformatik bis zum Security Experten ...	MBA-Zertifikate, WI-Ingenieure, Betriebswirte, strategische Softwareentwicklung und Anpassungsprogrammierer. Business Coaching; Flowing-Business-Ausbildung und -Zertifikate
Wo sehen Sie Ihre besonderen USPs im Vergleich zu anderen Smart-Factory-Beratungen?	Wir setzen seit 2021 durchgängig KI- und Machine-Learning-Methoden in unseren Kundenprojekten ein. Zudem sind wir interdisziplinär aufgestellt. Wir verfügen über praktische Erfahrungen und bieten Kompetenzen aus dem Ingenieurwesen, der BWL und der Wirtschaftsinformatik. Neben Analyse, Konzeption gehören ...	Viele Smart-Factory-Lösungen digitalisieren Planung und Abweichungsmanagement und bleiben auf zentrale Steuerungsfunktionen angewiesen. Flowing Business® schafft einen gemeinsamen Organisations- und Orientierungsrahmen: Komplexe, nicht vorausplanbare Prozesse werden über reale Zustände im Pull selbstorganisiert und ...
Wie groß sind die typischen Kundenunternehmen, die Sie beraten?	Unsere Kunden sind primär im gehobenen Mittelstand mit durchschnittlich ca. 1.000 Angestellten zu finden. Auch Großunternehmen und Konzerne gehören zur Klientel.	60 bis 300 Mitarbeiter; Einzelfertigung/Projektcharakter

Smart Factory Consulting

Fraunhofer Austria Research GmbH	Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Smart Factory Consulting von Fraunhofer Austria Research GmbH	**Smart Factory Consulting von Fraunhofer-Einrichtung für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP**	**Smart-Factory-Beratung der Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA**
		
Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, CO_2-Reduzierung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Penetrationstest, Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, CO_2-Reduzierung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Penetrationstest, Business Continuity, Lieferkettenrisiko, Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, CO_2-Reduzierung, Reifegradanalyse, Umsetzung, OT-Sicherheit
Gemeinsam mit qualifizierten Partnern aus unserem Netzwerk	Das Fraunhofer IGP setzt auf einen iterativen, begleitenden Ansatz: kleine Proof-of-Concepts werden Schritt für Schritt in der Produktion eingeführt, gemeinsam angepasst und sukzessive verfeinert – für hohe Akzeptanz und geringes Risiko.	Beginnend mit frühzeitiger Einbindung der Mitarbeitenden und Führungskräfte gleichermaßen über Workshops, Pilotprojekte und Multiplikatoren. Zielgerichtete, klare und zielgruppengerechte Kommunikation, Qualifizierung und sichtbare Erfolge schaffen Akzeptanz und nachhaltige Veränderung.
Konkrete Kennzahlen werden meist nicht veröffentlicht, da laut Website „viele unserer Referenzen der Geheimhaltung unterliegen“; qualitativ genannt werden u. a. Produktivitätssteigerung, Kostensenkungen, gesteigerte Anlagenverfügbarkeit, reduzierter Vorbereitungsaufwand in der Instandhaltung und ...	Durch den gezielten Technologieeinsatz konnten bspw. Nebenzeiten durch Suchaufwände in einigen Bereichen gänzlich minimiert werden. Hinzu kommen Einsparungen von Kapazitäten in zweistelligen Prozent. Jedoch sind die Auswirkungen extrem schwankend und aufgrund der unterschiedlichen Industriezweige nicht vergleichbar.	Referenzprojekte zeigen folgende Beispielergebnisse: 10–15 % FTE-Einsparungen, 0,7–1,6 Jahre Amortisation, 20–30 % Bestandsreduktion, 40 % kürzere Lieferzeiten, 15 % bessere Lieferzuverlässigkeit, 50 % weniger verschobene Produktionstage, 90 % weniger Nacharbeit, 30 % schnellere Bearbeitung, 12 % weniger Fehler
Rund 140 Mitarbeitende, überwiegend Wissenschaftler und Ingenieure, gegliedert in vier Geschäftsstellen (Wien, Graz, Innsbruck, Klagenfurt). Disziplinen umfassen Fabrikplanung/Produktionsmanagement, Arbeitsgestaltung/Digitalisierung, Logistik/Supply Chain Management, industrielle Digitalisierung ...	Unsere Teams am Fraunhofer IGP sind interdisziplinär aufgestellt. Die Ausbildungen und Studien reichen vom Maschinenbauer, Wirtschaftsingenieur über Elektrotechniker, Mathematiker, Informatiker, Wirtschaftsinformatiker bis zum Messtechniker und Physiker.	Wir bilden interdisziplinäre Projektteams, die alle Kompetenzen eines Smart-Factory-Projektes benötigt. Von der Fabrikplanung über die Prozess- und Anlagentechnologie, IT-Systeme- und Softwareentwicklung bis hin zur Prozessgestaltung und Organisationsentwicklung.
Wir sind ein herstellerunabhängiger Partner für die gesamtheitliche Planung und Optimierung von Smart Factory. Von der Werksplanung bis zur Lagerplanung über die Produktionsoptimierung zur Arbeitsgestaltung und zum Anlagen- und Instandhaltungsmanagement. Fokus auf „Positive Impact Production“ – Effizienz, ...	Anders als Unternehmen aus der Wirtschaft, sind wir weder an Anbieter noch an bestehende Tools und Frameworks gebunden. Nicht selten entwickeln wir Tools als Teil der Beratung, wenn vorhandene Lösungen zu starr sind, um die Aufgabenstellungen zu lösen. Gleiches gilt für die Umsetzung der konzipierten ...	Als Institut im Bereich der angewandten Forschung sind wir in der Lage, unseren Kunden Lösungen anzubieten, die auf dem aktuellen Stand der Technik basieren. Über unsere Spinn-offs und unser Partnernetzwerk stellen wir sicher, dass unsere Lösung nachhaltig betrieben und weiterentwickelt werden können.
Beide Segmente: von KMU (u. a. eigenes Angebot „KI4LIFE KMU Digitalisierungs-Scheck“) bis Großkonzerne (Referenzen wie Siemens, Infineon, Voestalpine, Wien Energie, AT&S)	Wir arbeiten mit Unternehmen von 1-Personen-AGs bis zu Großkonzernen zusammen.	Typische Kunden haben zwischen 500 und 3.500 Mitarbeitende, Großkonzernprojekte haben wir auch im Projektportfolio.

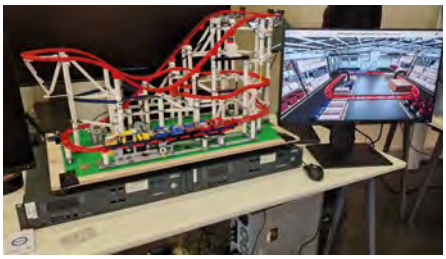
Unternehmen	HIR GmbH	ion3 Prozessmanagement GmbH
Plattform	**Smart Factory Consulting von HIR GmbH**	**Smart Factory Consulting von ion3 Prozessmanagement GmbH**
		
Beratungsangebot	Penetrationstest, Business Continuity, Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, Reifegradanalyse, Umsetzung	KPI-Dashboard, Schulung, Umsetzung
Wie gestalten Sie den Change-Management-Prozess auf dem Shopfloor?	Eigene CM-Methodik mit einem Tool	Betroffene früh einbinden, Probleme am realen Prozess sichtbar machen und Verbesserungen gemeinsam erproben. Neue Abläufe durch Schichtübergaben, Shopfloor-Routinen, verständliche Arbeitsanleitungen und Coaching verankern. Jede Abweichung führt zu einer klaren Frage, Zuständigkeit und Maßnahme mit Rückmeldepunkt.
Was sind typische Ergebnisse Ihrer Projekte (z. B. OEE-Steigerung, Kostensenkung) und in welcher Größenordnung?	Außer in reinen Strategieprojekten müssen wir zumeist eine belastbare ROI-Berechnung durchführen. Ein ROI größer als zwei bis drei Jahre wird i.d.R. nicht mehr akzeptiert.	Liefererfüllung von 76 % auf 97 % erhöht und Materialreichweite um zwei Tage reduziert. Weitere Ziele sind kürzere Durchlaufzeiten, stabilere Materialversorgung und belastbare Steuerung. Die Wirkung ist projektspezifisch; keine pauschale Erfolgsgarantie.
Wie ist Ihr Beraterteam fachlich zusammengesetzt (IT, OT, Ingenieurwesen, Change Management)?	Reines Senior Consulting, IT und Ingenieure	Kernteam aus Prozess- und Organisationsberatung mit Erfahrung in Produktion, Logistik, Supply Chain, ERP, Projektmanagement, Change und Foresight. Ergänzung durch ein interdisziplinäres Netzwerk; technische IT-/OT-Spezialrollen werden projektbezogen rekrutiert.
Wo sehen Sie Ihre besonderen USPs im Vergleich zu anderen Smart-Factory-Beratungen?	Reines Senior Consulting. Dabei unterstützt HIR Industrieunternehmen bei den Digitalisierungsstrategien und der operativen Gestaltung ihrer Produktionsprozesse mit den entsprechenden IT-Systemen im ERP-/SCM-/PPS- und MES-Umfeld. Bei diesen Themen genießt die HIR einen exzellenten Ruf als …	Unser USP liegt in der Verbindung von operativer Prozesskompetenz und Zukunftsgestaltung. Wir betrachten Smart Factory nicht als reines Technologieprojekt, sondern verbinden Shopfloor, Prozesse, ERP, Organisation und Führung. Mit unserem Ansatz „verstehen – verbessern – verankern“ schaffen wir Lösungen, die im Alltag …
Wie groß sind die typischen Kundenunternehmen, die Sie beraten?	Gehobene mittelständische Unternehmen und Konzerne	Kleine und mittlere Unternehmen, wachsende Industrieunternehmen sowie Werke und Geschäftsbereiche größerer Unternehmensgruppen; Schwerpunkt auf Produktion und Logistik

Smart Factory Consulting

Logivations GmbH	Potsdam Consulting Advisory GmbH	Profil M Beratung für Human Resources Management GmbH und Co. KG
Smart-Factory-Beratung der Logivations GmbH	**Smart Factory Consulting der Potsdam Consulting Advisory GmbH**	**Smart Factory Consulting von Profil M Beratung für Human Resources Management GmbH und Co. KG**
		
KPI-Dashboard, Schulung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Lieferkettenrisiko, Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Schulung, Umsetzung
Wir arbeiten eng mit den Menschen vor Ort: Aufnahme der realen Abläufe gemeinsam mit den Mitarbeitenden, Visualisierung der geplanten Änderungen im 3D-Modell als gemeinsame Diskussionsgrundlage und schrittweise Einführung mit Pilotbereichen. Messbare Kennzahlen machen Verbesserungen sichtbar. Schulung und ...	Umfangreiches Change Management, Beteiligung der Mitarbeiter an Konzept und PoC, umfangreiche Evaluierung in der Praxis, Gespräche mit dem Betriebsrat	Wir qualifizieren und unterstützen die Führungskräfte im Change Management.
Bis zu +10 bis 24 % mehr nutzbare Lagerplätze/-fläche durch KI-gestützte Layoutoptimierung, bis zu -40 % Bearbeitungszeit bei KI-Identifikationsarbeitsplätzen, bis zu +10 % AMR-Produktivität durch optimiertes Ladekonzept	OEE-Steigerung, Produktivitätssteigerung ohne Kapazitätserweiterung, Steigerung von Flexibilität, Resilienz und Wettbewerbsfähigkeit	Profil M ist keine technische Implementierungsberatung, sondern begleitet die Führungs-, Organisations- und Transformationsseite solcher Vorhaben. Daher bestehen die Ergebnisse in einer nachhaltigen Implementierung der Veränderungen.
Interdisziplinäres Team aus Logistik-/Wirtschaftsingenieuren und Softwareentwicklern; kein dediziertes Change-Management-Team	IT, OT, Informatik, Wirtschaftsinformatik, Ingenieurwesen	Unser Beraterteam ist interdisziplinär aufgestellt, mit Schwerpunkten in Psychologie, Betriebswirtschaft, HR, Leadership und Change Management. Technische IT-/OT- und Engineering-Themen bearbeiten wir gemeinsam mit den Fachexperten des Kunden bzw. spezialisierten Partnern.
Wir beraten nicht nur, wir liefern die Werkzeuge mit: W2MO ist unsere eigene Plattform, sodass Konzepte direkt im Digitalen Zwilling simuliert, bewertet und anschließend produktiv betrieben werden. Dazu kommen tiefe Algorithmen- und KI-Kompetenz, kamerabasierte Objektlokalisierung für reale Bewegungsdaten statt ...	Wir denken Geschäftsprozesse End-to-End durch und realisieren diese von ERP bis IIOT.	Unser USP liegt nicht in der technischen Smart-Factory-Beratung, sondern in der „People Dimension“ der Transformation: Wir verbinden fundierte Leadership-Diagnostik, Führungskräfteentwicklung und Change-Kompetenz und unterstützen Unternehmen dabei, Führung und Zusammenarbeit gezielt auf neue Arbeitswelten ...
Von mittelständischen Fertigungs-/Logistikunternehmen bis zu internationalen Konzernen (Handel, Konsumgüter, Pharma, Industrie)	150 bis über 14.000 Mitarbeiter	Unternehmen mit über 5.000 Mitarbeitern

Unternehmen	Reissenweber GmbH	ROI-EFESO Management Consulting AG
Plattform	**Smart Factory Consulting von Reissenweber GmbH**	**Smart Factory Consulting von ROI-EFESO Management Consulting AG**
		
Beratungsangebot	Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, CO_2-Reduzierung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Penetrationstest, Lieferkettenrisiko, Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, CO_2-Reduzierung, Reifegradanalyse, Umsetzung
Wie gestalten Sie den Change-Management-Prozess auf dem Shopfloor?	Über das persönliche„Wofür“: Jede Ebene versteht ihren konkreten Nutzen; kleine, machbare Schritte statt Big Bang; Verantwortung zwischen Instandhaltung und Produktion teilen.	Bewertung der Change Readiness von Stakeholdern und Belegschaft, Leadership Enablement, People Adoption und Capability Building. Auf dem Shopfloor über strukturiertes Shopfloor Management, Policy Deployment und Instruction-Behavior-Consequence, ergänzt um Population Involvement und Human-AI-Collaboration für …
Was sind typische Ergebnisse Ihrer Projekte (z. B. OEE-Steigerung, Kostensenkung) und in welcher Größenordnung?	Typisch: höhere Anlagenverfügbarkeit, weniger wiederkehrende Störungen und Feuerwehreinsätze, freigesetzte Kapazitäten – in einem Fall bis zu 20% weniger Stillstand ohne IT-Großprojekt.	Messbare Kosten- und Leistungseffekte. z. B.: +5 % Anlagenauslastung, +8 % Service Level, -90 % Planungszeit, -5 % Bestände/Working Capital sowie ca. -40 % IT-Kosten (TCO). , In der Qualität: 95-100 % Fehlererkennung, 30-50 % weniger Prüfkosten und bis zu 90 % Einsparung bei manuellen Kontrollen. Die Größenordnung ist projektabhängig.
Wie ist Ihr Beraterteam fachlich zusammengesetzt (IT, OT, Ingenieurwesen, Change Management)?	Einzelunternehmen mit 25+ Jahren Erfahrung an der Schnittstelle Instandhaltung/Produktion/IT; bei Bedarf Einbindung eines Partnernetzwerks.	Interdisziplinäre Teams aus 500+ Beratern mit Hands-on-Industrieerfahrung, ergänzt um Engineering-/Produktions-, IT-/OT- und Data-Engineering-Expertise. Kompetenzen von Solution Architecture, Process & Application Alignment und Vendor Management bis Change Management, Organisation & Governance.
Wo sehen Sie Ihre besonderen USPs im Vergleich zu anderen Smart-Factory-Beratungen?	Der Praktiker in Umsetzung und Analyse: Ich hole die Instandhaltung aus der Kostenstellen-Ecke ins Sichtfeld der Entscheider und mache sie als Werttreiber sichtbar. KI setze ich nach dem Prinzip „erst Klarheit, dann Tool“ ein – Praxis statt Pilotfriedhof, mit direkter Wirkung im Betrieb statt PowerPoint-Konzepten.	EFESO verwirklicht Smart Factories von der Planung bis zum Betrieb: praxisnah, gemeinsam mit den Kunden und mit einem Fokus auf messbare Performance-, EBIT- und Cash-Effekte.
Wie groß sind die typischen Kundenunternehmen, die Sie beraten?	Vom industriellen Mittelstand bis zum Konzern; Schwerpunkt produzierende Industrie, u. a. Automotive und Maschinen-/Anlagenbau.	Größenordnung beim Umsatz: 500 Mio. EUR p. a. und aufwärts

Smart Factory Consulting

Steger IT-Systeme	Technologie-Initiative SmartFactory KL e. V.	umbrella.associates GmbH
Smart Factory Consulting von Steger IT-Systeme	**Smart Factory Consulting von Technologie-Initiative SmartFactory KL e. V.**	**Smart Factory Consulting von umbrella.associates GmbH**
		
Penetrationstest, Lieferkettenrisiko, Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, CO_2-Reduzierung, Reifegradanalyse, Umsetzung, OT-Sicherheit	Data Governance, KPI-Dashboard, Schulung, Reifegradanalyse, Umsetzung	Penetrationstest, Business Continuity, Lieferkettenrisiko, Data Governance, Schulung, Umsetzung, OT-Sicherheit
End-to-End von früher Aufnahme der Anwenderbedarfe bis Sicherstellung der Akzeptanz eingeführter Lösungen mit passenden Methoden	Ganzheitlicher Ansatz, projektspezifisch	Pragmatisch und nutzerzentriert: Neue Sicherheits- und Identitätsrichtlinien dürfen Arbeitsabläufe in der Fertigung nicht blockieren. Wir binden Fachbereiche frühzeitig ein und setzen auf reibungsarme, automatisierte Authentifizierungslösungen, um hohe Akzeptanz bei Meistern und Werkern zu sichern.
Eine pauschale Aussage wäre nicht seriös. Im Bereich MES-Einführung gibt es viele Einsparpotenziale durch MES-Funktionen bspw. zur Steigerung der Liefertreue, der Reduktion von Nacharbeit und Ausschuss, der Minimierung von Rüstzeiten, der Reduktion von Beständen, der Transparenz und Steigerung von OEE, der Reduktion ...	F&E; Kostensenkung durch Automatisierung	Ergebnisse liegen primär in Cyber-Resilienz und Risikominimierung: Lückenlose Auditierbarkeit von Zugriffen auf Steuerungen, Beseitigung fehleranfälliger statischer Passwörter durch kryptografische Maschinenidentitäten, Verhinderung unbefugter Datenmanipulation sowie Auditfähigkeit nach NIS2 und CRA.
adesso hat mehr als 11.500 Mitarbeitende. Darunter: 1. eine Vielzahl von Softwareentwicklern/Softwarearchitekten (IT) für jegliche Tech-Stacks/Technologien, 2. Ingenieure mit tiefem OT-Know-how über Fertigungs- und Montageprozesse sowie Produktionsanlagen, 3. Branchenexperten ...	IT, OT, Ingenieurswesen, strategisches Management	Boutique-Team aus IT/OT-Sicherheitsarchitekten, IAM/IGA-Spezialisten und Ingenieuren mit fundiertem Praxisverständnis für industrielle Prozesse und Shopfloor-Anforderungen. Wir agieren als Übersetzer und Integrator zwischen IT und OT.
adesso kann Software und Produktion: von der Strategie über die Umsetzung bis zum Betrieb – alles aus einer Hand! Dabei verbindet als führender IT-Dienstleister Exzellenz für Softwareentwicklung mit dem spezifischen Branchen- und Prozess-Know-how.	1. Modellfabrik zur direkten Erprobung an industrieller Hardware, 2. Innovative Konzepte aus der Wissenschaft demonstriert an industrieller Hardware , 3. Wissenschaftliches Know-how in Kombination mit den Industrieexperten aus dem Verein, 4. Innovative Konzepte/Prototypen , 5. Geburtsstätte der ...	Während klassische Beratungen den Fokus primär auf Prozessoptimierung legen, schließen wir die kritische Sicherheitslücke vernetzter Produktionen: Wir etablieren kryptografische Identitäten. Durch herstellerunabhängige Standards, feingranulare Autorisierung und die Ablösung statischer Secrets machen wir ...
von KMU bis globale Großunternehmen	Die Beratungsdienstleistung wird maßgeblich Großunternehmen oder dem großen Mittelstand angeboten. Vereinzelte Kunden sind jedoch auch kleiner.	Die Kundenunternehmen reichen von kleinen und mittleren KMU bis hin zu Großkonzernen mit der Verwaltung von sechsstelligen Identitätszahlen.

Erwähnte Unternehmen

A

ABB (B&R) 32, 48

Abels & Kemmner Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH 82

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e. V. 25

AGCO Corporation 48

Aicep Portugal Global 86

August-Wilhelm Scheer Institut gGmbH 61, 96

B

bdf consultants GmbH 82, 87

Becker 4punkt0 ..... 82, 97

Bitkom e. V. 30

bitmi e. V. 47

Bluebird, Inc. 74

BMW AG 33

Bosch Rexroth AG 82, 97

C

Caterpillar, Inc. 22

CG Project Management 82, 87

Circular Economy Initiative (CEI) Deutschland 25

D

Danfoss A/S 48

DECHEMA Ausstellungs-GmbH 99

eco2050 Institut für Nachhaltigkeit GmbH 6, 28

E

Ehrhardt Partner Group 32

Electric Power Group (EPG) 75

Encory GmbH 22

engomo GmbH 96

Europäische Union .. 17, 29, 31, 33, 36, 39, 44, 53, 60, 62

F

Fendt 48

Festo AG & Co. KG 75

Flowing Business GmbH 82, 88

Fraunhofer Austria Research GmbH 82, 89

Fraunhofer IGP 82, 89

Fraunhofer IPA 82, 89

Fraunhofer IPMS 33

Fraunhofer IWU 11

G

GEA Group AG 75

GITO Events 7, 10

GITO mbH Verlag 71, 98

Gorenje 52

GRÜN GQM GmbH 39

H

Haigis Gewichtefertigung GmbH 32

Hannover Messe 81

HEW-KABEL Holding GmbH 74

Hexagon Robotics 33

HIR GmbH 82, 90

Hochschule Ruhr West 36

I

IBM Corporation 33

IFR International Federation of Robotics 29

Industrial Application Software GmbH 13, 96

Industrial Digital Twin Association e. V. (IDTA) 11

Industrial Transformation Lab 96

INNOFACT AG 59

ion3 Prozessmanagement GmbH 82, 90

IQD Frequency Products Ltd 22, 23

K

Karlsruher Institut für Technologie 76

Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH 22

L

Liebherr-Components Biberach GmbH 32

Logivations GmbH 83, 91

Lorenz Messtechnik GmbH 22

M

Mechatronic Cluster 25

Mercedes-Benz AG 40

Mesago Messe Frankfurt GmbH ... 100

MIS Analytics GmbH 82, 88

MWIKE NRW 39

N

Naldera Advisory Services GmbH .. 97

O

One Planet Network 18

P

PlasticsEurope Deutschland e. V. 72

Plattform Industrie 4.0 ..... 28, 31, 45

Potsdam Consulting Advisory GmbH 65, 83

Procter & Gamble (P&G) 32

Profil M Beratung für Human Resources Management GmbH und Co. KG 83, 91

PSI Software SE 97

R

Red Hat 25, 33

Reissenweber GmbH 83, 92

Renault 22

Ricoh 22

ROI-EFESO Management Consulting AG 83, 92

Rosenbauer Deutschland GmbH 22

Rubix Switzerland AG 75

S

Scalian Germany AG 48

Shopware AG 48

Siemens AG 2, 6, 8, 75, 89

Signals & Images Lab (SI-Lab) 30

SKF Group 22

SmartFactory KL e. V. 83, 93

Steger IT-Systeme 83, 93

T

TAC Insights GmbH 31

TAE – Technische Akademie Esslingen e.V. 19

Torwegge GmbH & Co. KG 74

trawa - Future Energy Services GmbH 58

Trumpf SE + Co. KG 11

TSC Auto ID 74

U

umbrella.associates GmbH 83, 93

V

Valtra 48

VITO 62

VLEXsoftware gmbh 49

W

Walter AG 32

World Business Council for Sustainable Development 18

X

xerox Corporation 22

Z

ZF Friedrichshafen AG 22

ZVEI e. V. 46


FACTORY
INNOVATION
Anbieterportal
Anzeige
Das große Suchportal online: Orientierung und Durchblick für Entscheider. Mühelos Firmen nach Lösungen und Branchen finden.

Anbieterportal

August-Wilhelm Scheer Institut für digitale Produkte und Prozesse gGmbH

Uni Campus Nord D 5 1
66123 Saarbrücken

www.aws-institut.de/digitale-loesungen/datamapping/

Wer wir sind:

Gemeinnütziges Forschungsinstitut für digitale Produkte und Prozesse. Seit 2014 entwickeln wir mit Unternehmen digitale Produkte, Prozesse und digitale Geschäftsmodelle – wissenschaftlich fundiert, praxisnah, branchenübergreifend.

Unsere Leistungen:

Forschung, Beratung & Co-Innovation in sechs Themen (u. a. AI & Digital Twins, Business Architecture, Data-Driven Innovation). Leistungen: Digitalstrategie, Skill-Werkstatt, Testumgebungen, Prototypenfabrik, Co-Innovation.

Bosch Rexroth AG

Unterdürrbacher Straße 10
97080 Würzburg

www.boschrexroth.com

Wer wir sind:

Die Bosch Rexroth Academy ist Ihr Weiterbildungspartner im Bereich Automatisierung industrieller und mobiler Applikationen. Training mit Digitalisierung, Nachhaltigkeit und Spitzentechnologie im Fokus.

Unsere Leistungen:

Anwendungs- und zielorientiert gestaltetes Training auf Basis von im Arbeitsalltag bekannten Herausforderungen. Die Academy bietet individualisierte Trainingssysteme mit originaler Industrietechnik.

Industrial Application Software GmbH

Zimmerstr. 3
76137 Karlsruhe

www.canias.com

Wer wir sind:

Als Industrial Application Software mit über 400 Mitarbeitern und >35 Jahren Erfahrung unterstützen wir Unternehmen in diversen Branchen – unsere Lösung Canias wird in >30 Ländern von über 70.000 Anwendern täglich genutzt.

Unsere Leistungen:

Die IAS ist spezialisiert auf ERP-Lösungen, Automatisierung, IoT und Business-Intelligence-Lösungen. Wir arbeiten mit Leidenschaft für die digitale Transformation unserer Kunden.

Industrial Transformation Lab (InTraLab)

Karl-Marx-Str. 67
14482 Potsdam

www.lswi.de/industrie-40-labor

Wer wir sind:

InTraLab ist die Lernfabrik der Uni Potsdam. Wir bündeln Automatisierung, Logistik, Robotik und IT in einer Produktionsumgebung und machen Smart-Factory-Szenarien für Unternehmen erlebbar.

Unsere Leistungen:

Schulungen zu schlanken digitalen Prozessen, KI und Abwehr von Cyber-Bedrohungen. Test und Bewertung neuer Produkte, Software und Produktionskonzepte in der Lernfabrik. Gemeinsame Forschung und praxisnahe Pilotierung.

engomo GmbH

Marktstraße 52
72458 Albstadt

www.engomo.com

Wer wir sind:

Über 500 Unternehmen setzen auf engomo, um missionskritische Prozesse in Produktion und Lager zu digitalisieren. Das Ergebnis sind skalierbare Enterprise Apps für effiziente, integrierte Abläufe.

Unsere Leistungen:

Die engomo-Plattform vereint promptbasiertes App-Building mit LowCode für Industrieprozesse – für schnelle Umsetzung, klare Governance und sichere Integration in die bestehende Systemlandschaft.

Naldera Advisory Services

Kaiserdamm 23
14057 Berlin

www.nalderaservices.com

Wer wir sind:

Spezialisiert in Company Change. Wir bieten eine einzigartige Kombination aus Change- und Business-Excellence-Expertise mit branchen- und marktübergreifender Erfahrung. National und international.

Unsere Leistungen:

Strategieberatung, Wachstumsfinanzierung, Unternehmensnachfolge, Mergers & Acquisitions (M&A), Firmenintegration (PMI/PAI), Transformation, Softwareauswahl, Projektmanagement und Prozessexzellenz.

Potsdam Consulting Advisory GmbH

Kaiserdamm 23
14057 Berlin

www.potsdam-consulting.de

Wer wir sind:

Potsdam Consulting Advisory wurde 2009 von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau gegründet, um die in der Forschung gewonnenen Erkenntnisse auf die Praxis übertragen zu können.

Unsere Leistungen:

Strategische Beratung und Trusted Advisory zur Verbesserung der Wertschöpfung, Agilität, Auslastung und Wettbewerbsfähigkeit sowie der Steigerung des Unternehmenswertes und der Anpassungsfähigkeit.

PSI Software SE Business Unit Discrete Manufacturing
(ehemals PSI Automotive & Industry GmbH)

Dircksenstraße 42-44
10178 Berlin

www.psi.de

Wer wir sind:

PSI Discrete Manufacturing ist Experte für die diskrete Fertigung. Mit PSIpenta/ERP + MES, KI und Apps bieten wir smarte Softwarelösungen für durchgängig optimierte Planungs- und Produktionsprozesse.

Unsere Leistungen:

Wir begleiten Unternehmen weit über die ERP/MES-Einführung hinaus: Mit Beratung, Support und Rolling Releases sichern wir den stabilen Betrieb und die zukunftsorientierte Weiterentwicklung.

Präsentieren auch Sie Ihr Unternehmen hier: +49 30 41938364 oder service@gito-verlag.de

Anzeige

FACTORY INNOVATION

Software · Berater · Weiterbildung



Das Factory Innovation Suchportal

Ihre Wahl für Smart Factory, MES/MOM, IIoT, KI u. v. m.

factory-innovation.de

Ausblick



Die nächste Ausgabe der Factory Innovation erscheint im Dezember 2026 mit dem Schwerpunkt:

Edge Computing

Themen u. a.:

- **Milli-Sekunden entscheiden: Wer stoppt zuerst den Ausfall?**
  Wie verkürzen Edge-Lösungen die Reaktionszeit bei Störungen?
- **Planen Maschinen bald die Produktion selbst?**
  Welche Vorteile ergeben sich für die Produktionsplanung?
- **Künstliche Intelligenz zieht auf den Shopfloor ein**
  Wie lassen sich KI-Anwendungen direkt auf Maschinen ausführen?
- **Cloud oder Edge – wer bekommt die Datenmacht?**
  Wer entscheidet, welche Daten lokal gespeichert werden und was in die Cloud wandert?
- **100 Prozent uptime: Ist Edge wirklich unverwundbar?**
  Wie wird die Ausfallsicherheit dezentraler Systeme sichergestellt?
- **Edge trifft Oldtimer – Wer passt sich wem an?**
  Welche Herausforderungen bestehen bei der Einbindung in ältere Anlagen?
- **Update-Chaos auf der Werkbank: Wer behält Kontrolle?**
  Wie werden Softwareupdates für Edge Devices verwaltet?
- **Wo minimiert Edge Verschwendung in der Fabrik?**
  Welche Prozessschritte lassen sich durch Edge-Lösungen optimieren?

IMPRESSUM

Herausgeber
Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau, Universität Potsdam

Chefredakteurin
Dr. Hanna Theuer
redaktion@factory-innovation.de
www.factory-innovation.de

Redaktion
Florian Goldmann
Marie Strunze
Lisa Markert
Andrea Wollweber

Nachrichtenredaktion
nachrichten@gito.de

Anzeigen
GITO mbH Verlag
Kaiserdamm 23
14057 Berlin
Tel.: +49 30 419383-64

Bezugsbedingungen
Factory Innovation erscheint sechsmal jährlich.

Abonnementpreis 2025
Alle Abonnements finden Sie unter
factory-innovation.de/abonnements

Einzelpreis: 29,90 €

Verlag und Vertrieb
GITO mbH – Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation
Kaiserdamm 23, 14057 Berlin
Tel.: +49 30 419383-64

2026 GITO mbH – Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation
6. Jahrgang 2026

ISSN: (Print) 2749-7593 – (Online) 2749-7607

Die Zeitschrift und alle in ihr enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Mit Ausnahme der gesetzlich zugelassenen Fälle ist eine Verwertung ohne Einwilligung des Verlages strafbar.

Der Verlag behält sich eine Nutzung seiner Inhalte für kommerzielles Text- und Data-Mining im Sinne von § 44b UrhG ausdrücklich vor. Für den Erwerb eines entsprechenden Nutzungsrechts wenden Sie sich bitte an service@gito.de.

Layout/Satz/Titelgrafik
Nicole Kappe, E-Mail: service@gito.de

Lektorat und Korrektorat
Dr. Ulrich Korn

Druck
Silber Druck GmbH & Co. KG

EDITED IN GERMANY
LAYOUTED IN GERMANY
PRINTED IN GERMANY

GITO achtet und respektiert Diversität. In unseren Medien wird für Personen- und Berufsbezeichnungen das generische geschlechtsneutrale Maskulinum verwendet. Diese Sprachform schließt wertungsfrei alle Geschlechter ein.

Anzeige

ACHEMA 2027

World Forum and Leading Show for Life Science and Process Industries

Become an Exhibitor!

Register now for best placement.



14 – 18 June 2027

Frankfurt am Main, Germany

www.achema.de

Anzeige



Messe Frankfurt Group

mesago

sps

24 – 26.11.2026
NUREMBERG, GERMANY

Spot the World of Industrial AI

See you at the SPS!

Smart synergy sparks intelligence.
The clever integration of industrial AI with solutions for drive and sensor technology, software, and industrial communication is driving automation forward with unerring precision.

Track down a world of possibilities at the **SPS – Smart Production Solutions**, the international trade fair for automation.

Create the Future with Automation

sps-exhibition.com