

Zukunft industrieller Wertschöpfungssysteme

Sicht deutscher Industrieunternehmen



Inhalt

Industrielle Wertschöpfungssysteme im Wandel	4
Zwischen Aufbruch und Blockade	6
Status quo industrieller Wertschöpfungssysteme	7
Trends und Konsequenzen	9
Offene vs. proprietäre Wertschöpfungssysteme	9
Orchestrierende vs. produzierende Unternehmen	10
Überwachendes vs. ausführendes Personal	11
Die Zukunft der Wertschöpfungssysteme 2035+	12
Ein neues Verständnis für zukünftige industrielle Wertschöpfungssysteme	13
Relevante Stakeholder	16
Gestaltungsschwerpunkte	17
Gestaltungskontext	19
Von der Vision zur Forschungsagenda	20
Ableitung von Forschungsfragen	21
Kurzfristiger Handlungsbedarf (<1 Jahr)	22
Mittelfristiger Handlungsbedarf (<3 Jahre)	24
Neuer Kurs, festgelegt durch die Industrie	26
Fazit und Ausblick	27
Anhang	32
Kontakt und Bildverzeichnis	38



DESMA

dormakaba



KOSTAL



MURTFELDT

**SEW
EURODRIVE**



VOITH

wilo

Projektleitung:



Unterstützt durch:



Industrielle Wertschöpfungssysteme im Wandel

Wie Unternehmen auf technologische, gesellschaftliche und geopolitische Umbrüche reagieren – und neue Chancen für nachhaltige Wettbewerbsfähigkeit erschließen

Die industrielle Wertschöpfung befindet sich in einem tiefgreifenden Wandel, der durch technologische Innovationen, geopolitische Veränderungen und gesellschaftliche Erwartungen getrieben wird. Traditionelle, linear organisierte Produktionsprozesse entwickeln sich zunehmend zu flexiblen, stark vernetzten und nachhaltigen Wertschöpfungssystemen.

Herausforderungen und Chancen

Treiber dieser Transformation sind insbesondere die Digitalisierung, die Automatisierung sowie Konzepte zur Kreislaufwirtschaft und nachhaltigen Produktionsweisen. Unternehmen sehen sich dadurch mit erheblichen Herausforderungen konfrontiert, während sich zugleich neue Chancen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit ergeben. Neue Geschäftsmodelle, die auf Ressourceneffizienz, Emissionsreduktion und einer ganzheitlichen Betrachtung der Produktlebenszyklen basieren, gewinnen so zunehmend an Bedeutung. Gleichzeitig ermöglichen aufstrebende Technologien wie Künstliche Intelligenz und das Internet der Dinge die Optimierung von Produktions- und Entscheidungsprozessen sowie eine erhöhte Transparenz entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dem gegenüber stehen geopolitische Verschiebungen, insbesondere in Bezug auf

Handelsbeziehungen und regulatorische Anforderungen, welche zusätzlichen Druck auf die Gestaltung der globalen Lieferketten ausüben. Infolgedessen rücken im Sinne einer gestärkten Resilienz insbesondere lokale Produktionsansätze und eine strategisch diversifizierte Lieferantenstruktur in den Mittelpunkt unternehmerischer Überlegungen. Auch gesellschaftliche Erwartungen unterliegen einem Wandel: Konsumenten legen zunehmend Wert auf ethische und nachhaltige Produktionspraktiken. Unternehmen sind daher gefordert, nicht nur ihre wirtschaftliche Rentabilität zu sichern, sondern auch soziale Verantwortung und ökologische Nachhaltigkeit stärker in den Fokus zu rücken. Diese Veränderungen erfordern eine umfassende Anpassung der Unternehmensstrategien, um langfristig erfolgreich und zukunftsfähig zu bleiben. Für zahlreiche Unternehmen stellt die konkrete Ausgestaltung zukünftiger Wertschöpfungssysteme weiterhin eine strategische Herausforderung dar, die mit Unsicherheiten hinsichtlich regulatorischer, technologischer und ökologischer Rahmenbedingungen verbunden ist. Gleichzeitig lässt sich jedoch beobachten, dass Unternehmen zunehmend Verantwortung übernehmen und Nachhaltigkeitsanforderungen nicht nur als Pflicht, sondern als potenzielle Innovations- und Differenzierungstreiber begreifen.

Drei Treiber des Wandels:

1. Digitalisierung
2. Automatisierung
3. Kreislaufwirtschaft



Die teilnehmenden Unternehmen waren zu unterschiedlichen Zeitpunkten in das Projekt involviert: Am ersten Informationstermin (05.11.2024) nahmen Klöckner & Co, KSB, thyssenkrupp, WILO und ein weiteres Unternehmen teil. Beim zweiten Informationstermin (28.11.2024) waren dormakaba, KOSTAL, Miele, Murfeldt und VOITH vertreten. Die beiden Workshop-Termine am 03. bis 04.02.2025 wurden von DESMA, dormakaba, Klöckner & Co, KOSTAL, KSB, Miele, Murfeldt, thyssenkrupp, WILO und einem weiteren Unternehmen begleitet. An der anschließenden Evaluation der Zwischenergebnisse (25.03.2025) beteiligten sich alle angefragten Unternehmen. Im gesamten Prozess waren 14 Unternehmen beteiligt.

Methodischer Rahmen

Um ein gemeinsames Verständnis zukünftiger Wertschöpfungssysteme und damit verbundener Forschungsfragen zu erlangen, führte das Fraunhofer ISST mit Unterstützung vom Fraunhofer IAO und des Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) zunächst zwei Informationsveranstaltungen mit relevanten Vertretern deutscher Industrieunternehmen durch. Die Gespräche dienten der Vorbereitung eines zweitägigen Workshops, welcher der systematischen Identifikation und Beschreibung zentraler Elemente zukünftiger Wertschöpfungssysteme diene. Die Erarbeitung der Ergebnisse erfolgte dabei in einem mehrstufigen Prozess. Zunächst erfassten die Teilnehmer den Status quo heutiger Wertschöpfungssysteme vor dem Hintergrund bereits genannter Themen aus den Informationsveranstaltungen, um eine fundierte Ausgangsbasis zu schaffen. Darauf aufbauend erfolgte eine Untersuchung zukünftiger Trends, welche die Systeme beeinflussen werden. Mithilfe von Future Value Creation Canvas entstanden anschließend mögliche Szenarien für künftige Wertschöpfungssysteme, aus denen sich schlussendlich zentrale Forschungsfragen ableiten ließen. Methodisch basierte der Prozess auf der Ableitung von

Thesen und Zukunftsideen aus dem aktuellen Stand von Forschung und Technik, ergänzt durch eine qualitative Inhaltsanalyse zur Entwicklung der Forschungsagenda. Eine erste Reflexion der erarbeiteten Ergebnisse fand am 24. und 25. Februar 2025 in der Forschungsklausur der Plattform Industrie 4.0 statt. Am 25. März folgte dann ein Termin mit den Teilnehmenden, in dem eine erste Skizze zum Wertschöpfungssystem der Zukunft gemeinsam evaluiert wurde.

Ziel und Ausblick des Berichts

Der vorliegende Bericht fasst die bisherigen Arbeitsergebnisse zusammen und bietet einen Ausblick auf die zukünftige Entwicklung industrieller Wertschöpfungssysteme aus Sicht deutscher Industrieunternehmen. Er beleuchtet wichtige, zukünftige Veränderungen in Wertschöpfungssystemen und zeigt auf, welche Chancen und Herausforderungen sich daraus ergeben. Dabei stehen technologische Innovationen, neue Geschäftsmodelle sowie sich wandelnde regulatorische und gesellschaftliche Rahmenbedingungen im Fokus.

Strategische Herausforderung

Die Ausgestaltung künftiger Wertschöpfungssysteme ist für viele Unternehmen noch mit Unsicherheiten verbunden – bietet aber auch erhebliches Potenzial.

Zwischen **Aufbruch** und **Blockade**

Eine Analyse des Status quo
und der zentralen Herausforderungen für die Industrie



Status quo industrieller Wertschöpfungssysteme

Die Ableitung konkreter Entwicklungsperspektiven für industrielle Wertschöpfungssysteme setzt eine genaue Betrachtung des aktuellen Stands sowie der zentralen Herausforderungen, Einflussfaktoren und Trends voraus. Die folgenden Abschnitte liefern hierzu einen strukturierten Überblick.

SWOT-Analyse als Standortbestimmung

Zur Einschätzung der aktuellen Ausgangslage industrieller Wertschöpfungssysteme wurde eine SWOT-Analyse herangezogen, die zentrale Stärken, Schwächen sowie Chancen und Risiken aus Sicht der Industrieunternehmen systematisch erfasst. Die Analyse basiert auf den Ergebnissen der Informationsveranstaltungen im Vorfeld des Workshops und zeigt zentrale Faktoren auf, die für die Wettbewerbsfähigkeit und Zukunftsfähigkeit der Industrie von Bedeutung sind.

Erfolgsfaktoren und strukturelle Schwächen im Fokus

Zu den wesentlichen *Stärken* heutiger industrieller Wertschöpfungssysteme zählen insbesondere die leistungsfähigen und vertrauensvollen Partnerschaften innerhalb bestehender Wertschöpfungsketten sowie eine ausgeprägte fachliche Kompetenz deutscher Unternehmen in Schlüsselbranchen. Ein weiterer Erfolgsfaktor ist der gezielte Einsatz von Standards und Industrie 4.0-Technologien, allen voran das Internet of Things, welches die Digitalisierung und Effizienz von

Produktionsprozessen maßgeblich vorantreibt. Darüber hinaus stärkt die Beteiligung an europäischen Großprojekten sowohl die Wettbewerbsfähigkeit als auch die Datensouveränität deutscher Unternehmen im internationalen Kontext. Die hohe Qualität deutscher Innovationen, insbesondere im Bereich von Neuentwicklungen, stellt einen zusätzlichen, entscheidenden Wettbewerbsvorteil dar. Demgegenüber gibt es Herausforderungen durch *Schwächen*, die das volle Potenzial der Wertschöpfungsnetzwerke einschränken. Kulturelle Unterschiede innerhalb internationaler Kooperationen sowie auch in internen Unternehmenskulturen stellen häufig eine Barriere dar. Unternehmen bremsen sich darüber hinaus oft selbst durch ineffiziente interne Prozesse und Strukturen in der Umsetzung innovativer Ansätze aus. Fehlende Ressourcen erschweren zusätzlich die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben, während technologische Rückstände im globalen Vergleich einen Wettbewerbsnachteil darstellen. Eine unzureichende Vorbereitung im internen Datenmanagement erschwert ebenfalls die kollaborative Zusammenarbeit und die hohe Abhängigkeit von globalen Lieferketten macht Unternehmen anfällig für Störungen.



Die SWOT-Analyse ist ein strategisches Werkzeug zur Bewertung der aktuellen Ausgangslage. Sie betrachtet systematisch: Strengths (Stärken), Weaknesses (Schwächen), Opportunities (Chancen) und Threats (Risiken). Ziel ist es, interne Potenziale und externe Einflussfaktoren sichtbar zu machen – als Basis für fundierte strategische Entscheidungen.

	Stärken	Schwächen
Interne Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Starke Partnerschaften innerhalb bestehender Wertschöpfungsketten Ausgeprägte Kompetenz in Schlüsselbranchen Einsatz von Standards und I4.0-Technologien, wie z.B. IoT Etablierte europäische Großprojekte mit deutscher Beteiligung zur Förderung der Wettbewerbsfähigkeit und Datensouveränität Qualität der deutschen (Neu-)Entwicklungen 	<ul style="list-style-type: none"> Kulturelle Unterschiede als Barrieren für die fortschreitende Operationalisierung Unternehmen sabotieren sich durch die eigenen Prozesse und Strukturen in den Umsetzungen selbst Fehlende Ressourcen zur Umsetzung gesetzlicher Vorgaben Technologischer Rückstand im globalen Vergleich Mangelnde Readiness des internen Datenmanagements als Hindernis für die kollaborative Zusammenarbeit Anfälligkeit gegenüber Störungen in globalen Lieferketten
	Chancen	Risiken
Externe Faktoren	<ul style="list-style-type: none"> Entwicklung neuer, datenbasierter Geschäftsmodelle und Dienstleistungen Verbesserung der Nachhaltigkeit durch optimierte Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft Erschließung neuer Märkte/Kunden durch innovative Angebote und Plattformökonomie Förderung von Open Source-Lösungen und branchenübergreifender Zusammenarbeit 	<ul style="list-style-type: none"> Zunehmende geopolitische Spannungen und Handelskonflikte Abhängigkeit von globalen Lieferketten und Rohstoffmärkten Datenschutz- und Sicherheitsbedenken bei zunehmender Vernetzung Herausforderungen bei der Standardisierung und Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen

Chancen nutzen

Risiken steuern

Trotz dieser Herausforderungen ergeben sich zahlreiche *Chancen*, die zur Weiterentwicklung industrieller Wertschöpfungsnetzwerke beitragen können. Die Entwicklung neuer, datenbasierter Geschäftsmodelle und Dienstleistungen eröffnet Potenziale für zusätzliche Wertschöpfung. Eine optimierte Ressourcennutzung und Kreislaufwirtschaft soll für nachhaltigere und effizientere industrielle Prozesse sorgen. Durch innovative Angebote und Plattformökonomie können neue Märkte und Kundengruppen erschlossen werden. Zudem bieten Open-Source-Lösungen die Möglichkeit, branchenübergreifende Kooperationen zu stärken und Synergien zu nutzen.

Den positiven Entwicklungsmöglichkeiten stehen jedoch auch verschiedene *Risiken* gegenüber. Zunehmende geopolitische Spannungen und Handelskonflikte können die Stabilität der globalen Wertschöpfungsketten gefährden. Die Abhängigkeit von internationalen Rohstoffmärkten stellt eine weitere Unsicherheit dar. Mit der steigenden Vernetzung wachsen zudem Datenschutz- und Sicherheitsbedenken, die das Vertrauen in digitale Lösungen beeinträchtigen könnten. Schließlich stellen die Standardisierung und Interoperabilität zwischen verschiedenen Systemen eine große Herausforderung dar, da fehlende Kompatibilität die Effizienz und Integration neuer Technologien erschweren kann.

Trends und Konsequenzen

Auf Basis der bestehenden Stärken und Schwächen sowie der identifizierten Herausforderungen wird deutlich, dass sich industrielle Wertschöpfungssysteme in einem tiefgreifenden Wandel befinden. Um zukunftsfähige Strategien entwickeln zu können, ist es entscheidend, zentrale Trends frühzeitig zu erkennen und ihre potenziellen Auswirkungen auf Unternehmen und Wertschöpfungsnetzwerke einzuordnen. Dabei rücken grundlegende Fragen in den Fokus – etwa hinsichtlich der Offenheit von Systemen, der intelligenten Orchestrierung komplexer Wertschöpfungsnetzwerke sowie der zukünftigen Rolle der Mitarbeitenden.

Offene vs. Proprietäre Wertschöpfungssysteme

In der Vergangenheit dominierten vor allem zwei grundlegende Ansätze die Gestaltung von Innovationsprozessen: *Offene* und *proprietäre* Systeme. Offene Systeme basieren auf kollaborativen, transparenten Strukturen, in denen Wissen geteilt, gemeinsame Standards entwickelt und Innovation durch Zusammenarbeit gefördert wird. Im Gegensatz dazu stehen proprietäre Modelle, die auf geschlossenen, kontrollierten Systemen beruhen, bei denen exklusiver Zugriff, Geheimhaltung und Patentschutz im Vordergrund stehen.

Diese klare Trennung wird heutzutage zunehmend durchlässiger (s. [Abbildung 1: Trends und Konsequenzen im Kontext Offen vs. Proprietär im Anhang](#)). Der internationale Wettbewerb verlangt nach neuen Differenzierungsmerkmalen, denn technologische Alleinstellungsmerkmale sind oft nur von kurzer Dauer. Unternehmen sind demnach angehalten neue USPs zu entwickeln – etwa über die Bereiche Vertrieb, Marketing, Qualität oder auch über eine hervorstechende User Experience. In diesem Kontext gewinnt das Prinzip der Offenheit an strategischer Relevanz, insbesondere in Bereichen mit hoher Innovationsfrequenz. Offenheit – in Form von Open-Source-Ansätzen oder offenen Business-Modellen – kann somit helfen, Entwicklungsrisiken zu reduzieren, Innovationsprozesse zu beschleunigen und den Zugang zu externem Wissen zu verbessern. Zugleich ist der offene Umgang jedoch nicht in jeder Phase eines Produktlebenszyklus gleich sinnvoll. Der Offenheitsgrad variiert entlang des Produktlebenszyklus: In der Frühphase dominieren proprietäre Strategien, da neue Entwicklungen geschützt und Wettbewerbsvorteile gesichert werden sollen. Im späteren Verlauf, wenn ein Produkt reift und sein technischer Vorsprung schrumpft, ist es sinnvoll, Wissen zu öffnen.

Denn was einst ein »Gold Nugget« war, wird mit der Zeit zur »Commodity« und somit zum Standardgut, das keinen nachhaltigen Wettbewerbsvorteil mehr bietet. Diese dynamische Balance zeigt sich auch im Umgang mit Produktdaten und geistigem Eigentum. Während Ökosysteme für Produktdaten häufig offen gestaltet sind, um Kompatibilität und Integration zu fördern, bleiben kritische IP-Bestandteile proprietär. Daraus ergibt sich ein hybrides Modell. Unternehmen setzen gezielt auf Offenheit, wo sie Innovation fördert, und auf Kontrolle, wo Schutz notwendig ist. Offene Standards, wie sie in vielen Branchen entstehen, erfordern zudem partizipative Prozesse, was Auswirkungen auf die Unternehmenskultur hat. Der Wandel hin zu mehr Offenheit verlangt von Organisationen, Silodenken zu überwinden und eine Kultur des Teilens und der Zusammenarbeit zu etablieren. Gleichzeitig bleiben bestimmte Bestandteile der Wertschöpfungssysteme geheimhaltungsbedürftig. Doch auch die Patentierung erweist sich in diesem Kontext nicht als universelle Lösung. Sie ist mit erheblichen Kosten und zeitlichem Aufwand verbunden und gewährleistet zudem keinen absoluten Schutz, da technische Schutzrechte beispielsweise durch Umgehungspatente oder langwierige Prüfungsverfahren in ihrer Wirksamkeit eingeschränkt sein können. Es wird ersichtlich, dass Offenheit und Schutz keine strikt gegensätzlichen Konzepte darstellen, sondern vielmehr komplementäre Elemente einer differenzierten Innovationsstrategie sind. Es ist wichtig, dass der Grad an Offenheit kontextsensitiv und phasenadäquat gesteuert wird. Ziel ist es dabei, Innovationspotenziale bestmöglich auszuschöpfen, Risiken gezielt zu reduzieren und langfristig Wettbewerbsfähigkeit im internationalen Innovationsumfeld zu sichern.

Orchestrierende vs. Produzierende Unternehmen

Das Verhältnis zwischen Orchestrierung und Produktion unterliegt ebenfalls einer Veränderung in modernen Wertschöpfungssystemen. Während beide Konzepte bereits in verschiedenen Ausprägungen etabliert sind, lässt sich ein klarer Trend hin zu einer zunehmenden Bedeutung orchestrierender Strukturen beobachten (s. [Abbildung 2: Trends und Konsequenzen im Kontext Orchestration vs. Produktion im Anhang](#)). Dieser Trend wird insbesondere durch die steigende Produktkomplexität und die zunehmende Individualisierung in hochgradig diversifizierten Märkten verstärkt.

Orchestration, verstanden als die koordinierte Steuerung von Leistungen, Prozessen und Partnern entlang des gesamten Produktlebenszyklus, gewinnt in diesem Kontext an strategischer Relevanz. Diese Entwicklung wird durch die wachsende Nachfrage nach maßgeschneiderten, adaptiven Lösungen vorangetrieben. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, sind technologische Enabler wie Adaptive Manufacturing und digitale Zwillinge essenziell. Sie ermöglichen es, komplexe Produkt- und Prozessdaten zu integrieren und dynamisch auf sich verändernde Marktbedingungen oder Kundenbedürfnisse zu reagieren.

Gleichzeitig bleibt die klassische produktionsorientierte Wertschöpfung, insbesondere bei standardisierten Produkten, relevant. Hier stehen Effizienz, Durchsatz und Pipeline-orientierte Prozesse im Vordergrund, die sich in stabilen Marktumfeldern als besonders leistungsfähig erwiesen haben. Eine einseitige

Fokussierung auf einen dieser Ansätze greift jedoch zu kurz: Zukünftige Wertschöpfungssysteme erfordern vielmehr die kontextsensitive Koexistenz und Integration beider Logiken – abhängig vom Produkttyp, dem Reifegrad der Lösung sowie dem angestrebten Geschäftsmodell.

Zugleich zeigen sich erhebliche Herausforderungen bei der Umsetzung orchestrierter Wertschöpfung. Die gegenwärtige Vielzahl an Plattformen führt zu Inkompatibilitäten, erschwert den Datenaustausch und stellt hohe Anforderungen an Datensicherheit, Datenqualität und Datenschutz (insbesondere im Hinblick auf die DSGVO). Die Effizienz in der Konfiguration und Steuerung des jeweiligen Wertschöpfungsnetzwerks wird damit zu einem kritischen Erfolgsfaktor. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass Unternehmen zunehmend als Gestalter und Koordinatoren komplexer Ökosysteme agieren. Dabei gewinnen Aspekte wie die strategische Fokussierung auf eigene Kernkompetenzen, die unternehmerische Vision sowie die Fähigkeit zur Integration externer Partner und Plattformen an Bedeutung. Rollenbilder wie der »Product Owner als Manager/Agent« oder der »Orchestrator als Generalist« unterstreichen die Transformation traditioneller Produktionslogiken hin zu dynamischen, service- und netzwerkorientierten Geschäftsmodellen.



Überwachendes vs. Ausführendes Personal

Die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung verändern nicht nur die technologischen Rahmenbedingungen von Arbeitsprozessen, sondern auch die Art und Weise, wie Menschen in der Zusammenarbeit mit Künstlicher Intelligenz (KI), Robotik und internen Chatbots agieren. Im Zentrum steht dabei die Frage, wie sich die Rolle des Menschen in der Zusammenarbeit mit Künstlicher Intelligenz, Robotik und internen Chatbots künftig gestalten wird, insbesondere im Hinblick auf die Veränderungen von Aufgabenprofilen, Kompetenzanforderungen und Innovationsfähigkeit.

Ein zentraler Trend ist die Kooperation zwischen Mensch, KI und Robotik, wobei ausführende und überwachende Tätigkeiten zunehmend automatisiert werden. Die Rolle des Menschen verändert sich dadurch grundlegend. Statt selbst auszuführen oder zu kontrollieren, wird der Mensch verstärkt koordinieren, interpretieren und verantworten (s. [Abbildung 3: Trends und Konsequenzen im Kontext Überwachung vs. Ausführung im Anhang](#)). Daraus ergibt sich die Notwendigkeit einer strategischen Orchestrierung von Mensch, Maschine und KI, um Arbeitsprozesse effizient, sicher und innovationsfördernd zu gestalten. Infolge dieser Transformation kommt es zu einer deutlichen Verschiebung der Aufgaben für Mitarbeitende. Der Fokus verlagert sich hin zu persönlichen Wissensgebieten, sozialer Kompetenz und strategischem Denken. Gleichzeitig stellt sich die Herausforderung, wie der notwendige Wissenstransfer zu den automatisierten Instanzen, wie etwa KI-Systemen, gewährleistet werden kann. Die Fähigkeit, Wissen zu vermitteln und digitale Systeme sinnvoll mit Informationen zu versorgen, wird zu einer Schlüsselkompetenz.

Die Einführung interner Chatbots verdeutlicht diese Entwicklung exemplarisch. Mitarbeitende müssen künftig nicht nur lernen, diese Systeme zu bedienen, sondern auch in der Lage sein, deren Ausgaben kritisch zu hinterfragen und zu validieren. Die Sicherstellung eines geeigneten Onboardings und einer kontinuierlichen Weiterbildung wird daher zu einer zentralen organisatorischen Aufgabe. Ein weiteres Spannungsfeld entsteht aus dem rückläufigen Anteil operativer Tätigkeiten, was mit einem potenziellen Verlust praktischen Wissens einhergehen kann. Dies birgt das Risiko, dass wichtige Erfahrungswerte verloren gehen, was wiederum Auswirkungen auf die Innovationskraft haben kann. In Bereichen wie der Konstruktion wird zum Beispiel zunehmend weniger aktiv entwickelt, was die Frage aufwirft, wie auch künftig neue Innovationen entstehen können, wenn der Mensch sich immer stärker von der konkreten Umsetzung entfernt.

Zudem führt die fortschreitende Automatisierung zu einer potenziellen Reduktion der fachlichen Tiefe in technischen Disziplinen, da operative Kompetenzen an Bedeutung verlieren. In der Folge müssen Unternehmen gezielt in zukünftige Skills ihrer Mitarbeitenden investieren, die sowohl technologische als auch soziale und methodische Kompetenzen umfassen, wie die Fähigkeit, KI-Systeme sinnvoll einzusetzen, interdisziplinär zu arbeiten und in dynamischen Umfeldern zu lernen. Die Digitalisierung und Automatisierung von Überwachung und Ausführung ist somit nicht nur eine technologische, sondern vor allem eine organisationale und kulturelle Herausforderung.

Die Zukunft der Wert schöpfungs systeme 2035+

Sicht deutscher
Industrieunternehmen

B2C



Ein neues Verständnis für zukünftige industrielle Wertschöpfungssysteme

Unter Berücksichtigung der derzeitigen Ausgangslage sowie der aufgezeigten Trends formt sich ein neues Verständnis für zukünftige industrielle Wertschöpfungssysteme. Diese umfassen zwar weiterhin zentrale Wertschöpfungsprozesse wie die Produktentwicklung, die Produktion, den Vertrieb und Nutzen sowie das Recycling entsprechender Güter, werden jedoch durch vier zentrale Konzepte geprägt.



Rolle des Menschen

Intuitive Interaktion des Menschen in verschiedenen, dynamisch wechselnden Rollen mit **autonom agierender Technologie** (u.a. Agentic AI)



Daten und KI als Fundament

Vollständige Automatisierung der Daten- und Applikationslandschaft sowie **natürlichsprachliche Interaktion mit dem Unternehmenswissen** durch konsequente Nutzung von KI und digitalen Zwillingen



Nullverbrauchswirtschaft

Vollständige Wiederverwertung von Ressourcen, auch vor dem Hintergrund hoher Unsicherheit auf Beschaffungsmärkten, im Sinne einer **»Total Circular Economy«**



Kundenzentrierte Ökosysteme

Produktionsunternehmen als **Orchestratoren von Kundenökosystemen** und damit Katalysatoren von Kundeninnovation

Gemeinsam bilden diese Gestaltungsschwerpunkte die Basis eines zukunftsfähigen, adaptiven industriellen Wertschöpfungssystems, das sich flexibel an veränderte Rahmenbedingungen anpassen kann (s. Abbildung auf der nächsten Seite). Die beteiligten Stakeholder des zukünftigen Wertschöpfungssystems, die Auswirkungen der Gestaltungsschwerpunkte

sowie der konkrete Einfluss des Gestaltungskontexts, wie demografische oder regulatorische Änderungen, werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

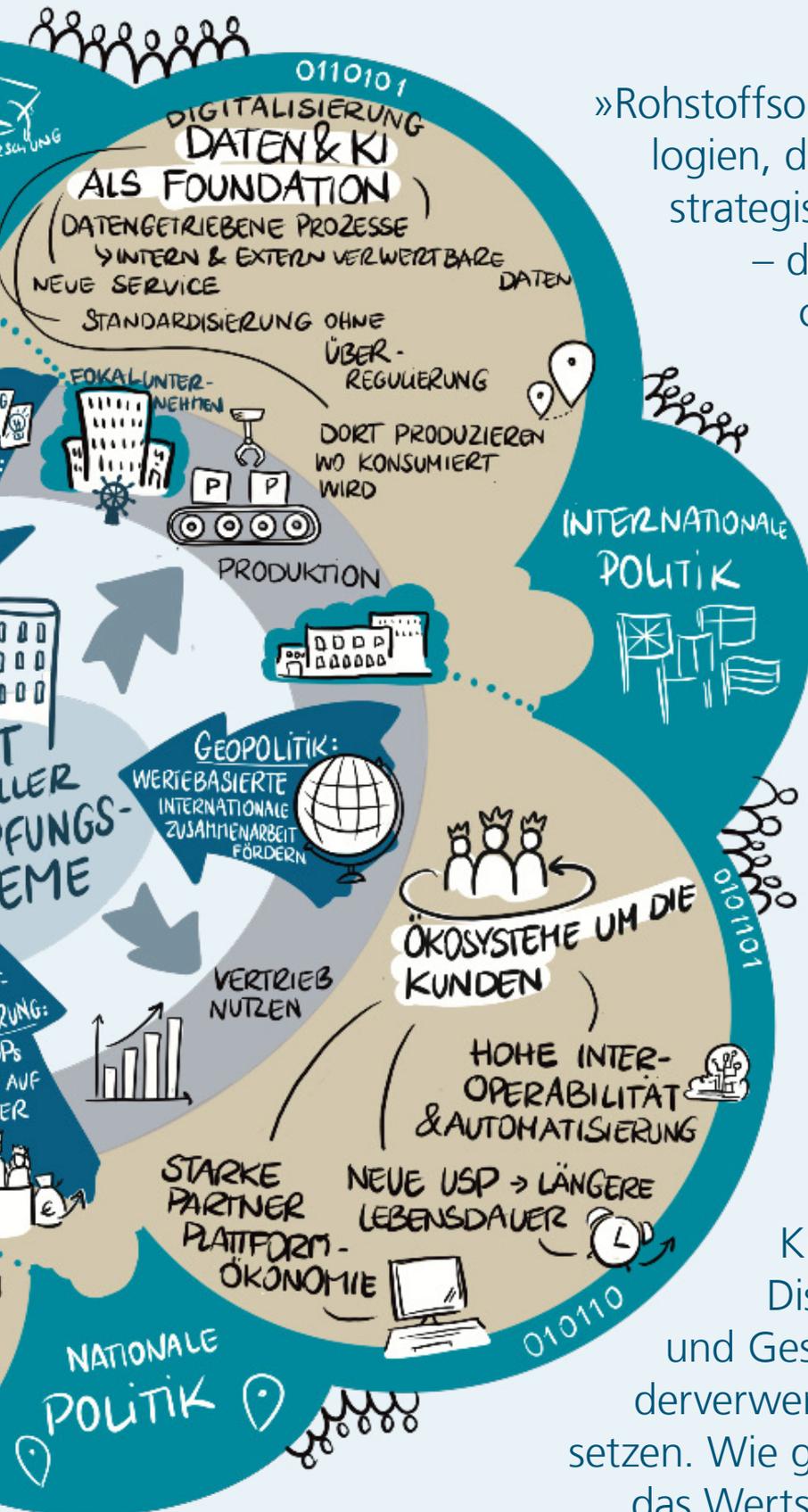
»Mensch und KI müssen ihre Rollen neu finden. Wer ist für Überwachung und wer für Ausführung letztendlich in der Verantwortung?«

Karsten Radtke,
thyssenkrupp UHDE



»Nur klare, innovationsfreundliche Standards, wettbewerbsfähige Rahmenbedingungen und eine Kultur der Offenheit sowie entsprechende Ausbildung der Fachkräfte sichern die Fähigkeit, weltweit führende Produkte hervorzubringen. Wir müssen Wege finden, wie wir Standards ökonomisch umsetzen können.«

Christian Decker,
DESMA Schuhmaschinen GmbH



»Rohstoffsouveränität erfordert Technologien, die das vollständige Recycling strategischer Rohstoffe ermöglichen – diese müssen wir jetzt entwickeln und gezielt einsetzen.«

Christian Berger,
Wilo

»Eine zukunftsfähige Wertschöpfung entsteht durch Kreislaufprinzipien: Design for Disassembly, Design for Repair und Geschäftsmodelle, die auf Wiederverwendung statt Verschwendung setzen. Wie gestalte ich als Unternehmen das Wertschöpfungsnetzwerk in einer Kreislaufwirtschaft?«

Thorsten Westermann,
Miele

Relevante Stakeholder

Die Gestaltung zukunftsfähiger Wertschöpfungssysteme erfordert das koordinierte Zusammenspiel einer Vielzahl relevanter Stakeholder, die jeweils unterschiedliche Rollen und Verantwortlichkeiten übernehmen.

Als Fokalunternehmen orchestrieren Firmen

- die Ökosysteme um die Kunden,
- die Rolle, die Menschen im System einnehmen,
- wie KI und Daten als Foundation eingesetzt werden können,
- und somit ganze Wertschöpfungssysteme in der Zukunft.

Industrieunternehmen nehmen dabei eine zentrale Position ein. Sie sind maßgeblich für die Umsetzung der wesentlichen Gestaltungsschwerpunkte verantwortlich und treffen strategische Entscheidungen über konkrete Ausprägungen zukünftiger Wertschöpfungsmodelle. Innovationsgetriebene Entwicklungen, wie die Integration datengestützter Prozesse, der Einsatz künstlicher Intelligenz sowie die Implementierung nachhaltiger Geschäftsmodelle, werden primär durch unternehmerisches Handeln initiiert und vorangetrieben. Dabei können Unternehmen als *Fokalunternehmen* fungieren, die innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken eine koordinierende Rolle übernehmen und als zentraler Impulsgeber für Transformationsprozesse entlang der gesamten Lieferkette agieren.

Unterstützend wirken

Branchenverbände, die insbesondere bei der Etablierung und Umsetzung sektorübergreifender Prinzipien, wie etwa der Kreislaufwirtschaft, eine koordinierende Funktion einnehmen. Sie fördern den Dialog zwischen Unternehmen und bieten Plattformen zur Entwicklung gemeinsamer Standards und Initiativen.

Auch die *internationale Politik* nimmt Einfluss auf die zukünftige Ausgestaltung von Wertschöpfungssystemen. Durch Handelsabkommen, geopolitische Entwicklungen sowie die Definition globaler Standards und Regularien wirkt sie auf die Struktur globaler Lieferketten und damit unmittelbar auf Standortentscheidungen von Unternehmen ein. In diesem Kontext bestimmen politische Stabilität und internationale wertebasierte Kooperation maßgeblich die Planungs- und Handlungssicherheit wirtschaftlicher Akteure.

Auf *nationaler Ebene* beeinflussen gesetzliche Rahmenbedingungen und industriepolitische Strategien die Ausrichtung des industriellen Wertschöpfungssystems. Regierungen schaffen durch Förderung, Regulierung und strategische Programme die Voraussetzungen für Innovation, Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit. Dabei kommt der politischen Steuerung eine bedeutende Rolle bei der Umsetzung gesellschaftlicher und ökologischer Zielsetzungen innerhalb industrieller Prozesse zu.

Die *Wissenschaft* trägt abschließend wesentlich zur Weiterentwicklung von Wertschöpfungssystemen bei. Durch anwendungsorientierte Forschung und technologische Innovationen liefert sie neue Impulse für Effizienzsteigerungen, Nachhaltigkeit und digitale Transformation in der industriellen Produktion. Ihre Erkenntnisse bilden die Grundlage für evidenzbasierte Entscheidungsprozesse und ermöglichen die kontinuierliche Anpassung bestehender Systeme an sich verändernde Rahmenbedingungen.



Gestaltungsschwerpunkte

Das Wertschöpfungssystem der Zukunft basiert auf vier zentralen Gestaltungsschwerpunkten.

Das erste Konzept stellt die sogenannte *Nullverbrauchswirtschaft* dar, die auf dem Prinzip der vollständigen Ressourcenzirkulation beruht. Anstelle des Verbrauchs neuer Rohstoffe fokussiert dieses Modell die Erhaltung, Wiederverwendung und Regeneration bestehender Ressourcen innerhalb geschlossener Kreisläufe. Ziel ist nicht nur, Abfall zu vermeiden, sondern den Verbrauch neuer Rohstoffe vollständig zu eliminieren. Durch intelligentes Produktdesign, digitale Rückverfolgbarkeit und industrielle Kooperationen bei denen Konkurrenten zu Partnern werden, können Produkte, Komponenten und Materialien mehrfach in zirkuläre Nutzungsschleifen überführt werden. Bereits in der Designphase werden Zerlegbarkeit, Reparaturfähigkeit und Wiederverwertbarkeit systematisch mitgedacht. Digitale Systeme ermöglichen zudem eine lückenlose Rückverfolgung von Ressourcen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. So kann der Kreislauf präzise gesteuert und optimiert werden. Unternehmen agieren dabei nicht mehr isoliert, sondern vernetzt in zirkulären Ökosystemen, in denen Produktionsabfälle des einen Betriebs als wertvoller Input für einen anderen dienen. Auch die Rolle der Endkonsumenten verändert sich grundlegend: Vom linearen Konsum hin zu aktiven Nutzern in gemeinschaftlichen, serviceorientierten Nutzungsmodellen wie Sharing, Leasing oder Product-as-a-Service. Langfristig zielt die Nullverbrauchswirtschaft nicht nur auf ökologische Nachhaltigkeit, sondern auch auf wirtschaftliche Resilienz, Innovationsförderung und soziale Gerechtigkeit ab. Sie markiert einen Paradigmenwechsel hin zu einem verantwortungsvollen und zukunftsfähigen Wirtschaftsmodell.

Wie bereits im Konzept der Nullverbrauchswirtschaft angedeutet, wird die Kundenbeziehung im zukünftigen Wertschöpfungssystem grundlegend neugestaltet. Anstelle von punktuellen Interaktionen treten kontinuierliche, dynamische Beziehungen in Ökosystemen, die über Branchen- und Unternehmensgrenzen hinweg vernetzt sind. Produktionsunternehmen agieren als Orchestratoren komplexer Kundennetzwerke und bieten Plattformen, auf denen Kunden, Partner und sogar Wettbewerber gemeinsam Mehrwert schaffen. Es entstehen somit *kundenzentrierte Ökosysteme*, mit hohem Personalisierungsgrad, in denen individuelle Kundenbedürfnisse durch datenbasierte Services adressiert werden. Diese Entwicklung

markiert einen Paradigmenwechsel in der Kundenorientierung. Nicht mehr der einmalige Produktverkauf steht im Vordergrund, sondern die langfristige Beziehung, die kooperative Entwicklung von Lösungen sowie das gemeinsame Streben nach nachhaltigem Nutzen. Kunden werden zu aktiven Mitgestaltenden des Angebotsportfolios, deren Anforderungen direkt in die Prozesse von Design, Produktion und Serviceentwicklung einfließen. In dieser neuen Logik industrieller Wertschöpfung entstehen resiliente und lernende Systeme, die sowohl auf externe Veränderungen flexibel reagieren als auch kontinuierlich Innovationen hervorbringen können.

Im Zentrum der Wertschöpfung steht darüber hinaus ein vollständig *datengetriebenes Informationssystem*, das durch den Einsatz von Künstlicher Intelligenz, Agentensystemen und digitalen Zwillingen ein neues Maß an Transparenz, Agilität und Effizienz ermöglicht. Sämtliche relevanten Datenpunkte, von der Produktnutzung über den Logistikfluss bis hin zu Umweltbedingungen, werden erfasst, analysiert und in intelligente Entscheidungsprozesse überführt.

Künstliche Intelligenz fungiert dabei nicht mehr nur als unterstützendes Analysewerkzeug, sondern als proaktiver Partner entlang der gesamten Wertschöpfungskette. In der Planung ermöglicht sie belastbare Prognosen und dynamische Ressourcenzuteilung, im Design generiert sie automatisch optimierte Produktvarianten, in der Produktion sorgt sie für vorausschauende Wartung und adaptive Prozesssteuerung, und in der Kundeninteraktion unterstützt sie individualisierte Serviceangebote und automatisierte Kommunikationsprozesse.

Digitale Zwillinge ermöglichen die präzise Simulation von Szenarien und das frühzeitige Erkennen von Risiken, Engpässen oder Ineffizienzen. Sie fungieren als zentrales Instrument zur kontinuierlichen Optimierung von Prozessen und Produkten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. Kombiniert mit agentenbasierten Systemen, die autonom agieren und kooperieren können, entsteht ein selbstregulierendes, lernendes System, das auf Veränderungen flexibel reagiert und sich permanent verbessert.

Durch diese tiefgreifende Digitalisierung wird ein ganzheitliches Echtzeitverständnis der Wertschöpfung möglich, das vielfältige Effizienzpotenziale hebt und Raum für die zuvor beschriebene kontinuierliche, nachhaltige Weiterentwicklung der Kundenbeziehungen schafft.

Trotz fortschreitender Automatisierung bleibt der *Mensch* ein zentraler Akteur in der Wertschöpfung und fungiert weiterhin als Sinnstifter und Gestalter. Seine Rolle unterliegt dabei einem tiefgreifenden Wandel. Innerhalb einer zunehmend kooperativen Interaktion zwischen Mensch, KI und Robotik verlagern sich Aufgabenbereiche. Routinetätigkeiten werden verstärkt von intelligenten Systemen übernommen, während der Mensch seine spezifischen Kompetenzen in den Bereichen Kreativität, kritisches Denken sowie soziale und kommunikative Interaktion einbringt. In dieser neuen Konstellation agiert der Mensch als Orchestrator technologischer Prozesse und bildet die Brücke zwischen technischen Systemen und menschlichen Bedürfnissen. Der Mensch bleibt somit nicht nur integraler Bestandteil der Wertschöpfung, sondern verleiht ihr auch in Zukunft Richtung und Werte, normative Orientierung und Verantwortungsbewusstsein.

Die zuvor im Kapitel [»Trends und Konsequenzen«](#) diskutierten Trends lassen sich bezüglich der in diesem Abschnitt vorgestellten Gestaltungsschwerpunkte als zentrale Gestaltungsoptionen interpretieren, die sowohl die strukturelle Ausprägung als auch die operative Funktionsweise dieser Systeme maßgeblich beeinflussen. Dabei eröffnen sich für die beteiligten Akteure unterschiedliche Handlungsspielräume:

Ökosystemteilnehmer stehen vor der Entscheidung, den Offenheitsgrad des Wertschöpfungssystems zu bestimmen und einen geeigneten Kompromiss zwischen hoher Interoperabilität und dezentraler Zusammenarbeit einerseits und geschlossenen, stärker kontrollierten Umgebungen andererseits zu finden. Ein zentrales Spannungsfeld ergibt sich weiterhin aus der strategischen Ausrichtung des Wertschöpfungssystems, insbesondere aus der Frage, ob der Fokus primär auf der Koordination und Vernetzung von Prozessen (Orchestrierung) oder auf der direkten physischen Produktion von Gütern und Dienstleistungen liegt. Diese Entscheidung steht in enger Verbindung mit der Rolle des Fokalunternehmens, das entweder als orchestrierender Knotenpunkt in einem digitalen Ökosystem agiert oder als produzierender Akteur mit vertikal integrierten Prozessen. Eng damit verknüpft ist ein weiteres

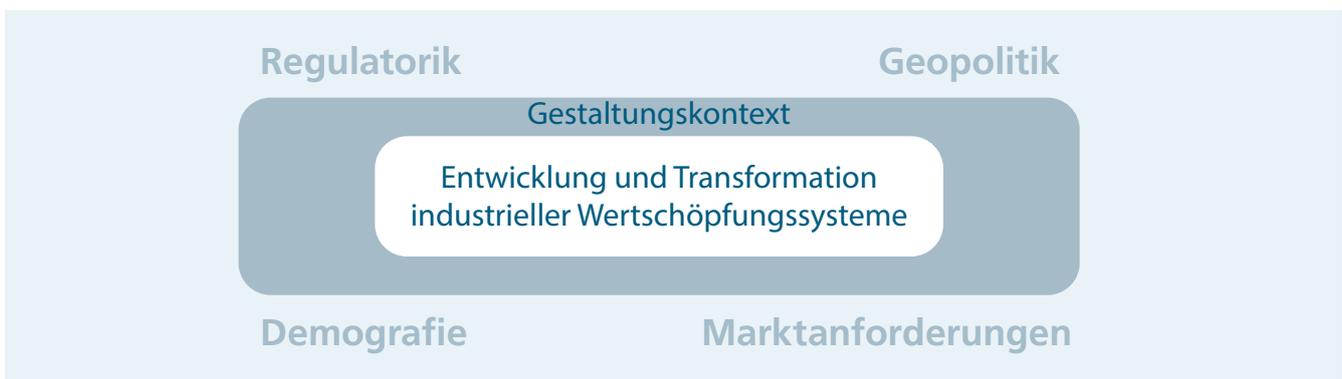
Spannungsfeld, das die Balance zwischen Überwachung und Ausführung von Tätigkeiten innerhalb des Wertschöpfungssystems betrifft. Während KI-gestützte Technologien zunehmend in der Lage sind, Prozesse zu überwachen, zu analysieren und zu optimieren, bleibt die Ausführung je nach Kontext entweder menschlichen oder maschinellen Akteuren vorbehalten.

Das Wertschöpfungssystem der Zukunft kann sich hinsichtlich seiner Gestaltungsschwerpunkte demnach in unterschiedlichen Optionen austarieren. Es handelt sich dabei um ein dynamisches System, das sich innerhalb der definierten Schwerpunkte flexibel positionieren lässt und kontinuierlich an die sich wandelnden technologischen, marktwirtschaftlichen und sozialen Anforderungen angepasst werden kann. Diese Anpassungsfähigkeit ermöglicht es den Akteuren, auf neue Herausforderungen im nachfolgend beschriebenen Gestaltungskontext zu reagieren und ihre Position im Ökosystem entsprechend ihrer strategischen Ausrichtung und den verfügbaren Ressourcen zu optimieren.



Gestaltungskontext

Der Gestaltungskontext bildet den äußeren Rahmen, innerhalb dessen sich industrielle Wertschöpfungssysteme entwickeln und transformieren. Vier zentrale Einflussbereiche prägen diesen Kontext maßgeblich: Regulatorik, Geopolitik, Demografie sowie Marktanforderungen.



Die *Regulatorik* stellt einen zentralen Einflussfaktor dar, da gesetzliche und normative Rahmenbedingungen unmittelbare Auswirkungen auf unterschiedliche Ebenen industrieller Wertschöpfung haben. So beeinflussen gesetzliche Standards und Vorschriften die Produktentwicklung, indem sie bestimmte Anforderungen hinsichtlich Sicherheit, Nachhaltigkeit oder Qualität definieren. Gleichzeitig wirken regulatorische Vorgaben auf die Prozessgestaltung, indem sie Unternehmen zu ressourceneffizientem Handeln anregen, jedoch auch Risiken einer Überregulierung bergen. Darüber hinaus erfordert die kontinuierliche Anpassung von Geschäftsmodellen an nationale und internationale Richtlinien ein hohes Maß an Agilität. In diesem Kontext kann Regulatorik nicht nur als Einschränkung, sondern auch als Treiber von Innovation verstanden werden.

Ein weiterer prägender Faktor ist die *Geopolitik*. Politische Stabilität, internationale Beziehungen und wirtschaftliche Kooperationen beeinflussen maßgeblich die Standortwahl sowie die globale Vernetzung industrieller Wertschöpfung. Produktionsentscheidungen orientieren sich zunehmend an geopolitischen Rahmenbedingungen, etwa im Hinblick auf sichere Lieferketten oder Zugang zu Märkten und Rohstoffen. Ebenso wirken internationale Handelsabkommen und politische Beziehungen auf Vertriebsstrategien und Nutzenversprechen ein. Strategische Unternehmensentscheidungen müssen verstärkt politische Parameter einbeziehen. Die Förderung wertebasierter internationaler Zusammenarbeit gewinnt in diesem Zusammenhang an Bedeutung, um stabile und resiliente globale Wertschöpfungssysteme zu gewährleisten.

Demografische Entwicklungen beeinflussen sowohl die Nachfrage- als auch die Angebotsseite industrieller Prozesse. Insbesondere der demografische Wandel und die Alterung der Gesellschaft führen zu veränderten Konsumbedürfnissen sowie einem zunehmenden Mangel an qualifizierten Fachkräften. Die kontinuierliche Weiterentwicklung von Wissen innerhalb der Belegschaft erfordert gezielte Maßnahmen zur Kompetenzförderung. Der Aufbau und die Förderung einer unternehmensweiten Wissenskultur auf der Mikroebene und zielgerichteter Inhalte in Ausbildungen auf der Makroebene in unseren Bildungseinrichtungen wird so zu einer zentralen Voraussetzung für die Zukunftsfähigkeit industrieller Wertschöpfungssysteme.

Marktanforderungen wirken unmittelbar auf die Gestaltung künftiger Wertschöpfungssysteme ein. Kundenbedürfnisse verändern sich zunehmend in Richtung individualisierter Produkte, hoher Interoperabilität und durchgängiger Automatisierung. Diese Anforderungen führen zu einer verstärkten Ausrichtung auf kundenorientierte Ökosysteme, die über Unternehmensgrenzen hinausreichen. Gleichzeitig entstehen neue Alleinstellungsmerkmale, etwa durch langlebige, ressourceneffiziente Produkte oder durch Plattformökonomien, die kollektive Innovationen gegenüber rein unternehmensinternen Vorteilen bevorzugen. Die Fähigkeit, solche USPs auf kooperativer Basis zu entwickeln und umzusetzen, wird somit zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

Von der

Vision zur

**Forschungs
agenda**

Vielseitige Fragen zu
Technologie, Mensch
und Organisation im
Industriemfeld

Ableitung von Forschungsfragen

Welche Erkenntnisse jetzt nötig sind, um industrielle Wertschöpfung weiterzudenken – und wie sich daraus konkrete Forschungsbedarfe ableiten lassen.

Die Gestaltung neuer Wertschöpfungssysteme wirft eine Vielzahl von (Forschungs-) Fragen auf, etwa hinsichtlich der Integration digitaler Technologien, der Nachhaltigkeit von Produktionsprozessen sowie der Veränderung von Arbeits- und Organisationsstrukturen. Dabei stellen sich auch grundlegende Fragen zur Verteilung von Wertschöpfung, zu neuen Formen der Kooperation und zu den Auswirkungen auf bestehende Geschäftsmodelle. Um diese Fragestellungen systematisch zu erfassen, füllten die Workshopteilnehmenden ein strukturiertes Template aus. Dieses erfasste neben der konkreten Fragestellung auch die jeweils angedachte Verantwortlichkeit sowie die empfundene Dringlichkeit der Bearbeitung.

Wie im Kapitel »[Relevante Stakeholder](#)« dargestellt, übernehmen neben Industrieunternehmen auch die (inter-) nationale Politik, Verbände und die Wissenschaft zentrale Rollen in zukünftigen Wertschöpfungssystemen. Bezüglich der Dringlichkeit konnten die Teilnehmenden angeben, ob eine Forschungsfrage kurzfristig (<1 Jahr), mittelfristig (<3 Jahre) oder langfristig (>5 Jahre) beantwortet werden sollte. Die Auswertung zeigt, dass die meisten Forschungsfragen als kurz- bis mittelfristig relevant eingeschätzt wurden. Im Folgenden werden die identifizierten Forschungsfragen entsprechend ihrer Dringlichkeit dargestellt.

The image shows a hand holding several overlapping questionnaire cards. Each card is a template for deriving research questions and is structured as follows:

- Ihre offene Frage:** A space for writing the research question.
- Wer sollte sich um die Beantwortung dieser Frage kümmern?** A list of checkboxes for stakeholders:
 - Internationale Politik
 - Nationale Politik
 - Verbände
 - Unternehmen
 - Wissenschaft
 - Andere: _____
- Wann sollte mit der Bearbeitung dieser Frage begonnen werden?** A list of checkboxes for timeframes:
 - schnell < 1 Jahr
 - bald < 3 Jahre
 - mittelfristig < 5 Jahre
 - perspektivisch > 5 Jahre
- Ihr Name (für Rückantwort):** A space for the respondent's name.
- Hinweis:** A space for additional notes.

Regulatorische Knackpunkte

- ESG-Kriterien uneinheitlich
- Zertifizierungsverfahren intransparent
- Mangel an standardisierten Bewertungsmodellen

Die erfolgreiche Transformation industrieller Wertschöpfungssysteme erfordert kurzfristig nicht nur technologische Innovationen, sondern vor allem einheitliche regulatorische Rahmenbedingungen, zirkuläre Geschäftsmodelle und eine strategisch koordinierte Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg.

Von insgesamt 21 Forschungsfragen, weisen 14 einen dringenden Bearbeitungsbedarf auf. Die Fragen beziehen sich insbesondere auf drei Themenkomplexe: Rahmenbedingungen, Technologien und Organisation.

Im Bereich der *Rahmenbedingungen* stellt sich die Frage, wie regulatorische Vorgaben flexibilisiert und in wirksame Anreizsysteme überführt werden können, um nachhaltige Praktiken in der Industrie gezielt zu fördern. Im Fokus stehen dabei unter anderem Strategien zur Steigerung der Rohstoffrückgewinnung im Recyclingprozess sowie die Identifikation strategisch relevanter Rohstoffe. In diesem Zusammenhang wird auch die Auffindbarkeit und Rückgewinnbarkeit dieser Materialien aus bestehenden Produkten thematisiert. Ein noch offener Punkt stellt zudem die vergleichende Gesamtbilanz verschiedener Ansätze wie etwa Recycling, Reparatur oder Neubeschaffung im Hinblick auf ökologische, soziale und ökonomische Effizienz dar. Dabei stellt sich die Frage, wie die Umweltwirkungen im Verhältnis zur sozialen Performance sowie zu den rechtlichen Rahmenbedingungen in Wertschöpfungsnetzwerken stehen. Ziel ist es, die potenzielle Wirkung und Kooperationsfähigkeit dieser Ansätze im industriellen Kontext fundiert analysieren zu können.

Im Bereich der *Technologien* wird die Rolle Künstlicher Intelligenz und weiterer digitaler Lösungen im zukünftigen Wertschöpfungssystem reflektiert. Es wird diskutiert, welche spezifischen Anwendungsfelder der KI besonders gefördert werden sollten, um die Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft effektiv zu unterstützen. Darüber hinaus wird die Zugänglichkeit und Nutzbarkeit neuer Technologien thematisiert, insbesondere durch die Vereinfachung informationstechnischer Systeme wie ERP- oder MES-Lösungen.

Organisatorisch stellt sich die Frage, welche Akteure für die Steuerung und Orchestrierung von Wertschöpfungsnetzwerken verantwortlich sein sollten und welche systemischen Rahmenbedingungen hierfür notwendig sind. Es wird hinterfragt, wie Unternehmen zirkuläre Wertschöpfungsstrukturen gestalten können, wobei Konzepte wie Design for Disassembly und Design for Repair eine zentrale Rolle spielen. Darüber hinaus werden potenzielle Anreizsysteme diskutiert, die die industrielle Wiederverwendung (Reuse) fördern und idealerweise auf rein regulatorische Maßnahmen verzichten können.

[Tabelle 1](#) liefert einen strukturierten

Überblick über die im Workshop

aufgenommenen Fragestellungen mit kurzfristigem

Zeithorizont.

Zwei Fragestellungen erwiesen sich dabei als besonders wichtig. Die erste

Forschungsfrage bezieht sich auf die

langfristige Transparenz und Governance der ESG-Regulatorik. Dabei stehen insbesondere Fragen der institutionellen Verankerung, der Standardisierung von ESG-Kriterien sowie der Einführung unabhängiger Überwachungs- und Bewertungsmechanismen im Vordergrund.

Ziel ist es, regulatorische Verlässlichkeit zu schaffen, die Planungssicherheit für Unternehmen erhöht und zugleich gesellschaftliche Nachhaltigkeitsziele langfristig absichert. Ein zentrales Problem in diesem Kontext liegt in der fehlenden Objektivität bei der Bewertung von ESG-Kriterien. Oftmals sind die zugrunde liegenden Daten und Bewertungsverfahren weder transparent noch einheitlich, was zu

Kurzfr Handlung

<1

erheblichen Unterschieden in der ESG-Einstufung derselben Unternehmen führen kann. Zudem fehlt bislang eine verbindliche Integration der ESG-Regulatorik in international etablierte und standardisierte Zertifizierungsprozesse. Dies erschwert die Vergleichbarkeit und verringert die Glaubwürdigkeit entsprechender Bewertungen. Darüber hinaus stehen vor allem die sozialen und Governance-bezogenen Aspekte häufig im Schatten ökologischer Kriterien, was zu einer unausgewogenen Bewertung der Nachhaltigkeitsperformance führt. Die mangelnde Verfügbarkeit klar definierter, messbarer KPIs verstärkt dieses Problem zusätzlich und hemmt die Entwicklung wirksamer Steuerungs- und Kontrollmechanismen. Diese Defizite gefährden die angestrebte

regulatorische
Verlässlichkeit
und erschweren
die Umsetzung
einer effektiven
ESG-Governance
nachhaltig.

Ein weiteres zentrales Anliegen der Industrieunternehmen ist

die Schaffung ressourcenschonender Wertschöpfungsnetzwerke, die den Lebenszyklus von Produkten verlängern und Materialkreisläufe schließen. Die zweite Forschungsfrage zielt dabei auf die strukturelle und strategische Neuausrichtung industrieller Prozesse im Kontext nachhaltiger Wirtschaftssysteme ab. Dabei rücken insbesondere die Konzepte Design for Disassembly und Design for Repair in den Fokus, die eine zentrale Rolle für die Umsetzung zirkulärer Geschäftsmodelle spielen. Diese Ansätze setzen bereits in der Produktentwicklung an und verfolgen das Ziel, Produkte so zu gestalten, dass sie am Ende

ihres Lebenszyklus leicht zerlegt, repariert, wiederverwendet oder recycelt werden können.

Die praktische Umsetzung dieser Designprinzipien ist jedoch mit verschiedenen Herausforderungen verbunden. Zum einen fehlen bislang weitgehend standardisierte Richtlinien und branchenspezifische Normen, die eine systematische Integration in bestehende Produktentwicklungs- und Fertigungsprozesse ermöglichen. Zum anderen erfordert der Aufbau zirkulärer Wertschöpfungsnetzwerke eine enge Koordination mit Zulieferern, Dienstleistern und Entsorgungspartnern. Dies stellt viele Unternehmen vor organisatorische und logistische Schwierigkeiten. Darüber hinaus impliziert die Transformation zur Kreislaufwirtschaft auch tiefgreifende Veränderungen auf Ebene der Geschäftsmodelle. Während traditionelle Modelle meist auf linearem Konsumverhalten und dem Verkauf von Neuprodukten basieren, erfordern zirkuläre Ansätze die Entwicklung neuer Wertschöpfungslogiken, etwa durch Product-as-a-Service, Miet- oder Sharing-Modelle. Diese Umstellung ist nicht nur mit Investitionen und kulturellem Wandel innerhalb des Unternehmens verbunden, sondern setzt auch regulatorische Anreize und Marktakzeptanz voraus. Ein weiteres Problem besteht in der fehlenden wirtschaftlichen Attraktivität reparatur- oder rücknahmebasierter Dienstleistungen, insbesondere wenn keine geeigneten Preismodelle oder Anreizstrukturen vorhanden sind.

Die Entwicklung zirkulärer Wertschöpfungsnetzwerke erweist sich somit als ein integrativer Prozess, der sowohl technologische Innovationen und strategische Unternehmensanpassungen als auch institutionelle und politische Fördermechanismen erfordert.

Elemente zirkulärer Geschäftsmodelle

- Design for Re-Use and Repair
- Modularisierung und Disassemblierung
- Reverse Logistics und digitale Rückverfolgbarkeit
- Kollaboration entlang der gesamten Wertschöpfungskette

istiger
gsbedarf
Jahr

Im mittelfristigen Zeithorizont in [Tabelle 2](#) zeichnen sich sieben Forschungsfragen ab, die einen bedeutenden Handlungsbedarf erkennen lassen Sie adressieren ebenso zentrale Herausforderungen in den Bereichen Rahmenbedingungen, Technologien und Organisation, die für die Transformation zu einem zukunftsfähigen Wertschöpfungssystem entscheidend sind.

Herausforderungen der Bildungsstrukturen

- Mangel an interdisziplinärer Ausbildung
- Kaum Verknüpfung von Technik und Wirtschaft
- Sinkende Technikbegeisterung
- Langsame Reaktionsfähigkeit auf neue Kompetenzbedarfe

Im Bereich der *Rahmenbedingungen* rückt insbesondere die Rolle des Bildungssystems in den Fokus. Es stellt sich die Frage, wie ein zukunftsorientiertes Bildungssystem in Deutschland gestaltet sein muss, um die komplexen Anforderungen der industriellen und gesellschaftlichen Transformation erfolgreich zu bewältigen. Dazu gehört auch die Stärkung interdisziplinärer Kompetenzen und die Wiederbelebung einer breiten Begeisterung für Technik in der Gesellschaft. Die Förderung technischer Bildung, das Aufbrechen disziplinärer Silos sowie neue Wege der Vermittlung von Innovationskompetenz gelten als zentrale Ansatzpunkte, um langfristig Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit zu sichern.

Im Themenfeld *Technologie* steht die Rolle des Menschen im Zusammenspiel mit Künstlicher Intelligenz im Zentrum. Mit dem rasanten Fortschritt digitaler Systeme stellt sich zunehmend die Frage, ob der Mensch weiterhin die Kontrolle über KI-Anwendungen behält oder diese Aufgaben zunehmend an Maschinen delegiert werden. Die Auswirkungen auf Entscheidungsstrukturen, Verantwortlichkeiten und die Gestaltung menschenzentrierter Systeme müssen dabei kritisch hinterfragt werden. Parallel dazu bedarf es einer fundierten Analyse, ob technologische Lösungen zur vollständigen Rückgewinnung strategisch relevanter Rohstoffe bereits existieren oder weiterentwickelt werden müssen. Ergänzend wird untersucht, wie KI gezielt zur Effizienzsteigerung entlang der gesamten Wertschöpfungskette eingesetzt werden kann, etwa durch intelligente Prognosesysteme, Automatisierung oder datenbasierte Entscheidungsunterstützung.

Im Bereich der *Organisation* richtet sich der Blick auf die strukturelle Neuausrichtung zukünftiger Wertschöpfungsnetzwerke. Dabei steht zur Debatte, inwieweit lokale oder regionale Wertschöpfungsketten wirtschaftlich tragfähig sind und welche strukturellen, politischen oder infrastrukturellen Barrieren derzeit einer solchen Transformation entgegenstehen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Frage, ob hohe Recyclingquoten notwendige Voraussetzung oder mögliche Folge solcher Strukturen darstellen. Zudem rücken die sozialen Auswirkungen zukünftiger Wertschöpfungssysteme in den Fokus. Eine inklusive und faire Transformation erfordert den Abbau bestehender Barrieren sowie gezielte Maßnahmen zur Förderung gesellschaftlicher Integration. Ziel ist es, soziale Implikationen als zentralen Bestandteil des Systemdesigns zu verankern und aktiv zu gestalten.

Für die Teilnehmenden stand innerhalb des Workshops insbesondere die Beantwortung einer technologischen Frage im Vordergrund. Die Frage thematisiert den aktuellen Stand und die technischen Möglichkeiten des Recyclings strategisch wichtiger Rohstoffe, wie beispielsweise seltene Erden, Lithium, oder Kobalt, die essenziell für Schlüsseltechnologien in den Bereichen Energie, Digitalisierung und Mobilität sind. Angesichts geopolitischer Abhängigkeiten, volatiler Märkte und wachsender Nachfrage nach diesen Ressourcen gewinnt die Rückgewinnung aus End-of-Life-Produkten zunehmend an strategischer Bedeutung.

Grundsätzlich existieren bereits für viele dieser Rohstoffe technologische Ansätze zur Rückgewinnung. Insbesondere für Metalle wie Aluminium, Kupfer, Gold oder Nickel sind etablierte Recyclingprozesse vorhanden, die industriell umgesetzt werden. Jedoch stößt das Recycling

Mittelfristige Handlungsfelder <3 J

seltener und kritischer Rohstoffe in der Praxis auf erhebliche technische und wirtschaftliche Herausforderungen. Viele dieser Materialien sind in komplexen Verbundstrukturen oder in sehr geringen Konzentrationen in Produkten verbaut, was die Rückgewinnung aufwändig, energieintensiv und häufig wirtschaftlich unattraktiv macht. Ein weiteres Problem besteht in der mangelnden Produktgestaltung unter dem Aspekt der späteren Rohstoffrückgewinnung. Ohne entsprechende Vorgaben oder Standards zum Design for Recycling bleiben viele Rohstoffe technisch zwar theoretisch rückgewinnbar, praktisch jedoch nicht zugänglich. Hinzu kommen Defizite in der Sammel- und Demontageinfrastruktur sowie ineffiziente Rückführungslogistik, die die Rohstoffrückgewinnung zusätzlich behindern. Technologisch betrachtet, existieren demnach erste Lösungen, die allerdings bislang nicht flächen-

deckend für alle strategisch wichtigen Rohstoffe verfügbar oder wirtschaftlich skalierbar sind. Für die Wissenschaft ist zukünftig zu untersuchen, wie die Technologien zur Rückgewinnung weiterentwickelt und für einen größeren Markt zugänglich gemacht werden können.

Die Weiterentwicklung neuer Technologien, wie etwa für die Rückgewinnung von Rohstoffen, erfordert ein gewisses Maß an Innovationsbegeisterung. Die Teilnehmenden nahmen jedoch wahr, dass diese Aufgeschlossenheit gegenüber technologischem Fortschritt in Deutschland derzeit nachlässt. Entsprechend wurde der Aspekt, wie sich neues Interesse und Engagement wieder fördern lassen, als besonders wichtig eingestuft.

Die Forschungsfrage richtet den Blick insbesondere auf ein zentrales bildungs- und innovationspolitisches Problem, nämlich den Rückgang technischer Begeisterung und des Interesses an ingenieur- und naturwissenschaftlichen Berufen in Deutschland. Trotz der hohen Relevanz technologischer Innovationen für Wettbewerbsfähigkeit, Nachhaltigkeit und gesellschaftliche Transformation, beobachten die Teilnehmenden des Workshops insbesondere bei jungen Menschen eine zunehmende Distanz zu technischen Themen.

Gleichzeitig verlangt die Bewältigung großer Zukunftsherausforderungen nicht nur technische Expertise, sondern auch die Verknüpfung technischer Disziplinen mit gesellschaftlichen, ökologischen und ökonomischen Fragestellungen. Eine isolierte Ausbildung in einzelnen Fachgebieten greift hier zu kurz. Gefordert ist vielmehr eine integrative Bildungsstrategie, die interdisziplinäre Zusammenarbeit fördert, ohne den fachlichen Tiefgang technischer Qualifikation zu gefährden.

Dies stellt insbesondere Hochschulen vor die Herausforderung, neue Lehrformate und Studienstrukturen zu entwickeln, die technische Inhalte nicht nur praxisnah und gesellschaftlich relevant vermitteln, sondern gleichzeitig Raum für disziplinübergreifendes Denken schaffen. Auf lange Sicht bedarf es einer Bildungs- und Wissenschaftspolitik, die interdisziplinäre und sektorübergreifende Kooperationen stärkt, technische Bildung zeitgemäß weiterentwickelt und zugleich die fachliche Tiefe, methodische Präzision und Exzellenz der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung bewahrt. Die Forschungsfrage adressiert explizit die Notwendigkeit, strukturelle und kulturelle Rahmenbedingungen zu identifizieren, die eine erneute Begeisterung für Technik ermöglichen und fördern. Zentral ist dabei die Gestaltung von Bildungsprozessen, die technische Neugier frühzeitig anregen, langfristig erhalten und gezielt in berufliche Orientierung überführen.

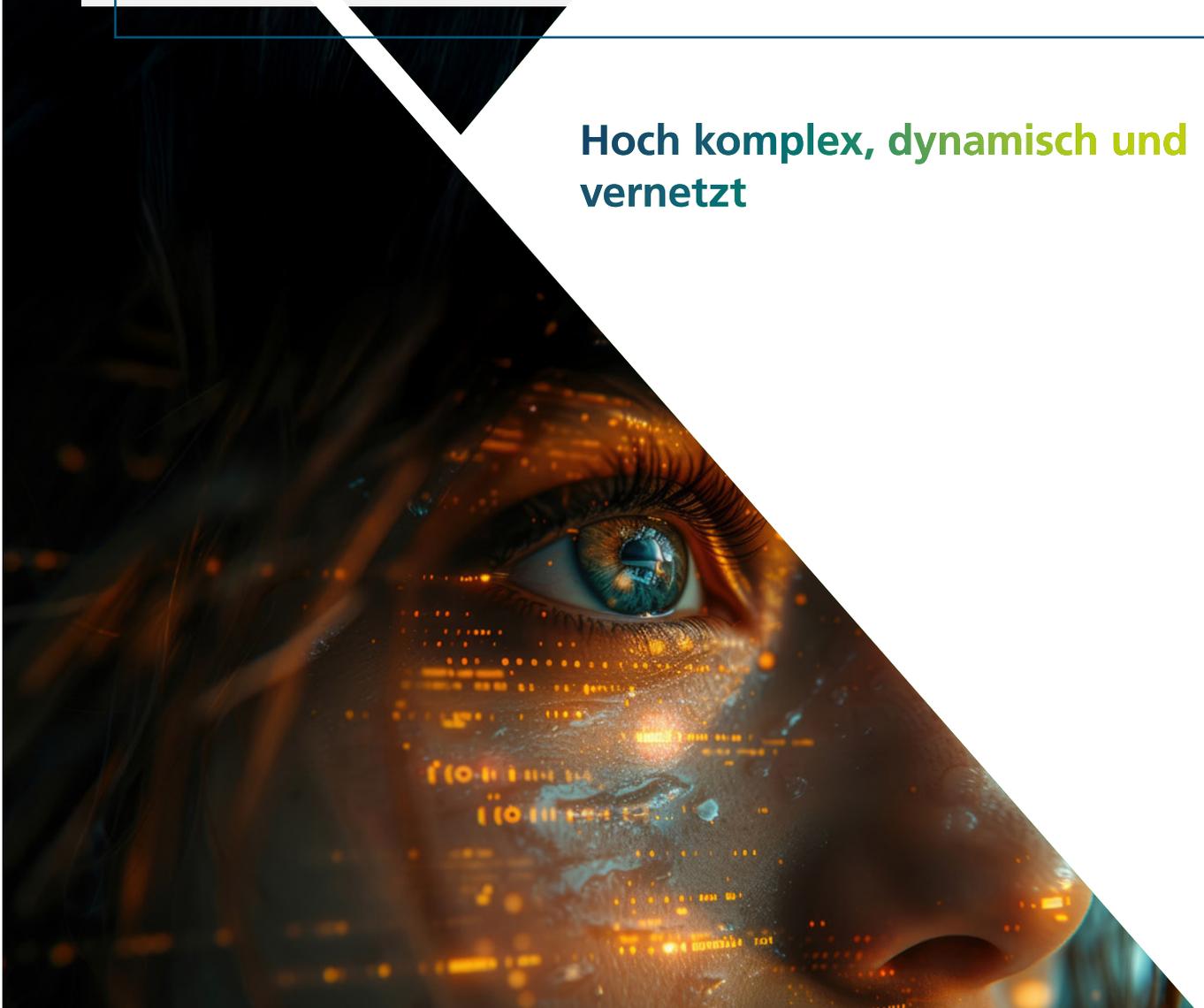
Strukturwandel ermöglichen

Neue Wertschöpfungssysteme brauchen flexible Organisationsstrukturen. Lokale Verankerung, überregionale Kooperation und der Abbau institutioneller Barrieren werden zu strategischen Hebeln für eine erfolgreiche Transformation.

ristiger
gsbedarf
ahre

Neuer
Kurs,
festgelegt durch die
Industrie

Hoch komplex, dynamisch und
vernetzt



Fazit und Ausblick

Das Wertschöpfungssystem der Zukunft zeichnet sich durch eine hohe Dynamik, zunehmende Vernetzung und wachsende Komplexität aus. Technologische Innovationen, ökologische Anforderungen, geopolitische Verschiebungen und gesellschaftliche Erwartungen verändern die Rahmenbedingungen wirtschaftlichen Handelns grundlegend. Für eine erfolgreiche und nachhaltige Transformation ist eine systematische Berücksichtigung interner und externer Schlüsselfaktoren in der strategischen Planung elementar.



Heute

Wie bereits im Kapitel [»Status quo industrieller Wertschöpfungssysteme«](#) angedeutet, sind *aktuelle Wertschöpfungssysteme* durch ein konservatives Vorgehen bei der Implementierung datengestützter Services sowie einer mechanistischen Unternehmenskultur geprägt, die Innovationen und unternehmerische Flexibilität hemmt. Unternehmen agieren oft in starren Strukturen, wodurch Anpassungen an sich wandelnde Marktanforderungen erschwert werden. Gleichzeitig führt eine erhöhte betriebliche Flexibilität zu instabilen Lieferketten, da kurzfristige Änderungen in der Produktion oder Beschaffung zu Unsicherheiten in der gesamten Wertschöpfungskette führen können. Ein weiteres zentrales Problem stellt die geringe Produktpassung an dynamische Marktbedingungen dar. Trotz sich verändernder Kundenanforderungen und technologischer Entwicklungen bleiben viele Produkte weitgehend unverändert, was die Wettbewerbsfähigkeit in einem globalisierten Umfeld schwächt. Hinzu kommt die Herausforderung, Fachkräfte zeitgemäß auszubilden und für neue digitale Geschäftsmodelle zu qualifizieren, während gleichzeitig ein intensiver Preiskampf auf internationalen Märkten die Margen unter Druck setzt. Darüber hinaus erschwert eine fragmentierte Regulierung die langfristige Planbarkeit. Unterschiedliche nationale und internationale Vorschriften führen zu Unsicherheiten, die strategische

Entscheidungen behindern und Investitionen in innovative Wertschöpfungsstrukturen bremsen. Parallel dazu stehen Unternehmen vor einer wachsenden Konkurrenz zwischen Pay-per-Use-Geschäftsmodellen und traditionellen Flatrate-Angeboten, die neue strategische Weichenstellungen erfordern. Zudem gewinnt das Design für Re-Use und Recycling zunehmend an Bedeutung. Unternehmen müssen sich verstärkt mit nachhaltigen Produktkonzepten auseinandersetzen, um Ressourcen effizient zu nutzen, regulatorische Anforderungen zu erfüllen und den Erwartungen umweltbewusster Kunden gerecht zu werden. Die Transformation der Wertschöpfungssysteme erfordert daher nicht nur technologische Innovationen, sondern auch einen Wandel in Geschäftsmodellen, Unternehmenskulturen und in den Umsetzungsentwürfen regulatorischer Rahmenbedingungen.



Morgen



In zukünftigen Wertschöpfungsnetzwerken werden digitale Prozesse und Nachhaltigkeit zu zentralen Erfolgsfaktoren. Die Wertschöpfung wird zunehmend in geschlossenen Kreisläufen organisiert, in denen Materialien, Komponenten und Produkte durch digitale Technologien erfasst, verfolgt und effizient wiederverwendet oder recycelt werden. Dies erfordert eine verstärkte Integration von IoT, KI und Big-Data-Analysen, um Transparenz über den gesamten Lebenszyklus eines Produkts zu schaffen und eine optimale Ressourcennutzung zu gewährleisten. Gleichzeitig müssen Unternehmen ihre Agilität erhöhen, um auf dynamische Marktveränderungen schneller zu reagieren. Alle Geschäftsprozesse generieren dabei kontinuierlich verwertbare Daten, die zur Verbesserung von Produktion, Logistik und Kundeninteraktion genutzt werden können. Predictive Maintenance, datenbasierte Geschäftsmodelle und eine intelligente Steuerung der Lieferketten gewinnen an Bedeutung. Die Wettbewerbslandschaft verändert sich ebenfalls. Während Produktqualität zunehmend auf einem global einheitlichen

Niveau erwartet wird, verlagert sich der Wettbewerb stärker auf Faktoren wie Servicequalität, Innovationsfähigkeit und Nachhaltigkeit. Unternehmen müssen sich nicht mehr ausschließlich über technologische Expertise differenzieren, sondern verstärkt über kollaborative Geschäftsmodelle und strategische Partnerschaften in Wertschöpfungsnetzwerken. Diese Netzwerke ermöglichen eine effizientere Ressourcennutzung, beschleunigen Innovationsprozesse und stärken die Widerstandsfähigkeit gegenüber externen Störungen. Ein weiteres Kernelement künftiger Wertschöpfungsmodelle ist das gestiegene Bewusstsein für Kosteneffizienz und die Reduzierung von Verschwendung. Durch digitale Technologien lassen sich Produktionsprozesse optimieren, Materialeinsätze minimieren und Energieverbräuche gezielt steuern. Gleichzeitig wird es für Unternehmen essenziell, ihre individuellen Stärken gezielter einzusetzen, um sich innerhalb der Wertschöpfungsnetzwerke strategisch zu positionieren. Insgesamt wird sich die industrielle Wertschöpfung in den kommenden Jahren durch eine tiefere Verzahnung von Digitalisierung und Nachhaltigkeit auszeichnen. Unternehmen, die frühzeitig in datengetriebene Prozesse, ressourcenschonende Geschäftsmodelle und starke Netzwerkpartnerschaften investieren, werden langfristig wettbewerbsfähig bleiben.

Schlüsselfaktoren

Mehrere *Schlüsselfaktoren* sind entscheidend, um den Wandel von isolierten und starren Strukturen hin zu vernetzten, datengetriebenen und nachhaltigen Wertschöpfungsmodellen voranzutreiben. Trotz fortschreitender Automatisierung und Digitalisierung bleibt der Faktor *Mensch* essenziell. Die Arbeitswelt verändert sich dabei aber grundlegend. Digitale Assistenzsysteme, Künstliche Intelligenz und vernetzte Produktionsprozesse verändern nicht nur Arbeitsabläufe, sondern auch die Anforderungen an Kompetenzen und Qualifikationen der Beschäftigten. Unternehmen stehen daher vor der Herausforderung, ihre Belegschaften kontinuierlich weiterzubilden und neue Lernformate zu etablieren, um die digitale Transformation aktiv und erfolgreich zu gestalten. Gleichzeitig gewinnen Faktoren wie Arbeitszufriedenheit, die Sicherung von Fachkräften und die Gestaltung attraktiver Arbeitsbedingungen zunehmend an Bedeutung, um Innovationskraft und Wettbewerbsfähigkeit langfristig zu sichern. Auch wenn Maschinen und Algorithmen künftig viele Aufgaben übernehmen, bleibt der Mensch als kreativer, entscheidungsfähiger und verantwortungsbewusster Akteur unverzichtbar. Akteure der zukünftigen Wertschöpfungs-systeme sind angehalten, die Belegschaft frühzeitig in den Transformationsprozess einzubinden, kontinuierlich zu qualifizieren und durch eine mitarbeiterorientierte Unternehmenskultur aktiv zu stärken, um die Stärken und Potenziale der Mitarbeitenden gezielt zu fördern und nachhaltig zur erfolgreichen Transformation beizutragen.

Ein weiterer zentraler Schlüsselfaktor ist die strategische Bedeutung von *Unternehmenskooperationen*. Durch die Bündelung von Ressourcen, Kompetenzen und Technologien können Unternehmen nicht nur effizienter agieren, sondern auch Innovationszyklen verkürzen und Synergien innerhalb komplexer Wertschöpfungsnetzwerke gezielt nutzen. Dies ist vor allem beim Gestaltungsschwerpunkt der Kundenbeziehung zu erkennen. Kooperationen beschränken sich dabei längst nicht mehr auf klassische Lieferantenbeziehungen oder Partner innerhalb derselben Branche. Zunehmend entstehen branchen- und stakeholderübergreifende Allianzen, die den Zugang zu neuen Technologien, Geschäftsmodellen und Märkten, insbesondere im Kontext digitaler Plattformen und nachhaltiger Kreislaufwirtschaft, eröffnen. Um die Transformation erfolgreich zu gestalten, sind alle Akteure gefordert, gewohnte Denkmuster zu hinterfragen, offen für neue Formen der Zusammenarbeit zu sein und gemeinsam an nachhaltigen, zukunftsfähigen Lösungen zu arbeiten. Nur durch ein aktives, kooperatives Handeln kann der Wandel von isolierten Strukturen hin zu resilienten und vernetzten Wertschöpfungs-systemen gelingen.

Weiterhin stellen die *Technologieskepsis und eine mangelnde digitale Infrastruktur* in Deutschland bedeutende Hemmnisse für die Transformation der Wertschöpfungs-systeme dar. Viele Unternehmen zögern, in disruptive Technologien zu investieren, da Unsicherheiten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit, Cybersicherheit und Kompatibilität mit bestehenden Systemen bestehen. Dies kann langfristig zu einem Wettbewerbsnachteil führen. Um dem entgegenzuwirken, sind Unternehmen aufgefordert, proaktiv technologische Chancen zu bewerten, Pilotprojekte zu initiieren und gezielt in digitale Kompetenzen sowie Infrastruktur zu investieren.

Zusätzlich wird die Planungssicherheit für Unternehmen durch eine unklare und fragmentierte Regulierung innerhalb der EU erschwert. Unterschiedliche nationale Vorschriften und komplexe Genehmigungsverfahren hemmen die Skalierbarkeit digitaler Geschäftsmodelle und erschweren die grenzüberschreitende Zusammenarbeit. Unternehmen müssen daher verstärkt Ressourcen für Compliance und rechtliche Anpassungen aufwenden, was Innovationsprozesse verlangsamt und die Kosten erhöht. Vor diesem Hintergrund sind auch politische Entscheidungsträger dringend gefordert, regulatorische Rahmenbedingungen zu harmonisieren, klare Leitlinien zu schaffen und innovationsfreundliche Strukturen auf europäischer Ebene zu fördern. Die angewandte Wissenschaft ist gefordert an einer unternehmensgerechten Umsetzung von Standards mitzuwirken. Nur durch ein koordiniertes Zusammenspiel von Wirtschaft, Politik und Wissenschaft können die Voraussetzungen für eine zukunftsorientierte, digitale und nachhaltige Wirtschaft geschaffen werden.

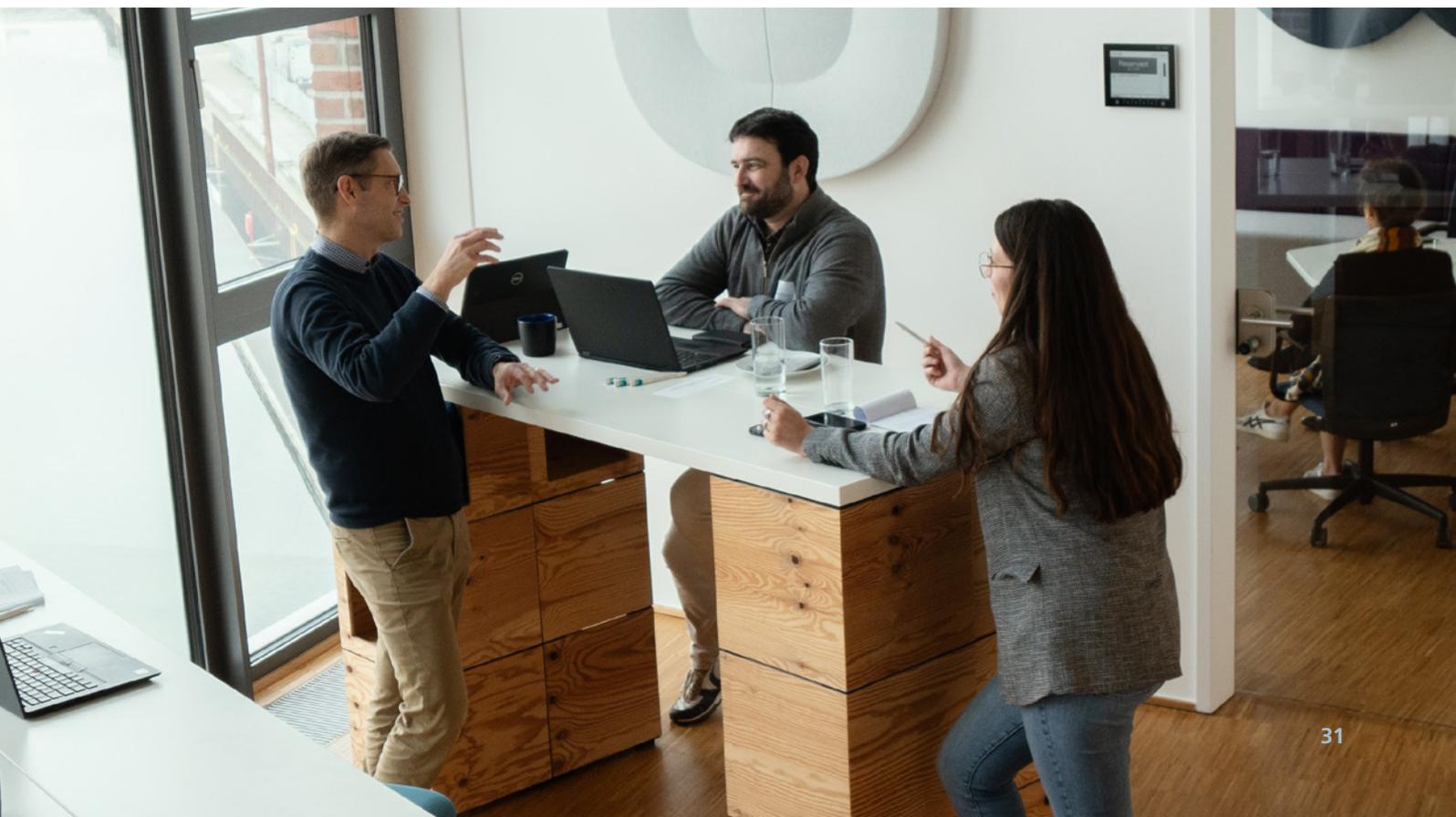
Fazit

Die Transformation industrieller Wertschöpfungs-systeme konfrontiert alle beteiligten Akteure mit komplexen Fragestellungen und weitreichenden Herausforderungen, eröffnet zugleich aber auch erhebliche Chancen. Der Übergang von traditionellen, häufig starren Strukturen hin zu vernetzten, datenbasierten und nachhaltigen Wertschöpfungsmodellen erfordert weit mehr als technologische Neuerungen. Gefragt sind tiefgreifende Veränderungen in Unternehmenskulturen, strategischen Partnerschaften, regulatorischen Rahmenbedingungen, die zur Praxis passen, sowie insbesondere in der Aus- und Weiterbildung der Fachkräfte. Jeder Stakeholder ist gefordert, seine spezifischen Beiträge zu leisten, um die Transformation aktiv mitzugestalten und dadurch langfristige Wettbewerbsfähigkeit in einem zunehmend dynamischen globalen Umfeld zu sichern.



Das Besondere ist, dass die Unternehmen proaktiv im Wertschöpfungssystem der Zukunft agieren wollen und die Kunden-ökosysteme orchestrieren, um nachhaltig produzierte, neue Produkte auf den Markt zu bringen. Die angewandte Wissenschaft muss die Technologien und Rahmenbedingungen zu ESG-Kriterien und anderen Regularien von morgen beisteuern, damit sie diese Selbstwirksamkeit entfalten können.«

Prof. Dr.-Ing. Boris Otto,
Projektleiter und Institutsleiter
am Fraunhofer ISST



Anhang

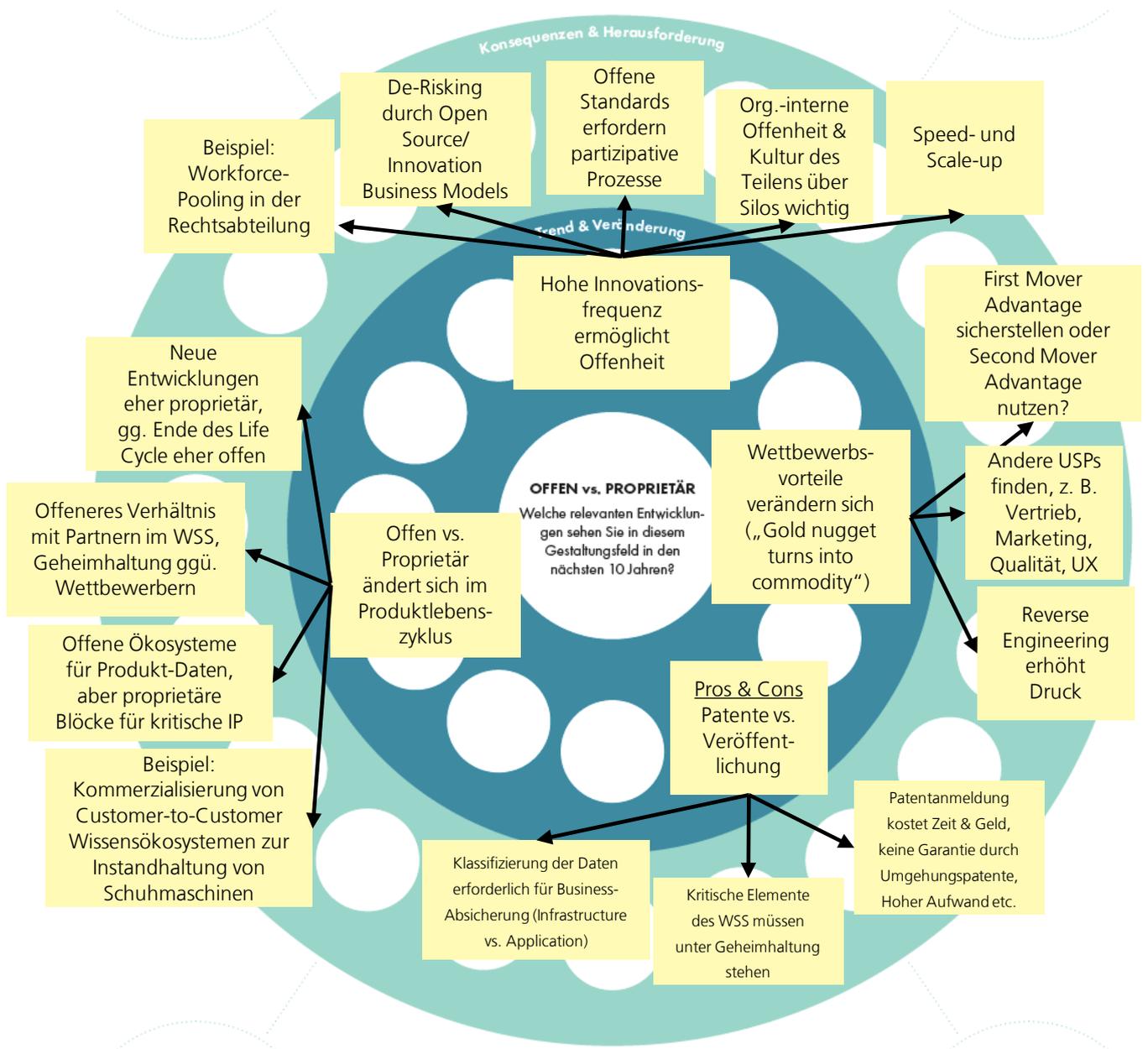


Abbildung 1: Trends und Konsequenzen im Kontext Offen vs. Proprietär

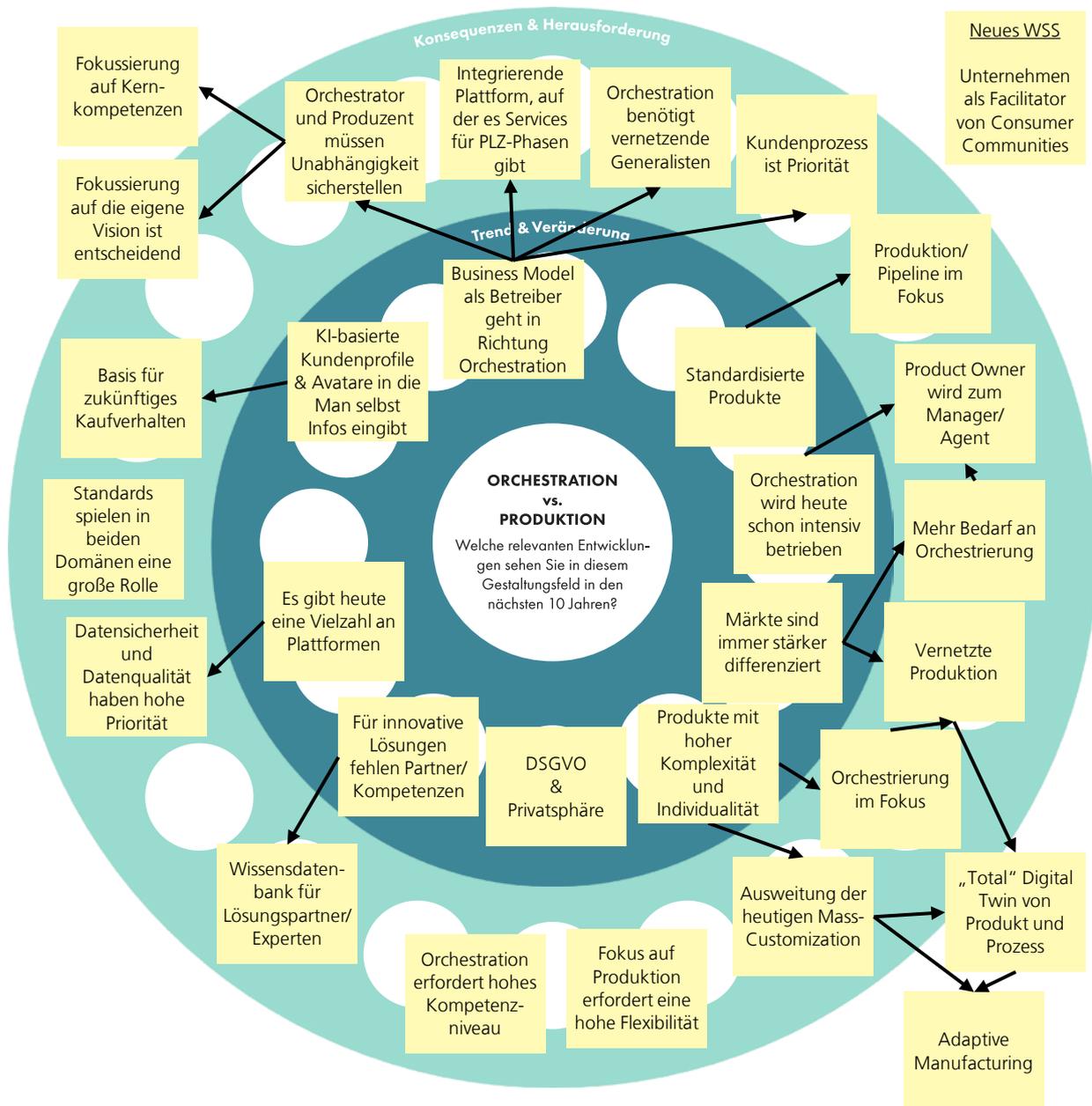


Abbildung 2: Trends und Konsequenzen im Kontext Orchestration vs. Produktion

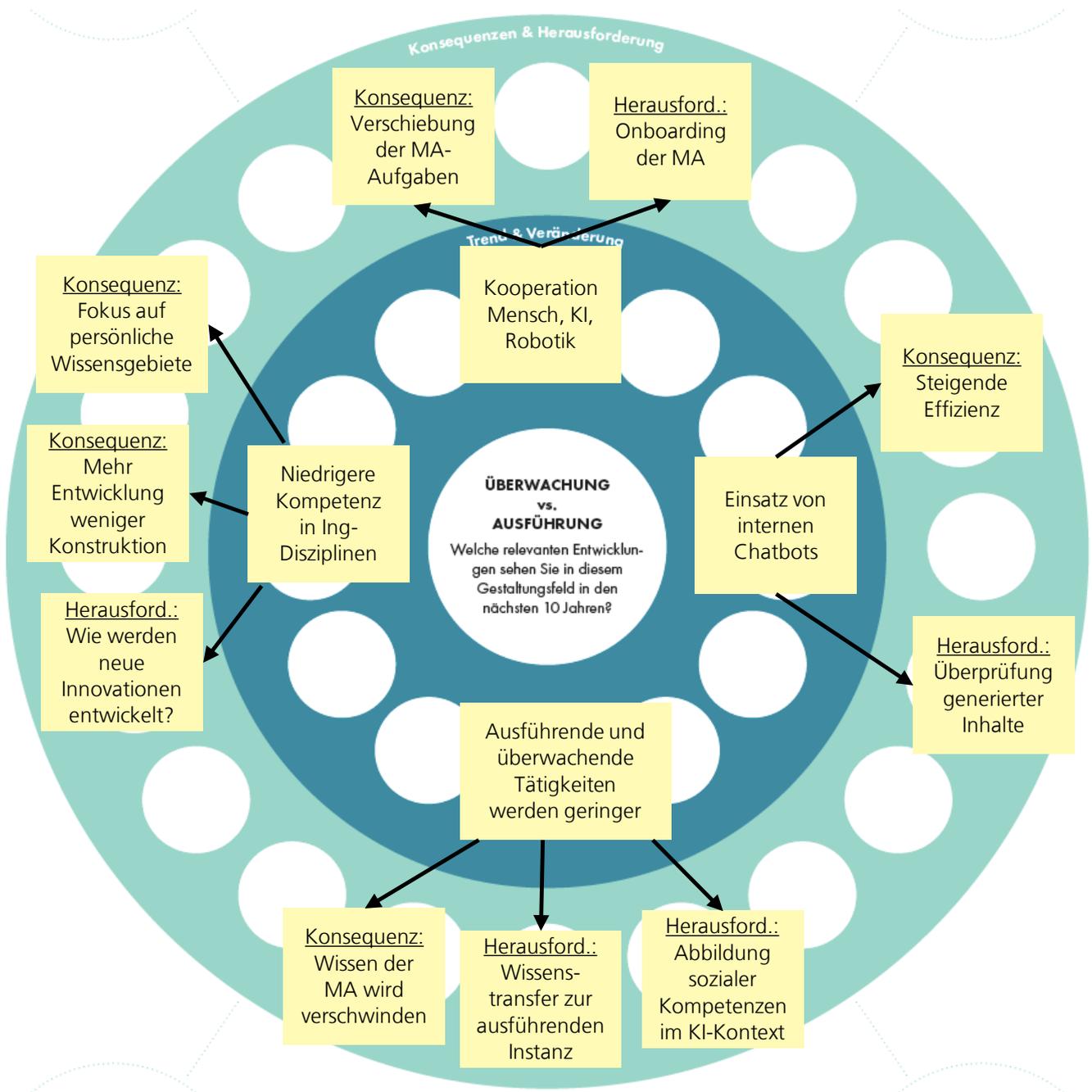


Abbildung 3: Trends und Konsequenzen im Kontext Überwachung vs. Ausführung

Thematik	Nr.	Fragestellung	Adressat
Rahmenbedingungen	1	Können Regularien ausgedünnt werden und in Anreize und Zielsetzungen umdefiniert werden?	Internationale Politik Nationale Politik Unternehmen Wissenschaft
	2	Wie sieht die Rohstoffausbeute heute im Falle von Recycling aus? – Recycling Yield – Wie kann man sie erhöhen?	Nationale Politik Wissenschaft
	3	Welche Rohstoffe sind strategisch wichtig?	Internationale Politik
	4	Auffindbarkeit von def. strategisch Rohstoffen in im Markt befindlichen Produkten: Wo finde ich diese Rohstoffe/In welchen Produkten?	Internationale Politik Nationale Politik Verbände Unternehmen
	5	Recycling vs. Reparatur vs. Neubeschaffung: Wie sieht die Gesamtbilanz aus vom Rohstoff zum Endprodukt? Ist Recycling tatsächlich so gut (Umwelt, Soziales, Wirtschaft, Arbeitsplätze, Ökonomie, Bedarfskreierung, Innovation, Weiterentwicklung der Technologie etc.)	Wissenschaft
	6	Wie bewerten wir die Vorteile der besseren Umweltbilanz im Vergleich zu einer schlechteren Sozialperformance? LCA muss vollständig objektiv sein.	Internationale Politik Nationale Politik Verbände Unternehmen Wissenschaft Technologie-sachverständige
	7	Wie dürfen WSS aufgesetzt sein, um legal zu sein? (Kartellrecht etc) Sind sie dann noch hilfreich? Lösen sie noch Herausforderungen? Wie offen/kollaborativ sind Unternehmen wirklich, wenn es darauf ankommt?	Unternehmen Wissenschaft
Technologie	8	Welche spezifischen KI-Felder im Rahmen des gesamten Wertschöpfungssystem müssen bespielt werden, um die Transformation zu beschleunigen?	Nationale Politik Unternehmen Wissenschaft
	9	Wie machen wir neue Technologien zugänglich?	Nationale Politik
	10	Wie lassen sich informationstechnische Systeme (ERP/MES) vereinfachen, sodass sie einfach genutzt werden können?	Unternehmen Wissenschaft
	11	Wie können Auswertungen z. B. Condition Monitoring so standardisiert werden, dass sie Plug and Play nutzbar sind (KI-Data lake)?	Unternehmen Wissenschaft

Tabelle 1: Forschungsfragen mit kurzfristigem Handlungsbedarf (Fortsetzung auf nächster Seite)

Thematik	Nr.	Fragestellung	Adressat
Organisation	12	Wenn das Ziel WSS sind, wer/wie/aus welcher Motivation heraus kann und sollte diese steuern/orchestrieren? Mit welchen Zielen? Wie kann man WSS steuern/orchestrieren? Welche Voraussetzungen sind dafür z. B. systemisch nötig? Wo sollen die herkommen? z. B. Standards (an vielen Stellen doch viel schwieriger zu definieren/aufzusetzen als evtl. ursprünglich gedacht)	Internationale Politik Unternehmen Wissenschaft
	13	Wie gestalte ich als Unternehmen ein Wertschöpfungsnetzwerk in einer Kreislaufwirtschaft? Design for Disassembly? Design for Repair? Entstehen neue Geschäftsmodelle/Ändern sich bestehende?	Verbände Unternehmen Wissenschaft
	14	Welche Anreize könnten geschaffen werden, um das Thema Reuse in der Industrie stärker zu fördern ohne Regularien aufzusetzen?	Nationale Politik Unternehmen Wissenschaft

Tabelle 1: Forschungsfragen mit kurzfristigem Handlungsbedarf (Fortsetzung von vorheriger Seite)

Thematik	Nr.	Fragestellung	Adressat
Rahmenbedingungen	15	Wie (könnte/müsste) ein Bildungssystem Deutschlands aussehen, um die Herausforderungen der Zukunft zu meistern?	Nationale Politik Unternehmen Wissenschaft
	16	Wie lässt sich die Begeisterung für Technik in Deutschland wieder wecken? Wie bekommen wir die Verknüpfung der Disziplinen hin?	Wissenschaft Pädagogik
Technologie	17	Deep Dive: Mensch UND KI oder nur KI? Konsequenzen aus exponentiell wachsenden KI-Anwendungen auf die Rolle des Menschen im WSS: Wer überwacht bald wen? Welche Rolle bleibt für den Menschen?	Internationale Politik Nationale Politik Verbände Unternehmen Wissenschaft Sozialwissenschaft
	18	Existieren bereits Technologien, um alle strategischen wichtigen Rohstoffe aus Produkten zu recyceln?	Wissenschaft
	19	Wie kann KI Unternehmen im Bereich der Wertschöpfungskette effizient unterstützen?	Wissenschaft
Organisation	20	Transformation in das zukünftige Wertschöpfungssystem: Machen lokale/regionale WS-Ketten Sinn? Können diese ökonomisch bestehen? Was steht diesen im Wege? Ist die Recyclingquote eine Bedingung oder Konsequenz?	Internationale Politik Nationale Politik Verbände Unternehmen Wissenschaft
	21	Design des WSS: Impact on People! Welche Hürden gibt es? Wie räume ich diese aus dem Weg?	Internationale Politik Nationale Politik Verbände Unternehmen Wissenschaft

Tabelle 2: Forschungsfragen mit mittelfristigem Handlungsbedarf

Kontakt

Fraunhofer ISST

**Fraunhofer-Institut für Software-
und Systemtechnik ISST**

Speicherstraße 6
44147 Dortmund
www.isst.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Boris Otto
boris.otto@isst.fraunhofer.de

Philipp Hagenhoff
philipp.hagenhoff@isst.fraunhofer.de

Lea Krammer
lea.krammer@isst.fraunhofer.de

Fraunhofer IAO

**Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
und Organisation IAO**

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de

Prof. Dr. Katharina Hölzle
katharina.hoelzle@iao.fraunhofer.de

Felix Bickert
felix.bickert@iao.fraunhofer.de

Benjamin Schneider
benjamin.schneider@iao.fraunhofer.de

Bildnachweise

©easybanana – AdobeStock, Cover, S.26

©Lena Sodenkamp, S.3, S.31

©pressmaster – AdobeStock, S.6

©nomi – AdobeStock, S.10-11

©David – AdobeStock, S.12

©Wattana – AdobeStock, S.16

©REDPIXEL – AdobeStock, S.18

©Johannes – AdobeStock, S.20

©Mr.Mockup – AdobeStock, S.21

©by-studio – AdobeStock, S.28-29