



Forschungsrahmenplan
2024 – 2029



Inhaltsverzeichnis

1	Positionierung und Zielsetzung.....	5
2	Zukünftige thematische Schwerpunktthemen.....	7
3	Handlungsfelder in der Forschung	11
3.1	Bereich Business Transformation	11
3.2	Bereich Dienstleistungsmanagement	12
3.3	Bereich Informationsmanagement	14
3.4	Bereich Smart Mobility	17
3.5	Bereich Produktionsmanagement	19
4	Konklusion und Ausblick	23

Stand: 14.11.2023

Kommentiert vom Forschungsbeirat am: 21.11.2023

Vom Präsidium des FIR genehmigt am: 21.11.2023

Forschung nutzen.
Mehrwert schaffen.

1 Positionierung und Zielsetzung

Aktuelle Megatrends wie Nachhaltigkeit, Globalisierung, demografischer Wandel und Migration führen zu fundamentalen Veränderungen in Wirtschaft und Gesellschaft. Digitalisierung, Vernetzung und neue Technologien schaffen neue Anwendungen und eröffnen neue Wertschöpfungspotenziale für die Industrie. Zahlreiche Krisen der letzten Jahre zwingen die Unternehmen zu einem Paradigmenwechsel, bei dem die Tragfähigkeit bisheriger Geschäftsmodelle und Organisationen infrage gestellt wird.

Inhaltlich adressiert das FIR diese Transformationen von Unternehmen bereits seit 70 Jahren, da es als eine gemeinnützige, branchenübergreifende Forschungs-, Beratungs- und Ausbildungsentität an der RWTH Aachen auf dem Gebiet der Betriebsorganisation tätig ist. Dies erfolgt mit einer geeigneten Infrastruktur zur experimentellen Organisationsforschung methodisch fundiert, wissenschaftlich relevant und unter direkter Beteiligung von Expert:innen aus der Wirtschaft.

Das FIR konzentriert seine Kräfte auf jeweils aktuelle Herausforderungen mit dem Ziel, die zukünftigen Wertschöpfungspotenziale produzierender und dienstleistungsorientierter Unternehmen zu fördern, um so einen Beitrag zur Transformation der Unternehmen sowie zum Wachstum und zur Wettbewerbsfähigkeit zu leisten. Mit anwendungsorientierter Forschung erschließt das Institut die Potenziale der Digitalisierung als Motor für innovative Geschäftsprozesse. Im Fokus stehen die Nachhaltigkeit und im Besonderen Lösungen für die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft (eng. *Upgrade Circular Economy*), die Ressourceneffizienz und ökologische sowie soziale Verantwortung der Unternehmen in Einklang bringt.

Zur Erreichung dieser Ziele forscht, qualifiziert und berät das FIR in den Bereichen Business Transformation, Dienstleistungsmanagement, Informationsmanagement, Produktionsmanagement und Smart Mobility. Mit der Auf- und Verbreitung von Wissen, der Erarbeitung von Referenzmodellen und Ordnungsrahmen sowie der Entwicklung von Modellen, Methoden und Standards gibt das FIR maßgebliche Impulse für die digitale Transformation von produzierenden und dienstleistungsorientierten Unternehmen einer Vielzahl von Branchen.

Die Beantwortung von Fragen zur Aufbereitung, Bereitstellung und Verwendung von Daten ist im Rahmen der Digitalisierung Ausgangspunkt der Forschungstätigkeit. Darauf aufbauend entwickelt das FIR Lösungen für die Gestaltung von zukünftig tragfähigen Wertschöpfungssystemen und nachhaltigen Organisationsstrukturen.

Zur Stärkung des Standorts NRW unterstützt das FIR als Johannes-Rau-Forschungsinstitut die Forschungsstrategie des Landes und beteiligt sich an den entsprechenden NRW-Landesclustern. Hier wurden die sogenannten Leitthemen konstituiert, denen sich das FIR verpflichtet fühlt:

- Industrie und Umwelt – Wie können wir Produktion, Logistik und Mobilität nachhaltig gestalten?
- Städte und Infrastruktur – Wie können wir angesichts des demografischen Wandels und der sich wandelnden Anforderungen lebenswerte Städte und adäquate Infrastrukturen gestalten?
- Gesellschaft und Digitalisierung – Welche Chancen und Herausforderungen bringt die Digitalisierung aller Bereiche unseres Lebens mit sich und wie können wir diese zum Wohl von Individuum und Gesellschaft gestalten?
- Globalisierung und Integration – Wie können wir die Auswirkungen der Globalisierung auf lokaler und regionaler Ebene an verschiedenen Orten der Welt menschenwürdig gestalten? Den Ressourcen und der Kultur wird gemäß dem Anspruch einer konsistenten Unternehmensgestaltung Rechnung getragen.

Der Forschungsrahmenplan repräsentiert die Leitlinie für die Forschungsprojekte des FIR e. V. an der RWTH Aachen in den kommenden fünf Jahren. Ausgehend vom übergeordneten Ziel des FIR, die Nachhaltigkeit im Rahmen der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft auf Basis einer vernetzten Digitalisierung zu fördern und so einen Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit zu leisten, beschreibt er relevante Forschungsfragen sowie die in den Forschungsbereichen geplanten Maßnahmen. Er gibt die strategischen Forschungsziele und die damit verbundenen Forschungsgegenstände des Instituts für die Jahre 2024 – 2029 vor. In Bezug auf konkrete Forschungsgegenstände hat er mittelfristigen Charakter und bestimmt über diese Periode die inhaltliche Gestaltung von Forschungsanträgen, Dissertationen, Studien und bedeutenden Forschungsinitiativen.

The background is a dark blue gradient with a complex network of glowing blue lines and nodes. In the lower half, there are several overlapping circular patterns, some resembling a globe's grid and others like concentric rings or data tracks. The overall aesthetic is futuristic and technological.

Thematische Schwerpunkte

2 Zukünftige thematische Schwerpunkte

Die Transformation unserer Wirtschaft war in den letzten Jahren geprägt durch die Digitalisierung der Wertschöpfung und insbesondere durch die Umsetzung des Konzepts von Industrie 4.0. Ziel war und ist die Steigerung der Produktivität auf allen Ebenen der Wertschöpfung. Heute sind Unternehmen gezwungen, zudem Nachhaltigkeitsziele zu erreichen und dazu Strategien wie die der Kreislaufwirtschaft (eng. *Circular Economy*) für sich zu interpretieren und umzusetzen. Die damit einhergehende Transformation wird in ihrem Zusammenspiel mit der Digitalisierung unter dem Begriff der Twin-Transition diskutiert. Twin-Transition bedeutet die gleichzeitige Umsetzung von Kreislaufwirtschaft und digitaler Transformation, bei der digitale Technologien genutzt werden, um die Effizienz und Nachhaltigkeit wirtschaftlicher Prozesse zu steigern.

Dies ermöglicht eine bessere Ressourcennutzung und einen geschlossenen Kreislauf in der Wirtschaft, was zu umweltfreundlicheren und profitableren Geschäftsmodellen führt. Insbesondere bildet die Nutzung digitaler Technologien die Basis für Innovation in der Wertschöpfung im Sinne einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft. Für das FIR ergeben sich unter Nutzung seiner bereits bestehenden Stärken in den Bereichen der Betriebsorganisation und Digitalisierung die folgenden, zukünftigen Themenschwerpunkte:

- Upgrade Circular Economy
- Life-Cycle-Digital-Product-File
- Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)
- Re-Assembly Factory Concept

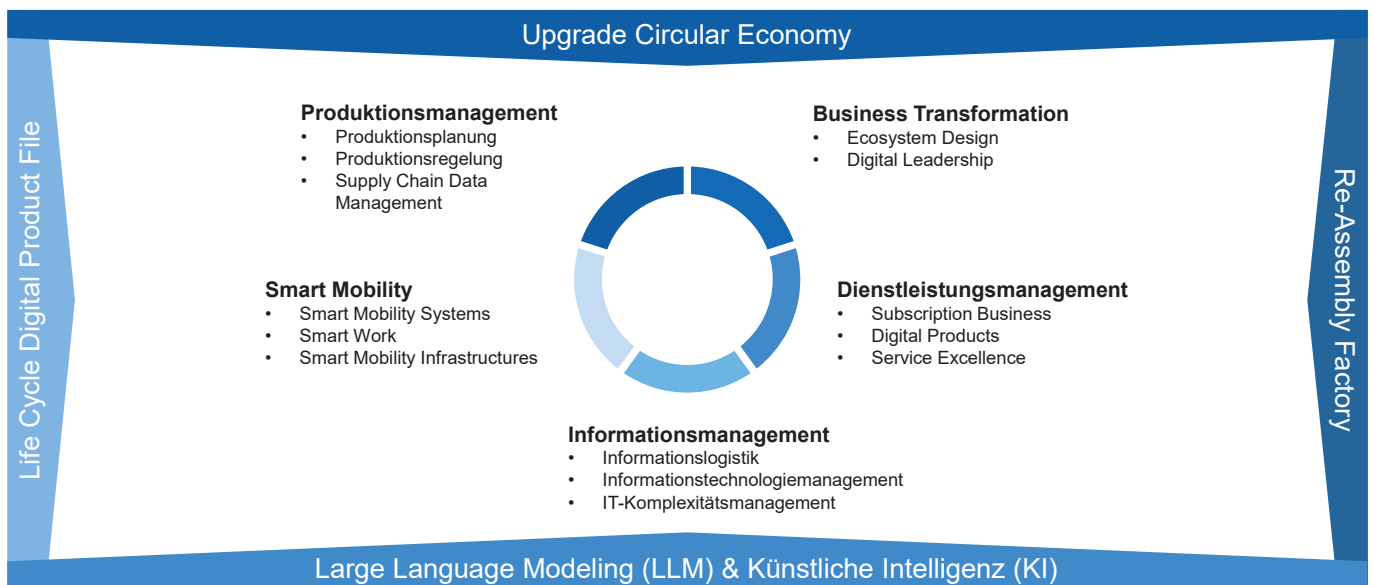


Bild 1: Die Themen des FIR im Kontext zukünftiger Schwerpunkte

Upgrade Circular Economy

Für die Umsetzung des Konzepts der Kreislaufwirtschaft werden verschiedene Strategien diskutiert. Diese sogenannten r-Strategien der Circular Economy konzentrieren sich auf die Reduzierung, die Wiederverwendung und das Recycling von Ressourcen, um Abfall zu minimieren und eine nachhaltige Ressourcennutzung zu fördern. Für das FIR konstituierend ist in diesem Zusammenhang das Konzept der **wertsteigernden Kreislaufwirtschaft** (eng. *Upgrade Circular Economy*, kurz UCE). Ohne die aufgezeigten r-Strategien zu negieren, liegt der explizite Fokus der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft darauf, durch Aufwertungen im Lebenszyklus eines Produkts den für den Kunden relevanten Nutzen mindestens beizubehalten, wenn nicht sogar deutlich zu steigern. Der Begriff der *Upgrade Circular Economy* wird synonym verwendet. Eine zentrale These ist, dass gleichzeitig zur Steigerung des Kundennutzens für diesen auch Kostenvorteile durch die Wiederverwendung von Komponenten und Systemen erzielt werden und die *Upgrade Circular Economy* somit wertsteigernd für den Kunden ist. Das Konzept der UCE hat vielfältige Implikationen auf Angebotsformen, Wertschöpfungsprozesse, Organisationssysteme sowie eingesetzte IT und Software. Vor diesem Hintergrund ist es zukünftig konstituierend für das FIR.

Life Cycle Digital Product File

Die digitale Produktakte ist ein Datensatz, der die Komponenten, Materialien und chemischen Substanzen oder auch Informationen zu Reparierbarkeit, Ersatzteilen oder fachgerechter Weiterverwendung bis hin zur Entsorgung für ein Produkt zusammenfasst. Die digitale Produktakte ist damit essenziell für die Gestaltung zukünftiger Wirtschaftssysteme, wenn diese den Prinzipien der *Upgrade Circular Economy* genügen sollen. Die digitale Produktakte findet ihre Umsetzung in Form des digitalen Produktpasses, dessen Umsetzung gemäß der Planung der Europäischen Kommission per Gesetz vorgeschrieben werden soll. Für die Batterieproduktion gilt diese Vorschrift bereits seit 2023. Die digitale Produktakte sowie deren Umsetzung, beispielsweise in Form des digitalen Produktpasses, sind essenzielle Komponenten zukünftiger digitaler und nachhaltiger Geschäftssysteme. Ohne ein profundes Anwendungswissen werden Unternehmen nicht wettbewerbsfähig sein. Es handelt sich daher um eines der zentralen Zukunftsthemen des FIR.

Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)

Large Language Modeling bezieht sich auf die Entwicklung und Verwendung von KI mit dem Ziel, menschliche Sprache in großem Umfang zu verstehen und zu generieren. Diese Modelle werden anhand großer Mengen von Textdaten trainiert und können Aufgaben wie Textgenerierung, Übersetzung, Zusammenfassung und Textverständnis durchführen. Wurde der Einsatz von KI bis vor kurzem insbesondere mit der Effizienzsteigerung in repetitiven Prozessen in Verbindung gebracht, so gewinnen derzeit Verfahren der sog. generativen KI zunehmend an Bedeutung in kreativen Berufen wie der Architektur und dem Design sowie in ingenieurwissenschaftlichen Disziplinen der Planung und Entwicklung. Der Einfluss auf zukünftige Strukturen der Organisation und Arbeit ist derzeit noch nicht abschätzbar. Umso wichtiger ist die Auseinandersetzung mit dem Thema für das FIR gemäß seinem Auftrag der Gestaltung anwendungsorientierter und damit anwendbarer Systeme für Unternehmen.

Re-Assembly Factory Concept

Das Konzept der *Re-Assembly Factory* ist essenziell für die Umsetzung der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft. Wenn durch die Anwendung der Prinzipien der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft ein wirklicher Effekt erzielt werden soll, müssen skalierbare und effiziente Prozesse in der Produktion und in allen logistischen Systemen geschaffen werden. Ziel ist, alle für die *Upgrade Circular Economy* notwendigen Prozesse, wie beispielsweise Prozesse der Rückführung von Produkten, der Demontage, der Wiedermontage sowie der Verteilung oder Bereitstellung von Produkten, in einem industriellen Maßstab und wirtschaftlich tragfähig zu realisieren. Die dazu notwendigen Informationssysteme und Softwareanwendungen bedürfen eines Höchstmaßes an Interoperabilität. Die Nutzung von Daten und Algorithmen einschließlich KI muss mit dem Ziel erfolgen, komplexe Ökosysteme in der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft zu realisieren und zu optimieren. Dem FIR bietet sich hier ausgehend von seinen bestehenden Kompetenzen ein relevantes, zukünftiges Themenfeld.

Die Bereiche des FIR werden in der folgenden Abbildung im Kontext der vier aufgeführten, zukünftigen Themenschwerpunkte dargestellt. Die Detaillierung der derzeitigen Bereichsschwerpunkte sowie der jeweiligen Bezüge zu den zukünftigen Themenschwerpunkten erfolgt im folgenden Abschnitt.





Business Transformation
Dienstleistungsmanagement
Informationsmanagement
Produktionsmanagement
Smart Mobility

3 Handlungsfelder in der Forschung

3.1 Bereich Business Transformation

Im Forschungsbereich *Business Transformation* steht die strategische Neugestaltung von Unternehmen im Zentrum, um den Herausforderungen der digitalen Ökonomie und der industriellen Nachhaltigkeit zu begegnen. Es geht um die Entwicklung neuer Fähigkeiten in der Datennutzung, der Kollaboration innerhalb von *Business Ecosystems* und den Aufbau von organisationalen Transformationsfähigkeiten. Der Forschungsbereich *Business Transformation* fokussiert hierbei insbesondere die notwendige Transformation hin zu einer Kreislaufwirtschaft und unterstützt somit die Realisierung des europäischen Green Deals respektive der von der EU postulierten Twin-Transition sowie der Nationalen Kreislaufwirtschaftsstrategie der Bundesregierung.

Business-Transformation wird als tiefgreifender Wandel verstanden, der durch digitale Technologien wie Datenanalytik, Vernetzung und Künstliche Intelligenz ermöglicht wird und zu einer grundlegenden Neuausrichtung von Geschäftsmodellen und -prozessen führt. Viele Unternehmen stehen jedoch noch am Anfang dieses Prozesses, und ca. 85 Prozent der Transformationsprojekte erreichen nicht die definierten Ziele. Um diese Herausforderungen zu meistern, werden für die holistische Gestaltung und nachhaltige Umsetzung von Transformationen anwendungsnahe Werkzeuge entwickelt. Diese holistische Perspektive wird durch die Gruppen *Ecosystem Design* und *Digital Leadership* entsprochen.

Ecosystem Design

Die Gruppe *Ecosystem Design* widmet sich der Gestaltung und Anpassung von Wertschöpfungsmodellen in Business Ecosystems, insbesondere in der Plattformökonomie. Die Gruppe untersucht, wie Unternehmen sich in neuen Ökosystemen positionieren und welche institutionellen Rahmenbedingungen dafür geschaffen werden müssen. Dabei werden Strategien entwickelt, um Unsicherheiten zu minimieren und die Monetarisierung, Governance sowie Skalierbarkeit in diesen neuen Wertschöpfungsnetzwerken zu optimieren. Zunehmend rücken dabei zirkuläre und digitale Ökosysteme in den Fokus der Betrachtung.

Digital Leadership

Die Gruppe *Digital Leadership* konzentriert sich auf die Entwicklung von Führungskonzepten, die für die digitale Transformation erforderlich sind. Sie erforscht, wie Führungskräfte organisatorische Veränderungen initiieren und steuern können, um den Erfolg von Transformationsprojekten zu sichern. Dazu gehören Methoden wie das Transformation-Readiness-Assessment und der Digital-Leadership-Canvas, die dabei helfen, Kompetenzlücken zu identifizieren und Führungsrollen neu zu definieren.

Bezug zu den Zukunftsthemen des FIR

Upgrade Circular Economy

Die Etablierung von Ökosystemen für die UCE erfordert eine dynamische Struktur verschiedener Akteure, die ihre Aktivitäten

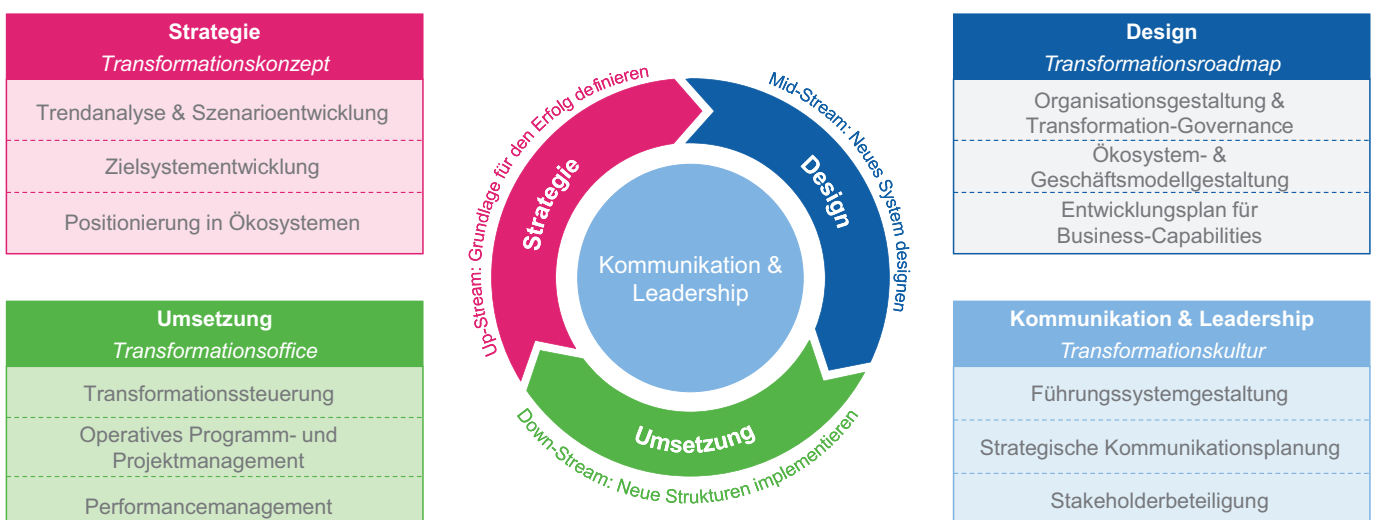


Bild 2: Business Transformation mit dem FIR – Wir gestalten nutzerorientiert und fundiert den Wandel Ihrer Organisation und unterstützen bei der Umsetzung

auf ein gemeinsames Wertversprechen hin koordinieren. Langzyklische Produkt-Service-Systeme verlangen eine orchestrierte Technologieplanung und die Entwicklung neuer Eigentums- und Besitzverhältnisse sowie Finanzierungsmodelle. Die Rolle der Produkthersteller wandelt sich dabei zu einem orchestrierenden Produktverantwortlichen, was neue Muster von Wertschöpfungssystemen hervorbringt. Um diese UCE-Ökosysteme zu gestalten, werden neuartige Vorgehensmodelle benötigt, die auf bestehenden Expertisen im Bereich der (zirkulären) Ökosystemgestaltung basieren. Ein Beispiel hierfür ist das Vorreiterprojekt OSCAR (s. S. 16).

Der Übergang zur UCE verlangt ein fundamentales Umdenken in Produktarchitektur, Innovationsstrategie, Geschäftsmodell und Wertschöpfungsstrategie. Der *Upgrade Circular Economy Maturity Index* soll Unternehmen dabei unterstützen, ihren aktuellen Reifegrad zu messen und zu analysieren, um daraus nächste Schritte abzuleiten. Dieses Instrument baut auf Erkenntnissen aus der Erstellung und Anwendung des *Industrie 4.0 Maturity Index* auf.

Life Cycle Digital Product File

Für den Aufbau von UCE-Ökosystemen ist eine geteilte technologische Infrastruktur essenziell. Ein durchgehendes *Life Cycle Digital Product File* stellt den verschiedenen Rollen die notwendigen Daten zur Verfügung und ermöglicht eine optimierte Ressourcennutzung. Die Entwicklung von Informationsmodellen, die eine kontinuierliche Steigerung des Kreislaufvolumens ermöglichen, ist hierbei von zentraler Bedeutung.

Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)

Die Integration von Künstlicher Intelligenz (KI) in Unternehmen stellt Führungskräfte vor Herausforderungen, insbesondere im Bereich der Mensch-Maschine-Interaktion und des ethischen Umgangs mit KI. Führungskräfte müssen sich mit den technologischen, menschlichen und organisatorischen Auswirkungen von KI auseinandersetzen und benötigen unterstützende Werkzeuge, um neue Governance-Strukturen für Organisationen zu schaffen.

Re-Assembly Factory Concept

UCE impliziert den Bau neuer und die Umstellung bestehender Produktionsstandorte zu sog. *Re-Assembly Upgrade Factories*. Der Produktionsfokus verschiebt sich zunehmend vom Neuprodukt zum Re-Assembly Upgrade. Dies stellt neue Anforderungen an IT-Systeme, Prozesse und die Fähigkeiten der Mitarbeitenden. Es müssen neue Organisationsdesigns für *Re-Assembly Upgrade Factories* entwickelt werden, wobei ein besonderer Fokus auf dem Fachkräftemangel liegt.

3.2 Bereich Dienstleistungsmanagement

Zahlreiche Industrieunternehmen befinden sich mitten im Wandel vom Produzenten zum Service- bzw. digitalen Lösungsanbieter. In einer zunehmend digital vernetzten Welt differenzieren sich erfolgreiche Industrieunternehmen durch industrielle Services und die Erweiterung ihres Angebots um digitale Produkte sowie die erfolgreiche Entwicklung und Umsetzung innovativer Geschäftsmodelle. Im Zentrum der Forschung steht die konsequente Ausrichtung am Kundennutzen im Sinne der Service-Dominant-Logic. Durch die Verbindung Smarter Produkte mit physischen und digitalen Services im Sinne eines integrierten Leistungssystems wird ein überlegener Kundennutzen erzeugt. Das Dienstleistungsmanagement orientiert sich mit den drei Gruppen *Service Excellence*, *Digital Products* sowie *Subscription Business* an den sich bedingenden Geschäftsmodellstufen auf dem Weg vom Produkt- über den Service- hin zum digitalen Lösungsanbieter. Damit ebnet das Dienstleistungsmanagement den Weg zur wertsteigernden Kreislaufwirtschaft, wie im Anschluss an die Vorstellung der einzelnen Gruppen beschrieben wird.

Service Excellence

Die Gruppe widmet sich der Untersuchung und Entwicklung von Strategien, Methoden und Best Practices, um herausragende Serviceleistungen in Unternehmen zu fördern und die Kundenerfahrung und -zufriedenheit auf ein Höchstmaß zu steigern. Dabei liegt das Hauptziel der Gruppe in der Identifizierung praxisnaher Ansätze rund um das Stichwort *Customer Obsession*, die eine nachhaltige Verbesserung der (digitalen) Servicequalität mit dem Kunden im Zentrum aller Aktivitäten sicherstellen.

Digital Products

Die Gruppe untersucht die Entwicklung und Integration digitaler Produkte im industriellen Serviceportfolio. Dabei müssen die digitalen Produkte konsequent am Kundennutzen ausgerichtet und dieser im Sinne des wertbasierten Pricings als Preisgrundlage herangezogen werden. Die Gruppe erforscht in diesem Zuge innovative Pricing-Verfahren wie das Value-based Pricing sowie den komplementären Vertrieb digitaler Produkte über das Value-based Selling.

Subscription Business

Die Ausrichtung der Forschungstätigkeit folgt der Prämisse, dass Unternehmen durch Subscription-Geschäftsmodelle (z. T. auch als Equipment-as-a-Service oder Pay-per-X bezeichnet) einen revolutionären Wettbewerbsvorteil erzielen. Die

Forschung untersucht die Erfolgsfaktoren, die Unternehmen in die Lage versetzen, die technischen Möglichkeiten von Industrie 4.0 über Subscription-Geschäftsmodelle in nachhaltige, wirtschaftliche Erfolge umzusetzen.

Bezug zu den Zukunftsthemen des FIR

Upgrade Circular Economy

Für eine funktionierende wertsteigernde Kreislaufwirtschaft ist der Auf- und Ausbau eines industriellen und digitalen Servicegeschäfts für produzierende Unternehmen essenziell. Hypothese: Ohne ein sichergestelltes Servicegeschäft, entweder durch das eigene Unternehmen oder durch Dritte, kann kein Unternehmen vollends in wertsteigernden Kreisläufen agieren. Denn der größte Teil der Emissionen von Produkten fällt während der Nutzungsphase an, auf welche der Service einen starken Einfluss nehmen kann. Die Stellhebel für den Service sind vielfältig: Anwenderschulungen für eine effizientere Nutzung, Instandhaltungsdienstleistungen zur grundlegenden Verlängerung von Produktlebenszyklen, Optimierung der Nutzungsphase durch datenbasierte Services oder auch alle Demontage/Rückbauservices bis hin zum Gebrauchsgeschäft. Sowohl in Beratung als auch Forschung muss der Bereich Dienstleistungsmanagement diese bereits etablierten Services für eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft messbar machen, d. h. den Wertbeitrag der Services ermitteln und ausweisen können. Weiterhin muss der Bereich Dienstleistungsmanagement dieses Fundament nutzen und einen Schritt weiterden-

ken: Eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft zu etablieren, wird zukünftig im Wesentlichen von der Vereinbarkeit zwischen ökologischer und ökonomischer Zielsetzung abhängen. Demnach geht es im Wesentlichen um das Geschäftsmodell produzierender Unternehmen. Mit serviceorientierten bzw. digitalen Geschäftsmodellen, wie dem im Bereich Dienstleistungsmanagement verorteten *Subscription Business*, besteht hohes Potenzial für einen Geschäftsmodell-Blueprint, der die beiden Zielsetzungen vereint.

Life Cycle Digital Product File

Aus Sicht des Service spielt eine digitale Produktakte über den Lebenszyklus eine zentrale Rolle zur Etablierung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft. Im Vergleich zum Produktionsprozess umfasst der Nutzungsprozess durch den Kunden den wesentlich größeren Anteil am Gesamtlebenszyklus. Im Sinne der für den Bereich zentralen *Service-Dominant-Logic* ist es sogar erst die Nutzungsphase, die den Wert einer Leistung für die Kund:innen bestimmt. In der digitalen Produktakte müssen demnach vor allem Serviceinformationen aus der Nutzungsphase gespeichert bzw. zusammengeführt werden. Heute geschieht dies noch in vielen Fällen durch händische Meldung von Serviceinformationen, die im Anschluss mit den technischen Objekten verknüpft werden. In Zukunft muss eine automatisierte Zusammenführung aller Daten über die Nutzungsphase von Produkten unbedingt forciert werden, um die Serviceeinsätze effizienter durchführen und neue digitale Geschäftsmodelle wie Subscription/XaaS überhaupt erst ermöglichen zu können. Der Service kann dazu als Brückenbauer fungieren, um die Hemmnisse für den Datenaustausch zwischen



Bild 3: Erfolgreiches Management & Vertrieb von digitalen Produkten (Bilder: © heidelberg.com)

Kunden und Anbieter durch vertrauensvolles Beziehungsmanagement abzubauen.

Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)

Large Language Models besitzen im Serviceökosystem eine herausragende Bedeutung in der Zukunft und nehmen im Gesamtkontext einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft einen zentralen Baustein im Sinne der Effizienzsteigerung von Serviceprozessen ein. Service ist per se ein heute noch sehr personenzentriertes Geschäft. Auch wenn durch digitale Services viele Prozesse automatisiert werden können, ist der Einsatz von Servicetechnikern im Feld gefragt denn je. LLM bieten speziell für die Schnittstelle zwischen Servicetechniker und Kundenunternehmen diverse Chancen. Chatbots sind bereits heute im Einsatz und verändern damit die Welt im Service, von der Anbieter- hin zur Kundenseite, in dem deutlich mehr Self-Services durchgeführt werden können. LLM können im Rahmen von Chatbots eingesetzt und damit der Self-Service-Anteil deutlich erhöht werden. Auch für Servicetechniker selbst kann der Zugriff auf umfassendes, aggregiertes Wissen durch LLM im Einsatz einen entscheidenden Beitrag für Effizienzsteigerungen und damit z. B. eingesparte Anfahrten, eine höhere First-Time-Fix Rate etc. leisten. KI allgemein bietet für den Ausbau der Predictive-Maintenance-Ansätze enorm hohes Potenzial, sodass mehr Anwendungsfälle wirtschaftlich umgesetzt werden können und damit die Planbarkeit im Service verbessert werden kann.

Re-Assembly Factory Concept

Das Re-Assembly-Konzept, bezogen auf eine Fabrik, ist aus Servicesicht ein sehr spannender Angriffspunkt, um die bereits seit Jahren erprobten Servicekonzepte aus dem Feld nun in einen industriell operationalisierten Prozess zu überführen. Die Themen wie „Unplanbarkeit von Serviceeinsätzen“, „Unregelmäßige Ersatzteilverfügbarkeit“, „Zustandserkennung von Assets“ oder „Reverse-Logistik beim Austausch“ sind nun nicht mehr nur für den Service, sondern auch für die Re-Assembly-Fabrik von zentraler Bedeutung. An dieser Stelle besteht die große Chance, die Themen aus dem Bereich Dienstleistungsmanagement gemeinsam mit Bereichen wie der Fabrikplanung oder dem Produktionsmanagement zu kombinieren. Dazu können z. B. die Themen „Condition-Monitoring“ und „Durchgängigkeit der Serviceinformationen über den Produktlebenszyklus“ in Kombination mit der Rückführlogistik sowie der Produktionsplanung und -steuerung bzw. dem modularen Anpassen von Fabrikkonzepten gedacht werden. Weiterhin kann die Re-Assembly-Fabrik auch selbst als „Service“ betrachtet werden, sodass der Bereich Dienstleistungsmanagement das Konzept „Re-Assembly-

as-a-Service“ forschungstechnisch untersuchen und in die Industrie über neue Beratungsangebote zurückführen kann. Gleichzeitig können viele der Themen aus dem Dienstleistungsmanagement wie „Geschäftsmodelle“, „Pricing“ oder „Vertrieb“ auch für die Produkte, die im Anschluss an die Re-Assembly-Fabrik vermarktet werden müssen, relevant sein. Aus Sicht des Bereichs sind die Konzepte der Re-Assembly-Fabrik im Sinne eines „Upgrade-Engineering-Serviceprozesses“ von sehr hoher Relevanz. Die Frage, die z. B. speziell für große stationäre Anlagen beantwortet werden muss, ist, wie die Konzepte der Re-Assembly-Fabrik auf Serviceprozesse außerhalb der Fabrik übertragen werden und dort zu einer Wertsteigerung von Komponenten und Assets im Feld beitragen können.

3.3 Bereich Informationsmanagement

Das Informationsmanagement markiert das zentrale Bindeglied zwischen IT-technischer Unterstützung eines Unternehmens und dessen Wertschöpfungsprozessen. Die digitale Transformation erfordert ein nie dagewesenes Business-IT-Alignment von Unternehmen, da Innovationen Einfluss auf das gesamte Unternehmen haben und nicht mehr nur auf einzelne Bereiche. Unser Ansatz ist es, mit dem *Aachener Digital-Architecture-Management (ADAM)* die bestehenden Lücken zu schließen und Digitalarchitekturen zu entwickeln, die neben internen Anforderungen auch eine externe Sicht berücksichtigen. Die digitale Transformation umfasst interne und externe Kund:innen, die es gesamtheitlich zu adressieren gilt. ADAM stellt diese Kund:innen ins Zentrum aller Betrachtungen und ermöglicht durch die Gestaltung einer Digitalarchitektur digital geprägte Prozesse, vernetzte Produkte und wettbewerbsfähige Geschäftsmodelle.

Das FIR setzt ADAM (s. Bild 4, S. 15) aus verschiedenen Perspektiven um und hat dazu die drei folgenden Forschungsschwerpunkte definiert:

Informationslogistik

Im Zentrum der Informationslogistik steht die Optimierung des Einsatzes der Ressource „Information“ entlang ihres Lebenszyklus in Unternehmen. Künstliche Intelligenz als Technologie und Treiber moderner Datenanalyse wirkt dabei disruptiv auf den Prozess der Gewinnung von Informationen aus Daten und deren kunden- und anwendergerechter Bereitstellung. Die Veredlung von Daten geschieht zunehmend automatisiert. Daher fördert die Gruppe *Informationslogistik* den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in digitalen Architekturen von Unternehmen. Fokusthemen

sind die anforderungsgerechte Auswahl und Gestaltung von KI-Anwendungen und -Plattformen, das dazu erforderliche Kompetenzsourcing sowie die Formulierung einer unternehmensweiten KI-Strategie.

Informationstechnologiemanagement

Die Gruppe *Informationstechnologiemanagement* hat zum Ziel, die kontinuierliche Entwicklung der IT-Architektur in Unternehmen aus der Sicht digitaler Technologien zu unterstützen. Konkret bedeutet dies, dass relevante digitale Technologien am Markt identifiziert, erforscht und für den nutzenbringenden und zielgerichteten Einsatz im Unternehmen aufbereitet werden. Ihre aktuellen Fokusthemen liegen in den Themenstellungen *Eventgetriebene IT-Architekturen*, *Low-Code/No-Code Plattformen*, *Intelligente Produkte* und *5G auf dem Shopfloor*. Die aus den Forschungsprojekten gewonnenen Erkenntnisse führen wir in individuellen Industrieprojekten in die Praxis, wo unser Angebot von der offenen Problemstellung über die Konzeptionierung bis zur prototypischen Umsetzung reicht. Die Betrachtung erfolgt bedarfsgerecht entweder explorativ, also lösungsoffen gegenüber digitalen Technologien, oder fokussiert, durch das Assessment einer spezifizierten Technologie.

IT-Komplexitätsmanagement

Die Gruppe *IT-Komplexitätsmanagement* entwickelt Konzepte, Methoden und Modelle, die es der Unternehmens-IT ermöglichen, sich strategisch auszurichten. Ziel ist, die digitale Transformation sowohl intern umzusetzen als auch Entwicklungsfelder in Richtung Kundschaft und Partnern entlang der Wertschöpfungskette zu realisieren. Die Gruppe konzentriert sich dabei auf Methoden, um die Komplexität der Unternehmens-IT zu überwachen, zu bewerten und zu steuern. Darüber hinaus wird erforscht, welche Kompetenzen die IT-Organisation benötigt und wie sie diese aufbauen kann.

Bezug zu den Zukunftsthemen des FIR

Upgrade Circular Economy

Die Umsetzung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft erfordert eine solide Grundlage in Bezug auf IT-Compliance und -Governance. Dies ermöglicht die Nachverfolgbarkeit der Ressourcenströme und den reibungslosen Ablauf des Wertsteigerungsprozesses. Die IT-Compliance stellt sicher, dass alle gesetzlichen Vorschriften und Standards eingehalten werden, während die IT-Governance die

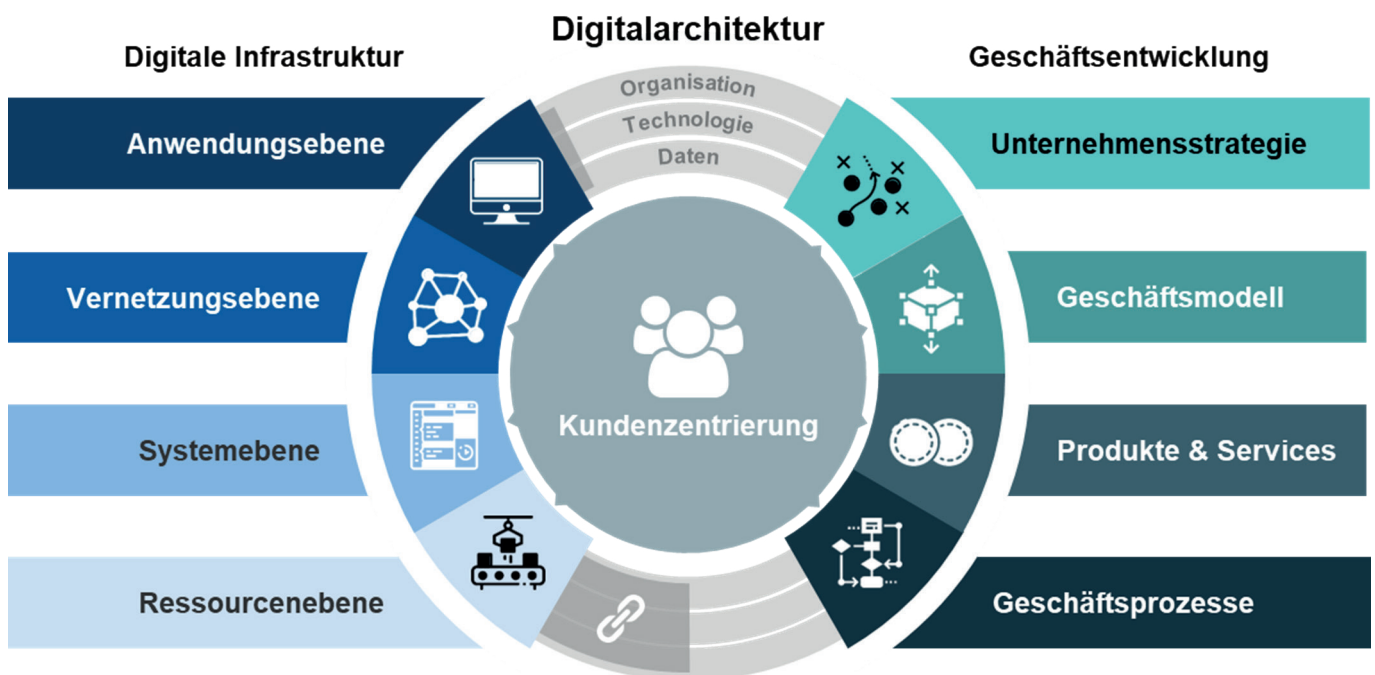


Bild 4: Aachener Digital-Architecture-Management (ADAM) (Bild: © FIR)

effiziente Steuerung und Überwachung der IT-Systeme gewährleistet. In diesem Kontext ist der Aufbau einer robusten IT-Architektur von entscheidender Bedeutung, um Echtzeitdaten für die Steuerung und Optimierung der Kreislaufwirtschaftsprozesse zu nutzen. Hierbei müssen klare Rollen und Verantwortlichkeiten in der IT-Organisation definiert werden, die die Governance und Compliance betreuen.

Voraussetzung für eine wertsteigernde Kreislaufwirtschaft sind funktionierende, interoperable Datenmodelle. Der Bereich Informationsmanagement trägt mit der praktischen Expertise in der Erstellung unternehmensinterner und -übergreifender Datenmodelle zu diesem Meilenstein bei. Die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft basiert nicht nur auf der Transaktion physischer Produkte, sondern auch auf der Wertschöpfung durch Daten. Unternehmen müssen dazu motiviert werden, Daten in kontrollierter und souveräner Weise zu teilen. Die technische Umsetzung der dafür nötigen Monetarisierung, beispielsweise durch dynamische Pricing-Algorithmen, bildet die Gruppe Informationslogistik durch ihre KI-Expertise ab. Eng verbunden mit dieser Aufgabe ist die algorithmische Unterstützung zur Vorhersage der Lebensdauer von Produkten sowie die Entscheidungsunterstützung für optimale Upgrade-Schritte.

Die wertsteigernde Kreislaufwirtschaft erfordert eine präzise Technologieauswahl, um die gesteckten Anforderungen zielgerichtet zu erfüllen. Die Auswahl von Technologien sollte darauf abzielen, eine bedarfsgerechte Integration und Verfügbarkeit vielzähliger heterogener Datenquellen zu gewährleisten. Eventgetriebene IT-Architekturen spielen eine entscheidende Rolle, um diese Integration zu ermöglichen und die wirtschaftliche Funktionsweise der Kreislaufwirtschaft zu unterstützen.

Life Cycle Digital Product File

Eine digitale Produktakte, die für eine *Upgrade Circular Economy* entwickelt wurde, erfordert eine spezifische IT-Architektur und -Organisation, um langfristiges Datenmanagement sicherzustellen. Dies gewährleistet, dass die Produktinformationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg effizient erfasst und genutzt werden können. Dabei ist es wichtig, Datenräume für den sicheren und kontrollierten Datenaustausch zu schaffen, wobei Prinzipien ähnlich denen von GAIA-X angewendet werden können. Diese Datenräume ermöglichen die sichere und interoperable Speicherung und Weitergabe von Informationen über Produkte und Materialien. Um die Integrität der Produktakte zu gewährleisten, ist ein gut durchdachtes Organisationssystem erforderlich. Dieses umfasst die Definition von Verantwortlichkeiten und Prozessen für die Aktua-

lisierung und Erhaltung der Produktakte über den gesamten Lebenszyklus hinweg.

Ein *Life Cycle Digital Product File* muss über einen langen Zeitraum kompatibel mit den im Prozess verwendeten Informationssystemen sein. Der Bereich Informationsmanagement hat zum Ziel, die Interoperabilität und Langlebigkeit einer solchen Akte durch eine an Standards orientierte digitale Architektur und ein robustes Datenmodell zu optimieren. Im Fokus steht dabei die Realisierung von Schnittstellen für den Zugriff durch mehrere Unternehmen sowie die Maximierung des wirtschaftlichen Nutzens, den die beteiligten Unternehmen aus der Produktakte ziehen können.

Eine digitale Produktakte, die für eine *Upgrade Circular Economy* geeignet ist, erfordert die Integration interner und externer Datenquellen in einen digitalen Schatten. Eventgetriebene IT-Architekturen sind ein vielversprechender Ansatz, um diese Integration auf einer kohärenten, zentralisierten Ebene zu ermöglichen. Auch die Upgrade-Fähigkeit zu Intelligenzen Produkten ist von Bedeutung, um relevante Felddaten zu erfassen und den Erfolg der Kreislaufwirtschaft zu unterstützen.

Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)

Die Implementierung von *Large Language Modeling (LLM)* und Künstlicher Intelligenz (KI) kann einen erheblichen Beitrag zur Förderung einer wertsteigernden Kreislaufwirtschaft leisten. Um jedoch diese Technologien effektiv einzusetzen und ihre Vorteile voll auszuschöpfen, ist der Aufbau einer geeigneten IT-Compliance und -Governance von entscheidender Bedeutung. Dies gewährleistet die Einhaltung von rechtlichen Bestimmungen und ethischen Standards bei der Nutzung von LLM und KI im Kontext der Kreislaufwirtschaft, was wiederum das Vertrauen der Akteure stärkt. Darüber hinaus erfordert der erfolgreiche Einsatz von KI eine gut durchdachte Unternehmensarchitektur, die den flächendeckenden Einsatz dieser Technologien zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft ermöglicht. Dies umfasst die Integration von KI in den gesamten Lebenszyklus von Produkten und Materialien, von der Herstellung über die Nutzung bis hin zur Wiederverwertung.

Large Language Models bieten Potenziale in Übersetzung, kreativer Textproduktion und der Erledigung von Routine-Schreibaufgaben – sogar Programmier-, Rechen- und Formatierungsaufgaben können mit einigen Modellen erledigt werden. Diese Hebel zur Effizienzsteigerung können in der Kreislaufwirtschaft einen entscheidenden Beitrag zur Wertsteigerung liefern. Der Bereich

Informationsmanagement erforscht aktiv die Potenziale und Herausforderungen dieser Modelle und befasst sich dabei mit den aktuellen technischen Fragestellungen auf diesem Gebiet, wie z. B. energiesparendes, lokales Deployment, Training auf einer eigenen Wissensbasis und Verwendung von Open-Source-Alternativen.

Die Integration von AI-Auswertungen in die Analyse-Pipeline intelligenter Produkte ermöglicht beispielsweise Condition-Monitoring und die Vorhersage der Restnutzungsdauer (RUL). Low-Code/No-Code(LC/NC)-Ansätze sind wichtig, um LLM und AI durch nicht-technisches Personal konfigurierbar zu machen, was die Effizienz und Anwendbarkeit dieser Technologien weiter steigert.

Re-Assembly Factory Concept

Die Durchführung eines Re-Assembly-Prozesses in einer für diesen Prozess ausgelegten Fabrik erfordert eine entsprechende IT-Architektur. Diese muss in der Lage sein, die Daten zwischen den Akteuren in Echtzeit auszutauschen und für alle verfügbar zu machen. Eine mögliche Lösung ist eine eventgetriebene IT-Architektur, die den Datenaustausch zwischen den Systemen über eine Broker-Architektur ermöglicht. Sie kann auch verwendet werden, um verschiedene Fabriken miteinander zu vernetzen.

Die Re-Assembly-Fabrik steht vor der Herausforderung, eine höhere Prozessvarianz als konventionelle Fabriken beherrschen zu müssen. Um die hohe Frequenz an anfallenden Entscheidungen im Fertigungsprozess zu bewältigen, müssen datenbasierte Methoden herangezogen werden. Hierbei trägt die Gruppe Informationslogistik durch Expertise in den KI-Themen Objekterkennung (für Material- und Bauteilidentifikation), Entscheidungsoptimierung (Finden der optimalen Re-Assembly-Konfiguration) und Prognose (für den Marktbedarf an Upgrades) zur Realisierung des Fabrikkonzeptes bei.

Die Gestaltung einer Fabrik, die sich für Re-Assembly eignet, erfordert Ansätze wie Werkenden-Assistenzsysteme. Solche sind essenziell, um die steigende Variantenvielfalt bei Montage und Demontage zu bewältigen. Flexible Transportsysteme (FTS) spielen eine Schlüsselrolle bei der Unterstützung der Intra-logistik und der vermehrt dezentralisierten Lagerhaltung. Die Implementierung von 5G und Wifi 6 ist erforderlich, um eine Vielzahl intelligenter Werkzeuge und FTS effizient zu betreiben und die Datenbasis um weitere relevante Quellen anzureichern

3.4 Bereich Smart Mobility

Städte sind maßgeblich für den weltweiten CO₂-Ausstoß verantwortlich, insbesondere durch den Straßenverkehr, der etwa 20 Prozent des CO₂-Ausstoßes ausmacht. Die Umstellung auf erneuerbare Energien allein reicht nicht aus, um die Klimaziele zu erreichen. Deshalb sind neue Ansätze erforderlich, die auf neuen Mobilitätsformen und der integrierten Entwicklung von Infrastrukturen und der Berücksichtigung des Nutzer:innenverhaltens basieren. Der Fokus des Bereichs liegt darauf, durch die Anwendung des Prinzips der *Upgrade Circular Economy*, die digitale Vernetzung, die Entwicklung von Standards und die Weiterentwicklung von Digital-Twin-Konzepten sowie den Einsatz von KI, Innovationen in der Mobilität und im städtischen Leben zu fördern.

Smart Work

Die Gruppe *Smart Work* behandelt die Gestaltung hybrider Arbeitsmodelle, die Digitalisierung und den Einsatz von KI zur Flexibilisierung der Arbeit. Die Herausforderung der Führung in diversen Teams und die Bewertung von Arbeit in mehrfachen Beschäftigungsverhältnissen sind ebenfalls Themen. Die Gruppe arbeitet darüber hinaus daran, innovative Lehr- und Lernprozesse zu gestalten.

Smart Mobility Systems

Die Gruppe *Smart Mobility Systems* konzentriert sich auf die Beschleunigung von Innovationen und Entwicklungen für zukünftige Mobilitätssysteme. Dabei werden Open Innovation sowie Open Source berücksichtigt. Die Forschung der Gruppe basiert auf dem Konzept des Digitalen Zwillings und der Prinzipien der (*Upgrade*) *Circular Economy*.

Smart Mobility Infrastructures

Die Gruppe *Smart Mobility Infrastructures* beschäftigt sich mit der Gestaltung neuer, intelligenter Infrastrukturen für die Mobilitätswende. Die Forschung der Gruppe basiert auf dem Konzept des Digitalen Zwillings und der Prinzipien der (*Upgrade*) *Circular Economy*. Es werden Standards entwickelt, um die Interoperabilität und Kompatibilität zwischen Teilsystemen und Komponenten zu gewährleisten.

Bezug zu den Zukunftsthemen des FIR

Upgrade Circular Economy

Das Konzept der *Upgrade Circular Economy* verlängert die Nutzungsdauer von Verkehrsmitteln und Infrastrukturen, reduziert den Ressourcenverbrauch, steigert den Nutzen für Nutzer:innen und

ermöglicht wirtschaftliche Angebote von Mobilitätslösungen. Ein zentrales Anliegen ist die Entwicklung einer zukünftigen fahrzeugorientierten Architektur nach Upgrade-Circular-Economy-Prinzipien, um Entwicklungszeiten zu verkürzen und Zulassungsprozesse zu optimieren. Dazu wird die Plattform OSCAR aufgebaut. Sie ermöglicht die Zusammenarbeit von Zulieferern, Software- und Hardware-Expert:innen zur Entwicklung einer „Circularity-oriented Architecture“ (CoA) und den dazugehörigen Standards.

Die Herausforderungen in der Umsetzung der Kreislaufwirtschaft in Mobilitätskonzepten sind vielfältig. Im Fahrzeugdesign werden Prinzipien und Strategien zur Verbesserung der Upgrade-Fähigkeit von Fahrzeugen und Systemen erforscht, um Demontage und Wiedermontage zu erleichtern. Die Gestaltung modular gestalteter Fahrzeuge und Mobilitätskonzepte sind Teil dieses Themas. Die Entwicklung von Upgrade-Strategien basierend auf Umweltauswirkungsbeurteilungen im Lebenszyklus von Fahrzeugen und Infrastrukturen stellt ein weiteres, bedeutendes Themenfeld dar. Im Softwareentwicklungsbereich geht es um die Frage, wie Software-Updates die Leistung, Sicherheit und Funktionalität von Fahrzeugen verbessern können, oft in Verbindung mit neuen Hardware-Entwicklungen. Für den Flottenbetrieb und das öffentliche Verkehrswesen wird untersucht, wie man durch neue Innenausstattungen oder effizientere Antriebstechniken anstelle des Flottenaustauschs aktuelleren Bedürfnissen gerecht werden kann. Weitere Themen liegen in der Entwicklung von Geschäftsmodellen und Kreislaufwirtschafts-ökosystemen für zukünftige Mobilitätssysteme.

Life Cycle Digital Product File

Die digitale Produktakte fasst Produktinformationen über Komponenten, Materialien, Chemikalien und Reparierbarkeit, Ersatzteile, Weiterverwendung und Entsorgung in einem standardisier-

ten Format zusammen. Diese Daten werden im gesamten Produktlebenszyklus genutzt. Die Digitalisierung und insbesondere die digitale Produktakte sind damit entscheidend für die Realisierung der *Upgrade Circular Economy* in der Mobilität. Die digitale Produktakte wird im digitalen Produktpass umgesetzt, der ab 2023 für die Batterieproduktion gesetzlich vorgeschrieben ist.

Forschungsfragen im Themenfeld der Intelligenten Mobilität betreffen Interoperabilität, Standardisierung und Datenmanagement. Wie können digitale Produktakten zwischen Mobilitätssystemen interoperabel und kompatibel gestaltet werden? Welche Verfahren für offene Standards sind geeignet, und wie lässt sich die Open-Source-Entwicklung von Produktarchitekturen und den dazugehörigen Standards mit institutioneller Standardisierung vereinen? Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Daten in digitalen Produktakten im Mobilitätsbereich müssen sichergestellt werden, insbesondere in Bezug auf Sicherheitsinformationen und personenbezogene Daten. Transparenz und ökologische Bewertbarkeit von Mobilitätssystemen sind weitere wichtige Aspekte. Wie verbessern digitale Produktakten die Rückverfolgbarkeit in den zu Mobilitätssystemen gehörenden Lieferketten? Wie beeinflussen sie das Nutzungsverhalten zur Reduzierung der Umweltauswirkungen? Welche Kennwerte und Standards sind notwendig? Die wirtschaftlichen Auswirkungen der Implementierung digitaler Produktpässe in der Intelligenten Mobilität sind zu bewerten. Unternehmen müssen sich zudem schnell an rechtliche Rahmenbedingungen anpassen können. Fragen der Haftung, Eigentumsrechte und Datenzugangsrechte sind zu klären.

Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)

LLM bezieht sich auf die Entwicklung und Anwendung von Künstlicher Intelligenz (KI) mit dem Ziel, menschliche Sprache im großen Umfang zu verstehen und zu generieren. Die

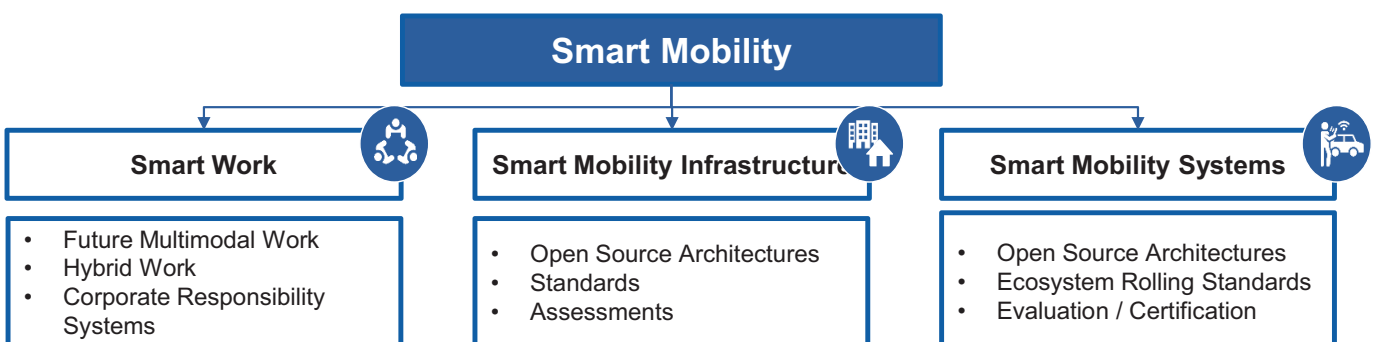


Bild 5: Übersicht über den Bereich „Smart Mobility“

Forschungsfragen im Bereich „LLM und KI in Intelligenten Mobilitätssystemen“ umfassen verschiedene Themen. Im Themenfeld der Mensch-Maschine-Interaktion wird untersucht, wie LLM die Interaktion von Menschen mit Fahrzeugen und Systemen verbessern kann, die Kommunikation in natürlicher Sprache vorantreibt und die Zugänglichkeit für Menschen mit Behinderungen erleichtert. Es werden auch Fragen zur Akzeptanz von KI-gesteuerten Smart-Mobility-Lösungen und dem Vertrauen in diese Lösungen in der Öffentlichkeit behandelt.

Im Bereich Verkehrsmanagement wird untersucht, wie KI zur Verbesserung von Verkehrsprognosen eingesetzt werden kann. Die Optimierungsmöglichkeiten durch KI in der multimodalen Verkehrsplanung, unter Berücksichtigung von Kosten, Zeit und Umweltauswirkungen, ist die Kernaufgabe der Verkehrsplanung. Dabei steht die Frage im Vordergrund, wie KI zur Reduzierung des CO₂-Fußabdrucks beitragen kann, indem Routen optimiert, Shared Mobility gefördert und umweltfreundliche Optionen incentiviert werden. Im Bereich Smart Work sind die Forschungsfragen vielfältig. KI und LLM spielen eine entscheidende Rolle in der Umgestaltung der Arbeitswelt. Im Themenfeld Mensch-Maschine-Kollaboration wird erforscht, wie LLM und KI effektiv in den Arbeitsplatz integriert werden können, um die Zusammenarbeit zwischen Menschen und Maschinen zu verbessern, ohne den Menschen zu überlasten. Fragen ethischer Implikationen und der Gewährleistung von Fairness und Transparenz in LLM-basierten Systemen im Kontext von Personalrekrutierung und Personalführung sind ebenfalls von Bedeutung. In Bezug auf Qualifikation und Weiterbildung wird untersucht, wie KI genutzt werden kann, um Qualifikationsanforderungen mit Kompetenzen der Mitarbeitenden in Einklang zu bringen und wie Weiterbildungsstrategien und -technologien die Anpassung an neue Anforderungen erleichtern können.

Re-Assembly Factory Concept

Das Konzept der *Re-Assembly Factory* ist entscheidend für die Umsetzung einer *Upgrade Circular Economy* im Mobilitätssektor. Die Forschungsfragen sind vielfältig.

In der Demontage stehen Fragen der effizientesten und umweltfreundlichsten Methoden für die Demontage und Wiedermontage im Vordergrund. Automatisierung und Robotik werden untersucht, um diese Prozesse zu optimieren. Die Wirtschaftlichkeit von Re-Assembly-Konzepten ist eine weitere Frage, ebenso wie die Entwicklung von Indikatoren für ökologische und wirtschaftliche Nachhaltigkeit. Designprinzipien, die die Kreislauffähigkeit von Automobilprodukten verbessern, und

deren Auswirkungen auf die Herstellung und Montage sind weitere Themen. Qualitätssicherung und Sicherheit erfordern Prüfverfahren und Standards, um die Konformität und Sicherheit wieder zusammengebauter Fahrzeuge zu gewährleisten. Die Nachverfolgbarkeit im Lebenszyklus ist entscheidend, und die Umsetzung des Konzepts der digitalen Produktakte in der *Re-Assembly Factory* ist von Interesse.

Im Kontext neuer Arbeitsformen werden LLM und AI zur Verbesserung von Qualitätskontrollprozessen eingesetzt. Im Bereich der Mensch-Maschine- und Mensch-Roboter-Interaktion wird die Nutzung natürlicher Sprache zur Steigerung von Produktivität und Sicherheit untersucht. Die Personalisierung von Informationen gemäß den Qualifikationsniveaus ist von Bedeutung. Fragen zur Akzeptanz und Gestaltung benutzerfreundlicher Schnittstellen und Interaktionen sind relevant. Die Entwicklung von Qualifizierungsprogrammen und -formaten für die neuen Anforderungen im Re-Assembly-Prozess und im Umgang mit neuer Software, einschließlich LLM und AI, ist ein weiteres Schlüsselthema.

3.5 Bereich Produktionsmanagement

Wesentliche Bestandteile des Produktionsmanagements auf den Ebenen des Supply-Chain-Managements und der Auftragsabwicklung sind Planung, Koordination und Steuerung von Material- und Informationsflüssen. Letztere werden heute im Wesentlichen durch die in Unternehmen eingesetzten IT-Systeme gesteuert, an vielen Stellen aber durch Menschen als Teil des soziotechnischen Systems verarbeitet, interpretiert und als Grundlage für Entscheidungen genutzt. Die Fähigkeit, Informationsflüsse im Zusammenspiel der eingesetzten IT-Systeme so durch geeignete Unternehmensprozesse zu koordinieren, dass Entscheidungen effizient und datenbasiert getroffen werden können, ist zunehmend entscheidend für den Erfolg von Unternehmen. Hierzu sind für die Bewältigung der fachlichen Aufgabe der Auftragsabwicklung geeignete IT-Systemlandschaften zu gestalten und in den Unternehmensprozess zu integrieren. Im Produktionsmanagement werden daher geeignete Aufgaben-, Funktions- und Prozessmodelle der Auftragsabwicklung gestaltet. Der Betrachtungsbereich reicht vom unternehmensübergreifenden Prozess in den Wertschöpfungsnetzwerken über die internen funktional gegliederten Prozesse der Auftragsabwicklung bis hin zur Schnittstelle in die eigentliche Produktion und der dazugehörigen Integration der physischen Fabrik in die digitalen Modelle (s. Bild 6, S. 20).

Supply-Chain-Management und Datenaustausch in Wertschöpfungsnetzwerken

Leistungsfähige Wertschöpfungsnetzwerke zeichnen sich neben ihrem effizienten Materialfluss durch einen strukturierten und integrierten Informationsfluss aus. Supply-Chain-Data-Management beschreibt in diesem Kontext die ganzheitliche Gestaltung des Zusammenspiels von den Prozessen, der IT-Systemlandschaft und den Daten an den unternehmensübergreifenden Schnittstellen des Auftragsabwicklungsprozesses. Zukünftig werden der gezielte Einsatz geeigneter Technologien zum Datenaustausch und die Verfügbarkeit von Daten in Datenräumen von besonderer Relevanz sein. Während Technologien hierzu grundsätzlich verfügbar sind, fehlt es an geeigneten Standards für Datenmodelle, Prozessmodelle und den dazugehörigen Schnittstellen. Deren Entwicklung steht im Fokus des Themenfeldes, wobei eine hohe Anwendungsorientierung durch die Sicherstellung einer Integration in typische IT-Systeme der Auftragsabwicklung und des Supply-Chain-Managements sichergestellt wird.

Produktionsplanung und durchgängiges Auftragsmanagement

Hauptaufgabe im Bereich der Produktionsplanung ist die Koordination des Auftragsabwicklungsprozesses unter Berücksichtigung der Informationssysteme. Durch eine steigende Fragmentierung der am Prozess beteiligten IT-Systeme bei zugleich

steigenden Anforderungen an Informationsverfügbarkeit und datenbasierter Entscheidungsfindung werden neue Ansätze eines ganzheitlichen Prozessmanagements nötig. Der Auftragsabwicklungsprozess muss über Abteilungs- und Systemgrenzen hinweg durchgängig und datenbasiert unterstützt werden, was letztlich Grundlage für die Optimierung des Auftragsabwicklungsprozesses ist. Das datenbasierte Prozessmanagement nutzt die in IT-Systemen erfassten Prozessdaten, um die Geschäftsprozesse zu analysieren, zu überwachen, zu gestalten und zu optimieren. Dafür werden innovative Technologien wie Process-Mining und softwarebasierte Prozessautomatisierung betrachtet. Die ganzheitliche und integrative Betrachtung von IT-Systemlandschaften mit ERP-Fokus dient der systemseitigen Optimierung und Unterstützung des Auftragsabwicklungsprozesses.

Produktionsregelung und veränderungsfähige Produktions-IT

Fabriken müssen heute fortwährend an veränderte Rahmenbedingungen angepasst werden, kürzere Produktlebenszyklen erfordern eine regelmäßige Aktualisierung von Produkten und damit verbundenen Fertigungsprozessen sowie der dazu eingesetzten Ressourcen. Diese Prozesse sind heute weitgehend digital unterstützt. Durch diese zunehmende Digitalisierung ergibt sich allerdings eine verringerte Anpassungsfähigkeit der Produktion, da IT-Anforderungsmanagement und Implementierungsprojekte in der Regel langwierige Projekte sind, die schließlich

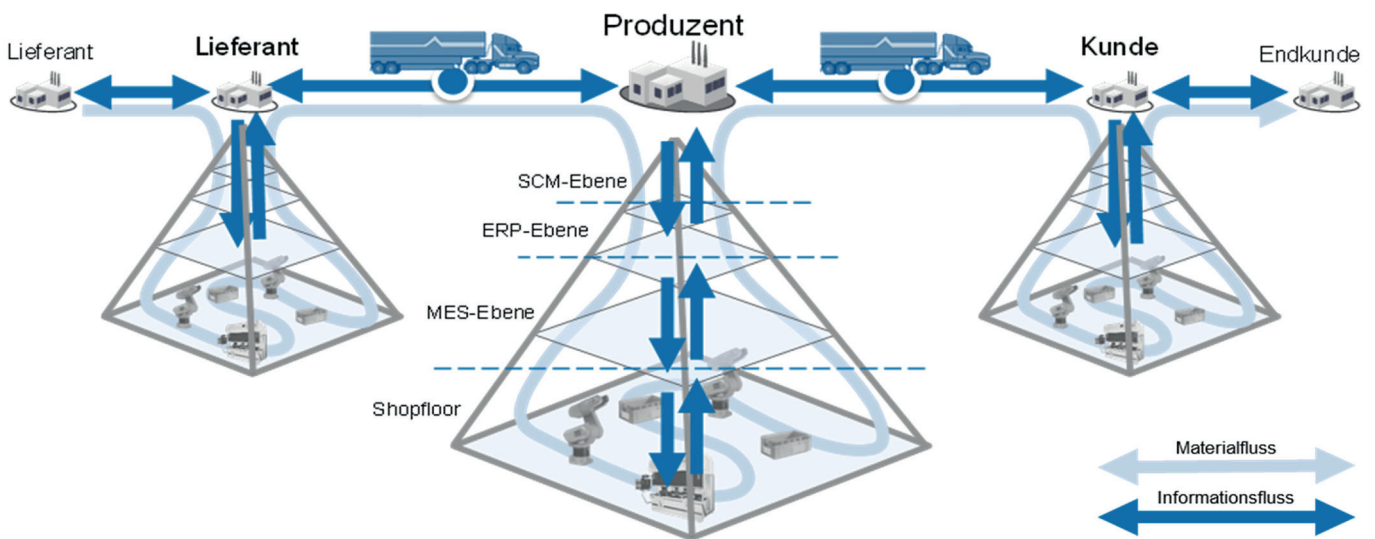


Bild 6: Material- und Informationsflüsse in Unternehmen

zu komplexen IT-Systemlandschaften in der Fertigung führen. Zukünftig benötigen wir veränderungsfähige Produktions-IT, die sich an Standardprozessen orientiert und auf Datenmodellen aufbaut, die universell einsetzbar sind. So kann aus dem Projektgeschäft der IT-Unterstützung ein Produktgeschäft werden, in dem sich flexibel die benötigten Module zusammenfügen lassen, da Interoperabilität durch Referenz-Schnittstellen und -Datenmodelle gewährleistet wird.

Bezug zu den Zukunftsthemen des FIR

Geschäftsprozesse

Die wettbewerbsfähige Umsetzung der wertsteigernden Kreislaufwirtschaft (*Upgrade Circular Economy*) erfordert die Industrialisierung von aktuell überwiegend manuellen Prozessen – heute dem Service zugeordnete Prozesse werden zum Kern der industriellen Wertschöpfung. Dies hat wesentliche Auswirkungen auf Referenzprozesse der Auftragsabwicklung in den Bereichen Beschaffung und Absatzplanung. Beschaffungsseitig muss neben den von Lieferanten bezogenen Komponenten und Rohmaterialien die Rückführung von zuvor in der Nutzung befindlichen Produkten geplant werden. Die Absatzplanung bekommt eine deutlich größere Abhängigkeit vom zugrundeliegenden Geschäftsmodell, da der Upgrade-Zeitpunkt beeinflussbar sein kann. Bisherige Auftragsabwicklungstypen müssen im Kontext der Upgrade-Kreislaufwirtschaft neu gestaltet werden: So kann die Auslösung eines Upgrade-Auftrags entweder durch den Kunden induziert werden, vom Zustand des Produkts abhängig sein (Produkt bestimmt Upgrade-Bedarf selbst) oder vom Markt entkoppelt sein (Upgrades als Lagerfertigung). Außerdem ist der Umfang der durchgeführten Upgrades sowohl statisch (vorab festgelegte Auftragsumfänge und dazugehörige Arbeitspläne) als auch dynamisch (zustandsabhängige Prozesse) möglich. Veränderte Referenzprozesse erfordern Anpassungen in den eingesetzten IT-Systemen (vorrangig ERP, MES, CRM, PLM) in den jeweiligen Unternehmensfunktionen.

IT-Systemlandschaft

Die wertsteigende Kreislaufwirtschaft transformiert einen seit Jahrzehnten in ERP-Systemen fest etablierten, aber starren Prozess. IT-Systemlandschaften müssen dementsprechend verändert werden, weil industrialisierte Kreislaufwirtschaftsprozesse nur mit geeigneter Unterstützung der jeweiligen IT-Systeme möglich sind. Der Hauptveränderungstreiber ist eine wesentlich produktorientiertere Betrachtung der Daten. Für zirkuläre Prozesse müssen Daten für jedes Produkt über mehrere Le-

benszyklen hinweg individuell gespeichert und den richtigen Stellen für unterschiedliche Akteure verfügbar gemacht werden. Zwar werden heute bereits Produktdaten aus Nutzungsphasen in PLM-Systemen gespeichert, diese Daten finden jedoch typischerweise keine Verwendung im Rahmen des Wertschöpfungsprozesses. Vielmehr ist die bisherige, weitgehend manuelle und lediglich unidirektionale Übertragung von Arbeitsplänen und Stücklisten zwischen Systemen nicht mehr geeignet, um eine Vielzahl von Versionen dieser Daten für serialisierte, d. h. einzeln identifizierbare, Produkte über mehrere Lebenszyklen hinweg zu koordinieren. Stattdessen wird eine durchgehende, bidirektionale Integration der Daten in einem einheitlichen Datenmodell benötigt, in der eine Kommunikation sowohl von der Entwicklung in Richtung Fertigung (PLM à ERP à MES) als auch zurück in das jeweilige Datenmodell des Produkts (MES und ERP à PLM) möglich ist. Aktuell gültige Stammdaten, die heute vorwiegend durch ERP-Systeme führend vorgehalten werden, werden zukünftig durch serialisierte, individuelle Versionen des Produktstamms ersetzt.

Der durch die höhere Dynamik von Arbeitsplänen und Stücklisten bedingte intensivere Austausch dieser Daten zwischen verschiedenen IT-Systemen und unterschiedlichen Akteuren in den Wertschöpfungsketten kann dabei durch ein universelles Datenmodell von Stücklisten und Arbeitsplänen, das sich für den gesamten Lebenszyklus eignet, deutlich vereinfacht werden.

Produktionsplanung bzw. Disposition

Upgrade-Kreislaufwirtschaft benötigt eine neu gestaltete Produktionsplanung bzw. Disposition. Abhängig vom konkreten Upgrade-Konzept (siehe Geschäftsprozesse) können Arbeitspläne und Stücklisten für Fertigungsaufträge nicht mehr ex ante festgelegt werden, sondern müssen adaptiv gestaltet sein, um z. B. abhängig vom Komponentenzustand oder der individuell verbauten Kombination von Versionen dynamisch im Prozessverlauf erzeugt werden zu können. Solche Prozesse sind heute nur vereinzelt im Service zu finden und erfolgen weitgehend manuell. Arbeitsplan- und Stücklistengeneratoren müssen entwickelt werden, die mittels Algorithmen basierend auf Regelwerken individuelle Datensätze erzeugen. So werden z. B. individuelle Demontage- und zugehörige Montagearbeitsgänge möglich.

Sofern unterschiedliche Zustände von Komponenten im Prozess explizit als Qualitätsklassen betrachtet werden (und nicht nur dichotom zwischen für die Verwendung geeigneten und nicht geeigneten Komponenten entschieden wird), ergibt sich eine zusätzliche Planungsaufgabe in der Zuordnung von Komponen-

ten zu Upgrade-Aufträgen. Ein solcher Zuordnungsprozess ist in den heute eingesetzten Methoden der PPS nicht vorgesehen. Verschiedene Fertigungstypen und unterschiedliche Anteile von Neuprodukt-Fertigung und Upgrade-Aufträgen erfordern hybride Produktionssysteme, in denen – Ansätzen der Matrixfertigung folgend – unterschiedliche Auftragsumfänge effizient umgesetzt werden können. Als zusätzliche Dimension ist eine kombinierte Planung der Materialver- und -entsorgung notwendig, da durch Demontage an Arbeitsstationen Material entsteht, das abtransportiert bzw. einer neuen Verwendung zugeführt werden muss.

Insgesamt lässt sich der statische, sukzessive Prozess der PPS in seiner heutigen Form an vielen Stellen (Absatzplanung, Beschaffung, Arbeitsplanverwaltung und damit Auftragsfreigabe sowie Produktionssteuerung) nicht beibehalten und dynamischere Ansätze werden erforderlich. Konkrete Konzepte hängen von der Ausgestaltung der Auftragsabwicklung auf prozessualer Ebene ab.

Digitaler Produktpass

Eine produktzentrierte Informationsbereitstellung in der Auftragsabwicklung in Form des digitalen Produktpasses ermöglicht eine „Single Source of Truth“. Zentrale Herausforderung bei der Verwendung eines digitalen Produktpasses ist die Interoperabilität auf technischer und inhaltlicher Ebene. Einheitliche Referenzmodelle für zu hinterlegende Daten sind hierzu zu entwickeln. Diese können über ein zentrales Schnittstellenmodell (bspw. unter Einsatz von GAIA-X) aus den einzelnen IT-Systemen heraus befüllt werden. Relevante Datenpunkte lassen sich in Form eines standardisierten Event-Katalogs (analog zu EPCIS im Supply-Chain-Event-Management) definieren.

Als zentraler Ort zur Vorhaltung produktzentrierter Daten dient der digitale Produktpass zukünftig auch als Datendrehscheibe und wird die Rolle einer Middleware erfüllen. Das Konzept einer produktpasszentrierten Architektur wird den Datenaustausch zwischen Systemen wesentlich vereinfachen und die deutlich höhere Varianz von Arbeitsplänen und Stücklisten berücksichtigen. So werden beispielsweise Arbeitspläne zu einem Auftrag nicht mehr vom ERP an das MES übergeben, sondern direkt an den Produktpass. Das MES ruft die relevanten Daten dann für den jeweiligen Auftrag direkt aus dem Produktpass ab.

Large Language Modeling (LLM) und Künstliche Intelligenz (KI)

Die Geschwindigkeit der Transformation hin zur Kreislaufwirtschaft wird bedeutend höher ausfallen als der bisherige Entwicklungsprozess in IT-Systemen. KI-Methoden und *Large Language Models* (LLM) können bedeutende Enabler für die Umsetzung dynamischer Prozesse und schneller Anforderungsveränderungen sein und damit die Veränderungsfähigkeit von IT-Systemen steigern. Das domänenspezifische Training von LLM für Kreislaufwirtschaftsprozesse ermöglicht eine automatische Generierung von Software-Code für erforderliche Anpassungen von IT-Systemen. Dies erlaubt die schnelle Umsetzung der notwendigen digitalen Unterstützung der Kreislaufwirtschaft.

Daneben ergeben sich Potenziale in der grundsätzlichen Gestaltung von User-Interfaces. Ein Übergang von heutigen, transaktionsorientierten Modellen hin zu bedarfsorientierter, kontextabhängiger Kommunikation (analog zu Sprachassistenzsystemen aus dem Consumer-Bereich) kann notwendige Veränderungsprozesse unterstützen.

4 Konklusion und Ausblick

Der Forschungsrahmenplan für die Jahre 2024 – 2029 bekräftigt die Ausrichtung des FIR an der RWTH Aachen auf die Herausforderungen der aktuellen Megatrends. In den kommenden fünf Jahren wird das FIR weiterhin seine führende Rolle als Impulsgeber für die digitale Transformation von produzierenden und dienstleistungsorientierten Unternehmen stärken. Die Mission des Instituts spiegelt den klaren Fokus auf die Transformation von Unternehmen durch Organisationsforschung für wertsteigernde Kreislaufwirtschaft auf Basis vernetzter Digitalisierung wider.

„Im Jahr 2029 ist das FIR im Bereich der Transformation von produzierenden und dienstleistungsorientierten Unternehmen das relevante Institut, welches in der Organisationsforschung für wertsteigernde Kreislaufwirtschaft auf Basis vernetzter Digitalisierung forscht, qualifiziert und berät. Die theoretischen und strukturellen Grundlagen und eine einzigartige Infrastruktur sind durch das FIR geschaffen. Investitionen in neue Formen des Wissensgewinns durch Experimente im Labor und in der Realwelt wurden getätigt.“

Die zukünftigen Themenschwerpunkte, wie die *Upgrade Circular Economy*, das *Life Cycle Digital Product File*, *Large Language Modeling* und Künstliche Intelligenz (LLM und KI) sowie das

Re-Assembly Factory Concept, werden das FIR dabei unterstützen, diese Mission zu erfüllen. Zudem wird sich das FIR in seiner Arbeit noch stärker als bisher international ausrichten, Entwicklungen seiner Fokusthemen in anderen Ländern genau beobachten und internationale Kooperationen verstärken. Das schließt die globale, digitale Verbreitung seiner Forschungsergebnisse im Sinne der Open-Access- und Open-Science-Bewegung der internationalen Forschungscommunity ein.

Durch die bewährte enge Verzahnung von Forschung, Qualifizierung und Beratung, durch stetige inhaltliche und qualitative Weiterentwicklung sowie eine internationale Ausrichtung wird das FIR im Jahr 2029 nicht nur ein anerkanntes Forschungsinstitut sein, sondern auch einen maßgeblichen Beitrag zur Entwicklung nachhaltiger, wertsteigernder Kreislaufwirtschaftsmodelle leisten. Die Mission des Instituts wird durch die aktive Beteiligung und Ausrichtung an den JRF-Leitthemen von Industrie und Umwelt, Städten und Infrastruktur, Gesellschaft und Digitalisierung sowie Globalisierung und Integration weiter gestärkt.

Das FIR wird somit nicht nur auf regionaler, sondern auch auf nationaler und internationaler Ebene zu einem bedeutenden Akteur für die Transformation von Unternehmen in Richtung Nachhaltigkeit und Digitalisierung.



FIR e. V. an der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 55
52074 Aachen

Telefon: +49 241 47705-0
E-Mail: info@fir.rwth-aachen.de
www.fir.rwth-aachen.de