

Veränderungen von Wertschöpfungsbeziehungen durch Manufacturing as a Service

Wertschöpfung im verteilten Fertigungsökosystem

M. Hertwig, J. Lentes, T. Komenda

ZUSAMMENFASSUNG Die produzierende Industrie gerät zunehmend unter Druck. Mit 'Manufacturing as a Service' wird ein neues Wertschöpfungsparadigma beschrieben, in dem Fertigung als Dienstleistung angeboten wird. Damit ist auch die Transformation von linearer Wertschöpfung zu Ökosystemen und Netzwerken verbunden. Dies wirkt sich nicht ausschließlich auf die Anzahl und Wechselwirkungen zwischen den involvierten Partnern aus, sondern resultiert auch in neuen Wertbeiträgen und Ertragskonzepten.

STICHWÖRTER

Manufacturing as a Service, Fertigungsdienstleistung, netzwerkbasierte Wertschöpfung

Value proposition in the distributed manufacturing ecosystem – Transformation of value creation relationships through manufacturing as a service

ABSTRACT The manufacturing industry is under increasing pressure. "Manufacturing as a Service" describes a new paradigm of value creation in which manufacturing is offered as a service. This is also linked to the transformation from linear value chain to ecosystems and networks. This affects not only the number of partners involved and the interactions between them but also results in new value propositions and revenue strategies.

1 Einleitung und Motivation

Volatile Märkte und Störungen der Lieferketten stellen Produktionsstrukturen zunehmend in Frage. Klassische lineare Wertschöpfungsstrukturen müssen weiterentwickelt werden, da Kosten, Flexibilität und Verfügbarkeit gegenüber der reinen Produktqualität an Bedeutung gewinnen. Unternehmen müssen flexibler werden und auch ihre Wertschöpfungsbeziehungen kurzfristig anpassen. Manufacturing as a Service (MaaS) sieht Fertigung als abrufbare Dienstleistung [1]. Damit entstehen auch Potenziale für Kostensenkungen, Nachhaltigkeit und Resilienz. Die Umsetzung erfordert jedoch die Transformation linearer Lieferketten in netzwerkartige Ökosysteme. Dies verändert Partnerschaften, Zusammenarbeit und Geschäftsmodelle [2]. Zahlreiche Arbeiten adressieren zwar technische und organisatorische Aspekte von MaaS, berücksichtigen die systematische Transformation linearer Wertschöpfungsketten in netzwerkbasierte Modelle aber nicht.

Der Beitrag adressiert die Frage, wie lineare Wertschöpfungsstrukturen systematisch in netzwerkorientierte MaaS-Ökosysteme überführt werden können und welche Auswirkungen dies auf Wertbeiträge und Geschäftsmodelle hat. Dazu werden zentralisierte und föderierte Plattformansätze technologisch und organisatorisch eingeordnet. Zunächst werden die Grundlagen skizziert, die Transformation zu Netzwerken mittels e³value-Modellierung beschrieben, dann Auswirkungen auf Geschäftsmodelle anhand eines Fallbeispiels analysiert, Handlungsbedarfe abgeleitet und schließlich eine Zusammenfassung gegeben.

2 Transformation der Wertschöpfung

Im Folgenden werden die wesentlichen Entwicklungen, die den Übergang von linearen Wertschöpfungsketten zu netzwerk-basierten Modellen ermöglichen, als Voraussetzung für die in Kapitel 3 dargestellte Transformation beschrieben.

2.1 Dienstleistungsorientierte Produktion

Dienstleistungsorientierte Produktion stellt den Kundenmehrwert in den Fokus. Im Vordergrund stehen kurzfristige, bedarfsorientierte und kundenspezifische Lösungen [3]. Für die Realisierung müssen Fertigungsdienstleistungen formuliert werden, die dann kundenspezifisch und bedarfsgerecht durchgeführt werden können [4]. Grundlage dieser Services sind geeignete Ressourcen sowie ein passender organisatorischer Rahmen [5]. Ansätze der Digitalisierung, wie Industrie 4.0 und Smart Manufacturing, sind die Grundlage für effiziente und wettbewerbsfähige Prozesse im Rahmen von MaaS. Sie ermöglichen eine transparente, flexible und durchgängig gesteuerte Ausführung der Services und bilden die Basis für MaaS und damit für die im Folgenden dargestellte Transformation hin zu vernetzten, plattformgestützten Wertschöpfungsstrukturen.

2.2 Wertschöpfungsnetzwerke und Plattformökonomie

Digitalisierung und Vernetzung ermöglichen eine modell- und datenbasierte Beschreibung und Orchestrierung von Produktionsprozessen sowie neue industrielle Wertschöpfungsmuster [6].

Vertikale, horizontale und End-to-End-Vernetzung integrieren Maschinen, Produkte, Dienstleistungen und Akteure entlang der Wertschöpfungskette vom Shopfloor bis ins Management [7]. Echtzeit-Informationen machen die flexible, effiziente und kundenindividuelle Prozesssteuerung möglich. Dies erlaubt auch das Management multilateraler Beziehungen und fördert den Aufbau resilienter Wertschöpfungsnetzwerke [8]. In Wertschöpfungsnetzwerken übernehmen Akteure flexibel unterschiedliche Rollen, wodurch besser auf Störungen reagiert werden kann [9]. Dafür ist Transparenz entlang des Produktlebenszyklus erforderlich, was durch das Internet der Dinge (IoT), Cloud-Computing und modellbasierte Funktionsbeschreibungen ermöglicht wird [10]. Auf dieser Basis werden industrielle Ökosysteme mit gemeinsamen Wertschöpfungsbeiträgen möglich.

Digitale Plattformen als neues Organisations- und Geschäftsmodell gewinnen auch im industriellen Kontext an Bedeutung. Sie agieren dabei als digitale Infrastrukturen, die Akteure wie Produzenten, Zulieferer, Dienstleister und Kunden miteinander verbinden und den Austausch von Daten, Produkten oder Dienstleistungen koordinieren [11]. Damit entstehen auch für die produzierende Industrie Marktplätze für Fertigungsaufträge und Dienstleistungen. Erwartete Mehrwerte sind eine bessere Ressourcenausnutzung, höhere Innovationsfähigkeit und effektivere Zusammenarbeit über Organisationsgrenzen hinweg, die auch neue Märkte eröffnen [12].

Ihre Umsetzung erfordert die technische und organisatorische Lösung von Herausforderungen heterogener Systeme, Datenformaten und Organisationen. Standardisierung, Interoperabilität, Datensicherheit und Datenhoheit sind zentrale Herausforderungen. Darüber hinaus sind, wie in Kapitel 4 beschrieben, Herausforderungen in Bezug auf Geschäftsmodelle zu lösen.

2.3 Organisatorische Voraussetzungen

MaaS stellt auch die Unternehmensorganisation vor neue Herausforderungen, die gelöst werden müssen. Prozesse müssen hochflexibel, Rüstvorgänge schnell und effizient durchführbar und Produktionsschritte weitgehend standardisiert sein, um stark variierende Produktionsanforderungen wirtschaftlich umzusetzen. Dazu sind klar definierte Fertigungsinformationen wie Stücklisten, Qualitätsanforderungen und Prüfpläne erforderlich, sodass externe Produktionsaufträge zuverlässig und effizient erfüllt werden können. Unterschiedliche Produktvarianten mit verschiedenen Prozessparametern und Anforderungen müssen sicher und schnell umgesetzt werden. Digitale Systeme wie MES (Manufacturing Execution Systems) und BDE (Betriebsdatenerfassung)-Systeme unterstützen dies durch Transparenz in Bezug auf verfügbare Kapazitäten und Auftragsstatus.

Um Leistungen in reproduzierbarer Form anbieten zu können, ist eine ausreichende Datenqualität notwendig. Dafür sind standardisierte Datenformate, konsistente Prozessbeschreibungen und klare Verantwortlichkeit in Bezug auf Datenbereitstellung und -pflege erforderlich.

Letztlich bedingen die Einführung und zielführende Nutzung von MaaS auch die entsprechende organisatorische und unternehmenskulturelle Offenheit für kooperative Geschäftsmodelle, etwa in Bezug auf die gemeinsame Nutzung von Ressourcen, die

Abstimmung mit Externen und die Integration in digitale Plattformen und Datenräume mit der entsprechenden Transparenz.

Diese organisatorischen Voraussetzungen bilden gemeinsam mit den in Kapitel 2.2 geschilderten technischen Voraussetzungen die Basis für den im folgenden Kapitel geschilderten Übergang von linearen Wertschöpfungsbeziehungen zu netzwerkartigen MaaS-Strukturen.

3 Übergang von linearer zu netzwerkorientierter Wertschöpfung

Durch geopolitische Krisen und lokale Störungen stoßen traditionelle Beschaffungs- und Liefermuster an ihre Grenzen. Um resiliente Abläufe sicherzustellen, müssen Störungsrisiken bewertet und Alternativstrategien erarbeitet werden [13]. Klassische Redundanzstrategien führen bei linearen Wertschöpfungsketten meist zu höheren Kosten und Komplexität im Vergleich zum optimierten Zustand [14, 15]. Wertschöpfungsnetzwerke bilden einen Ansatz, Resilienz mit Effektivität zu verbinden [11].

Während bisherige Arbeiten zu MaaS vor allem technische und zum Teil organisatorische Aspekte betrachten, fehlt eine systematische Transformation linearer Fertigungsbeziehungen in netzwerkbasierte Wertschöpfungsmodelle. Im Folgenden wird diese Lücke geschlossen, indem die Transformation von Prozess-, Daten- und Wertflüssen in ein MaaS-Ökosystem anhand eines realen Beispiels modelliert und die daraus resultierenden Änderungen abgeleitet werden.

3.1 Unterschiede zwischen traditioneller und netzwerkbasierter Wertschöpfung

Die e³value-Methode nach Akkermans und Gordijn ermöglicht es, Beziehungen, Aktivitäten, Wertflüsse und Leistungen zwischen Akteuren formal abzubilden und Unterschiede zwischen linearer und netzwerkbasierter Wertschöpfung zu analysieren und damit auch Geschäftsmodelle zu betrachten [16–18].

In **Bild 1** ist die lineare Struktur traditioneller Lieferbeziehungen als e³value-Modell dargestellt. In ihnen erfolgt der Austausch von Werten meist bilateral und IT-Werkzeuge werden lediglich isoliert eingesetzt.

Durch die Transformation zu netzwerkbasierter Wertschöpfung nimmt die Anzahl der beteiligten Entitäten zu. Auch die Leistungs-, Informations- und Wertflüsse verändern sich. Es entsteht ein Ökosystem aus spezialisierten Diensten, die über eine Plattform orchestriert, gesteuert und genutzt werden können [19].

Das e³value-Modell in **Bild 2** verdeutlicht den Übergang zu plattformbasierten Wertschöpfungsnetzwerken. Außer physischen Produkten entstehen digitale Assets wie Modelle zur Berechnung von Erzeugniseigenschaften, Nutzungsinformationen oder Messdatenreihen, die betriebswirtschaftlich verwertet werden können [20].

Die e³value-Methode schafft eine formale Basis, um Rollen, Leistungen und Wertströme in linearen und in netzwerkbasierten Wertschöpfungsstrukturen konsistent abzubilden. Die Unterschiede können formal und vergleichbar dargestellt werden. Dies bildet die Grundlage für die Transformation des Fallbeispiels in Kapitel 5.

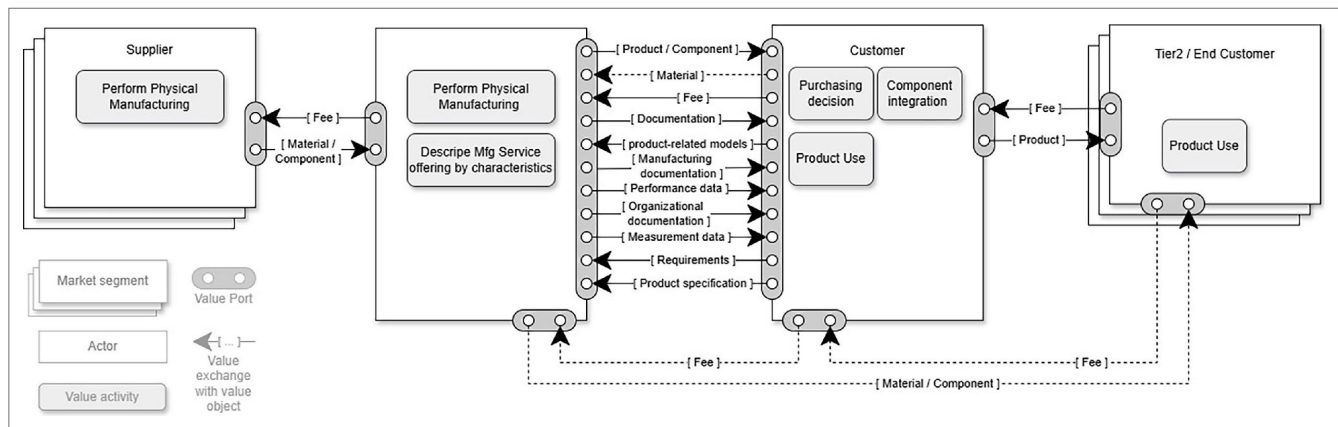


Bild 1 Wertschöpfungsmuster bei bidirektionalen Lieferanten-Kundenbeziehungen. Grafik: eigene Darstellung

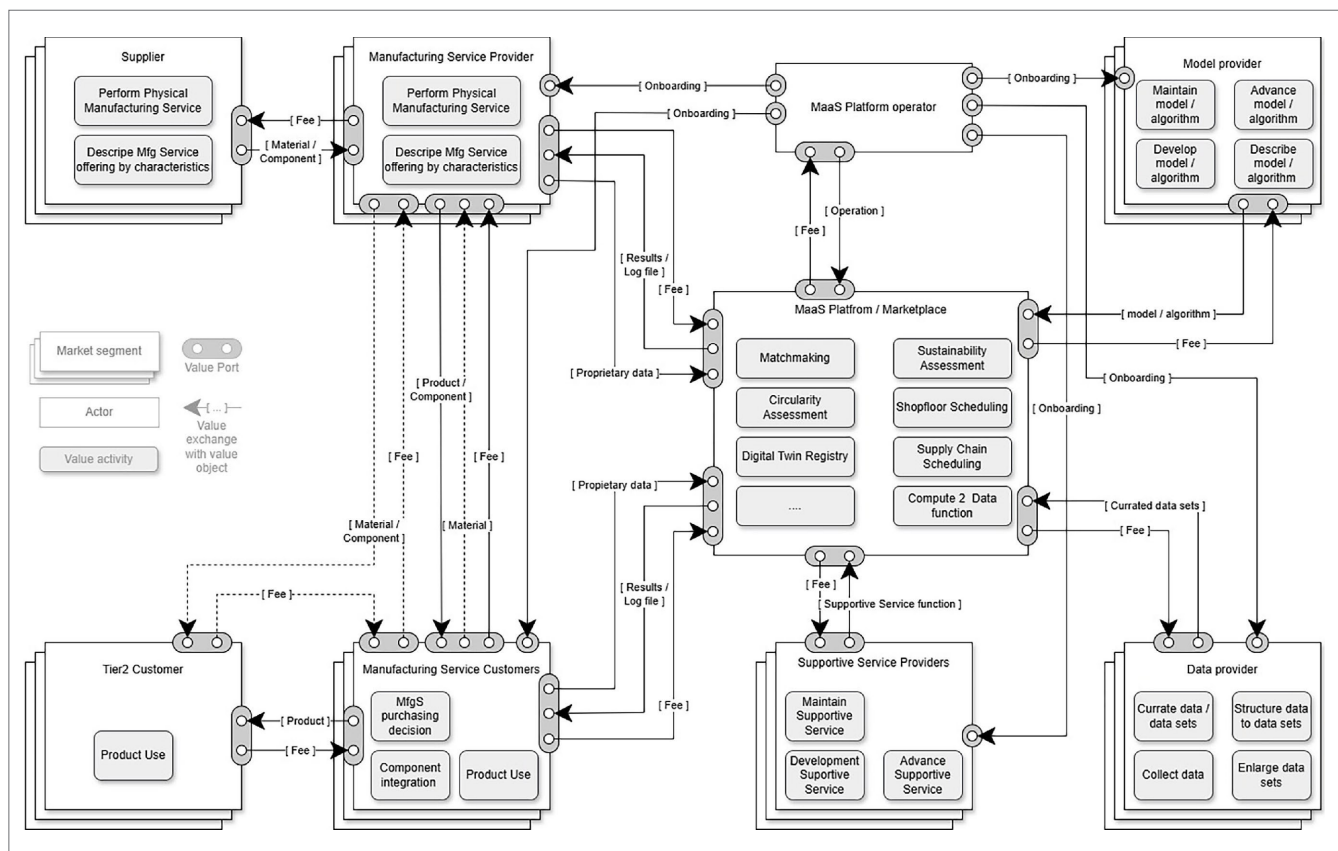


Bild 2 Wertschöpfungsmuster für plattform-unterstützte MaaS (Manufacturing as a Service)-Wertschöpfung. Grafik: eigene Darstellung

3.2 Auswirkungen von Plattformen im Wertschöpfungsökosystem

Auf Grundlage der in Kapitel 3.1 durchgeführten e³value-Methode wird deutlich, dass die Einführung und Nutzung von MaaS nicht nur technologische sondern gerade auch strukturelle Veränderungen erfordert. Digitale Plattformen sind in vielen Branchen etabliert und gewinnen auch in der Industrie an Bedeutung. Plattformmodelle führen jedoch zu Risiken wie der Abhängigkeit von einem zentralen Anbieter, einer eingeschränkten Interoperabilität oder der hohen Aggregation sensibler Daten [21]. Die direkte Übertragung zentralisierter Plattformökonomien auf das Business-to-Business (B2B)-Umfeld, insbesondere im Kontext von Manufacturing-as-a-Service, birgt fundamentale strategische

Risiken. Ein wesentliches Hemmnis ist der Vendor Lock-in, der produzierende Unternehmen durch proprietäre Schnittstellen und fehlende Interoperabilität massiv in ihrer Flexibilität einschränkt und einen Wechsel zu alternativen Anbietern erschwert [22].

Eng damit verbunden ist der drohende Verlust der Datensouveränität. Werden geschäftskritische Prozess- und Maschinendaten zentral beim Plattformbetreiber aggregiert, verlieren die originären Wertschöpfer die Verfügungsgewalt über ihr intellektuelles Eigentum. Dies führt dazu, dass Daten ungenutzt in isolierten unternehmensinternen Silos bleiben. Diese systematische Unterauslastung blockiert die Skalierung intelligenter, netzwerkbasierter Fertigungsstrukturen [23].

Zur Überwindung dieser strukturellen Blockaden vollzieht sich ein Paradigmenwechsel hin zu dezentralen Daten- und

Tabelle 1 Gegenüberstellung der Geschäftsbeziehungen, in Anlehnung an [27].

Analysedimension	Lineare / Bidirektionale Wertschöpfung	Zentralisierte B2B-Plattformen	Dezentrale Daten-Serviceökosysteme (z. B. Pontus-X)
Beziehungsstruktur & Interaktion	Bilaterale Lieferanten-Kunden-Beziehung (1:1); starr und schwer skalierbar.	Interaktionen werden als intermediär durch den Plattformbetreiber kanalisiert.	Multidirektionales Netzwerk (n:m); direkte Peer-to-Peer-Beziehungen zwischen allen Entitäten ohne zentralen Vermittler.
Informations- & Werteflüsse	Linear entlang der Wertschöpfungskette; fragmentiert und oftmals geprägt durch Medienbrüche.	Vertikal und restriktiv; Austausch von Daten und Werten folgt den proprietären Schnittstellen der Plattform.	Dynamisch, horizontal und offen; nahtlose Orchestrierung unterschiedlicher Dienste („Everything-as-a-Service“) über das Ökosystem.
Datenkontrolle & Souveränität	Verbleibt zwar lokal beim jeweiligen Akteur, der Datenaustausch ist jedoch technisch stark limitiert.	Struktureller Kontrollverlust; Daten müssen zwingend in die zentralen Silos der Plattform transferiert werden.	Vollständige technische Souveränität; Rohdaten verbleiben durch das Compute-to-Data Paradigma lokal beim Eigentümer.
Governance & Wettbewerb	Geregelt durch individuelle, bilaterale Verträge; hohe Abhängigkeit von direkten Partnern.	Asymmetrisch; der Plattformbetreiber diktiert die Regeln, was zu starken Vendor-Lock-in-Effekten und Monopolisierung führt.	Transparent und gemeinschaftlich; offene Protokolle (z.B. Gaia-X) verhindern Lock-in-Effekte und schaffen faire Wettbewerbsbedingungen.
Wertschöpfungslogik	Sequenzielle Gütererstellung; Mehrwert entsteht schrittweise durch physische Transformation.	Transaktional und extraktiv; Wertschöpfung wird zentralisiert abgeschöpft, primär durch Transaktionsgebühren.	Kollaborativ (Value Co-Creation); gemeinsame Werterzeugung durch die freie Kombination spezialisierter Dienste im Netzwerk.
Systemarchitektur & Vertrauen	Fragmentierte IT-Systeme; Vertrauen basiert überwiegend auf langjährigen, persönlichen Geschäftsbeziehungen.	Reputationsbasiert und monolithisch; anfällig für zentrale Ausfälle („Single Points of Failure“).	Kryptografisch verifiziert und resilient; verteilte Netzwerk-Infrastruktur ohne zentralen Kontrollpunkt.

Serviceökosystemen (DSÖ), gefördert durch Initiativen wie Gaia-X. Diese Ökosysteme orchestrieren den souveränen Austausch von Daten und Fertigungsressourcen über Unternehmensgrenzen hinweg, ohne zentrale Kontrollinstanz [24]. Föderierte Architekturen wie Pontus-X setzen hierzu auf dezentrale Identitäten und direkte, kryptografisch gesicherte Vereinbarungen (Smart Contracts) als Peer-to-Peer-Interaktionen [25]. Wesentlich dabei ist das Compute-to-Data (C2D)-Paradigma, bei dem sensible Rohdaten das Unternehmen nicht verlassen, sondern im Unternehmen selbst in einer isolierten Umgebung verarbeitet werden. Dieser Ansatz garantiert den Schutz geistigen Eigentums und ermöglicht kollaborative Wertschöpfungsnetzwerke, ohne die Autonomie der Beteiligten zu kompromittieren [26]. Allerdings befinden sich föderierte Ansätze noch in einem frühen Reifegrad mit offenen Fragen vor allem zur Skalierbarkeit bei wachsender Teilnehmerzahl, Governance-Strukturen und der Standardisierung von Smart Contracts für industrielle Anwendungen.

Die nachfolgende Gegenüberstellung (**Tabelle 1**) veranschaulicht den architektonischen Wandel, systematisiert Divergenzen zwischen traditioneller Wertschöpfung, zentralisierten B2B-Plattformen und modernen, dezentralen Netzwerken und verdeutlicht die Eignung föderierter Ansätze zur Erreichung echter Skalierbarkeit und Datensouveränität im industriellen Maßstab.

4 Veränderung von Wertbeitrag und Geschäftsmodell

Für die Entwicklung der Ökosystemdimension und des zugehörigen Geschäftsmodells resultieren daraus vielfältige Implikationen. Zukünftige Geschäftsmodelle müssen nicht mehr nur die

Individualleistung eines Unternehmens, sondern die kooperative Wertschöpfung im Netzwerk adressieren.

Die Analyse erfolgt exemplarisch anhand eines industriellen Fallbeispiels. Dafür wird ein traditionelles, lineares Geschäftsmodell auf mögliche Veränderung durch MaaS analysiert. Auf der Grundlage der e³value-Modellierung aus Kapitel 3 werden die Auswirkungen auf das Geschäftsmodell anhand eines Business Model Canvas systematisch dargestellt.

Im traditionellen Modell basiert der Wertbeitrag, wie in **Bild 3** in grün dargestellt, primär auf der physischen Bearbeitung von Material. Daraus ergeben sich nötige Fähigkeiten, Partner und Tätigkeiten für die Schaffung des angestrebten Wertbeitrags und die konkreten Kundengruppen, die mehrheitlich für den Erfolg der Unternehmung verantwortlich sind [28].

Im MaaS-Ökosystem entstehen zusätzliche Wertbeiträge durch Daten, Prozessmodelle und Simulationen [29] und können durch neue Vertragskonzepte verwertet werden [30] (vergleiche Bild 3, violett dargestellt). Neben neuen Ertragspotenzialen bieten plattformgestützte Wertschöpfungsnetzwerke zusätzlich das Potenzial, zusätzliche Kunden zu gewinnen und damit die Kundenbasis und Marktpotenzial zu vergrößern [31].

Bild 3 zeigt exemplarisch diese Erweiterung des Betriebsmodells als operative Ausgestaltung des Geschäftsmodells durch die Ergänzung traditioneller Lieferanten-Kunden-Beziehungen. Die konkreten Potenziale hängen vom jeweiligen Betriebsmodell und den jeweiligen technologischen Ausprägungen ab [32] und müssen daher fallspezifisch betrachtet werden. Die beschriebenen Veränderungen bilden die Grundlage für die im folgenden Kapitel dargestellten Handlungsbedarfe für Industrieunternehmen, die aus dem Fallbeispiel abgeleitet wurden.

Schlüsselpartner • Zulieferer Material, Hilfsstoffe, Vorprodukte • Dienstleister Spezialtätigkeit Transporte Verpackung • Plattformbetreiber • Digitale Dienstleister Bereitstellung von Daten Softwarepartner für Modelle und digitale Beschreibungen	Schlüsselaktivitäten • Materialbearbeitung • Bearbeitungsprozessoptimierung • Handling • Datenkuration • Modellierung	Wertbeitrag • Bearbeitung von Material, Erstellung einer Komponente • Kurze Reaktionszeit • Kundenorientierte Kommunikation • Kundenspezifische Auftragserfüllung • Vergütung ausschließlich erbrachter Leistung • Produktionsdatensätze vielfältige Quellen, Simulationsmodelle	Kundenbeziehungen • Direktkontakt Email Telefon Post • Anonym Plattformkontakt Intermediäre	Kundensegmente • Lokale Kleinkunden (kleine Volumina, selten) • Überregionale Serienproduzenten (mittlere Volumina, regelmäßig) • Überregionale Kleinkunden (kleine Volumina, selten) • Überregionale Einzelkunden
Kostenstrukturen • Personal Produktionsmitarbeitende indirekte Mitarbeitenden (Planung, Prozessgestaltung, Qualität, Engineering) • Energie • Material Beschaffung Lagerhaltung • Infrastruktur/Assets Investitionskosten & Abschreibung Instandhaltung		Umsatzströme • Erlös aus Verkauf des Erzeugnisses direkte Kunden-Lieferanten-Beziehung • Erlös aus Verwertung Reststoffe Zweitnutzung/Wiederverwertung Verkauf an Verwertungsindustrie • Erlös aus Datenbereitstellung für Nutzung Daten aus Produktionsmaschinen (kuratiert/unkuratiert) Simulationsdaten (zusätzliche Datenpunkte) • Erlös aus Modellnutzung durch Dritte Produktionsmodelle Bearbeitungsmodelle		

Bild 3 Business Model Canvas: traditionell (grün) und um MaaS erweitert (violett). Grafik: eigene Darstellung

5 Anwendungsfall und Handlungsempfehlungen

Der Anwendungsfall zeigt, dass die Eignung für MaaS nicht direkt aus allgemeinen Produktionsprinzipien abgeleitet werden kann, sondern von Prozessen, Datenverfügbarkeit und organisatorischen Voraussetzungen abhängt. Der betrachtete Pilot-Anwender produziert variantenreiche Elektronikkomponenten in einem Assemble-to-Order-Ansatz. Das Unternehmen ist ein mittelständischer Elektronikfertiger mit mehr als 1000 Mitarbeitenden, der kundenspezifische Steuerungsbaugruppen in kleinen Losgrößen ab Stückzahl 1 herstellt. Einzelne Prozessschritte wie die Leiterplattenbestückung konnten trotz der hohen Komplexität des Anwendungsfalls als standardisierbare Module, welche sich für ein MaaS-Angebot eignen, identifiziert werden. Wesentliches Ausschlusskriterium, das gegen eine MaaS-Fähigkeit, abgesehen von Prozessschritten wie der SMD (Surface Mounted Devices)-Bestückung und der automatischen optischen Inspektion, sprachen, war neben der Komplexität insbesondere die niedrige Standardisierbarkeit der betrachteten Prozessschritte.

Die Identifikation geeigneter Module in den bestehenden linearen Wertschöpfungsketten ist in **Bild 4** mittels "IDEFO" veranschaulicht.

Bild 5 zeigt, wie freie Kapazitäten im Störfall als Manufacturing Service genutzt werden können. Notwendig dazu sind

allerdings passende Materialbereitstellung, Fertigungsinformationen und Qualitätsanforderungen oder deren Definitionen.

Aus dem Fallbeispiel ergeben sich die in **Tabelle 2** zusammengefassten allgemeinen und spezifischen Herausforderungen für die Entwicklung von MaaS-Angeboten. Allgemeine Herausforderungen sind direkt übertragbar auf alle Unternehmen, die mit MaaS freie Kapazitäten zusätzlich vermarkten wollen. Spezifische Herausforderungen sind durch das vorliegende Betriebsmodell, Kundenstruktur und Zusammenarbeit gegeben und teilweise durch die Fertigungstechnologie im Anwendungsfall induziert.

Neben den physischen Materialflüssen wurde das entstehende Wertschöpfungsnetzwerk mit der e³value-Modellierung systematisch abgeleitet. Ausgehend von den in **Bild 4** dargestellten bilateralen Fertigungsbeziehungen und den Materialflüssen in **Bild 5** wurden die relevanten Akteure, Leistungen und Wertströme in das in **Bild 6** dargestellte MaaS-Ökosystem überführt.

Das bestehende Geschäftsmodell (grün in **Bild 6**), wurde um neue weitere Partner, Angebote und Wechselwirkungen (violett in **Bild 6**) ergänzt. Während **Bild 5** ausschließlich die physische Bereitstellung der Leiterplattenbestückung zeigt, erweitert **Bild 6** diese Struktur um digitale Assets und zusätzliche Entitäten wie Datenserviceprovider und Plattformakteure. Dadurch wird die Bestückung nicht nur physisch durchgeführt, sondern als digitaler Service angeboten. Es entsteht ein multidirektionales Netzwerk aus physischen und digitalen Wertflüssen, das zusätzliche Erlösmodelle und eine höhere Flexibilität bei Störungen ermöglicht.

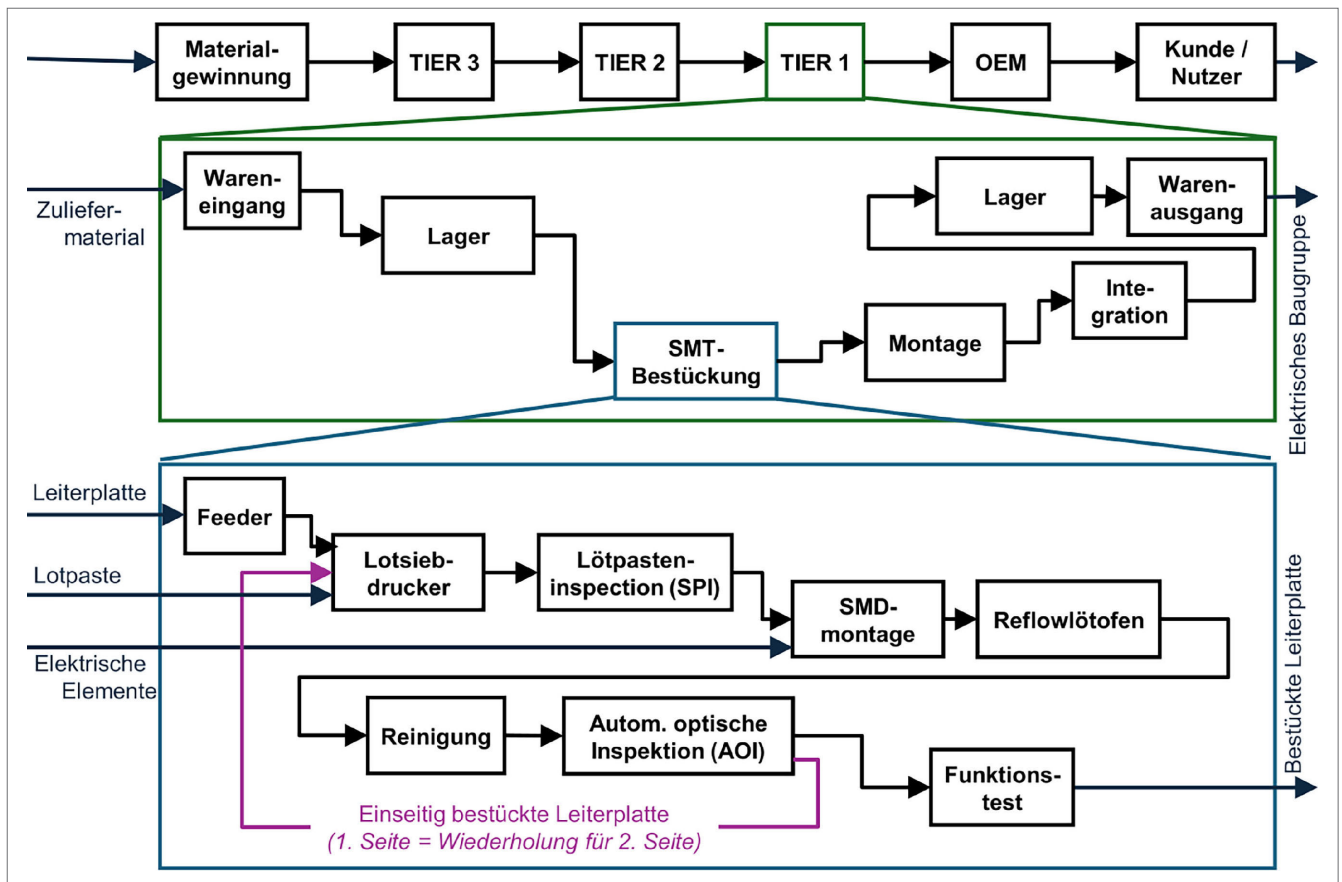


Bild 4 Wertschöpfungskette zur Identifikation und Bewertung MaaS-gerechter Fertigungsprozesse. Grafik: eigene Darstellung

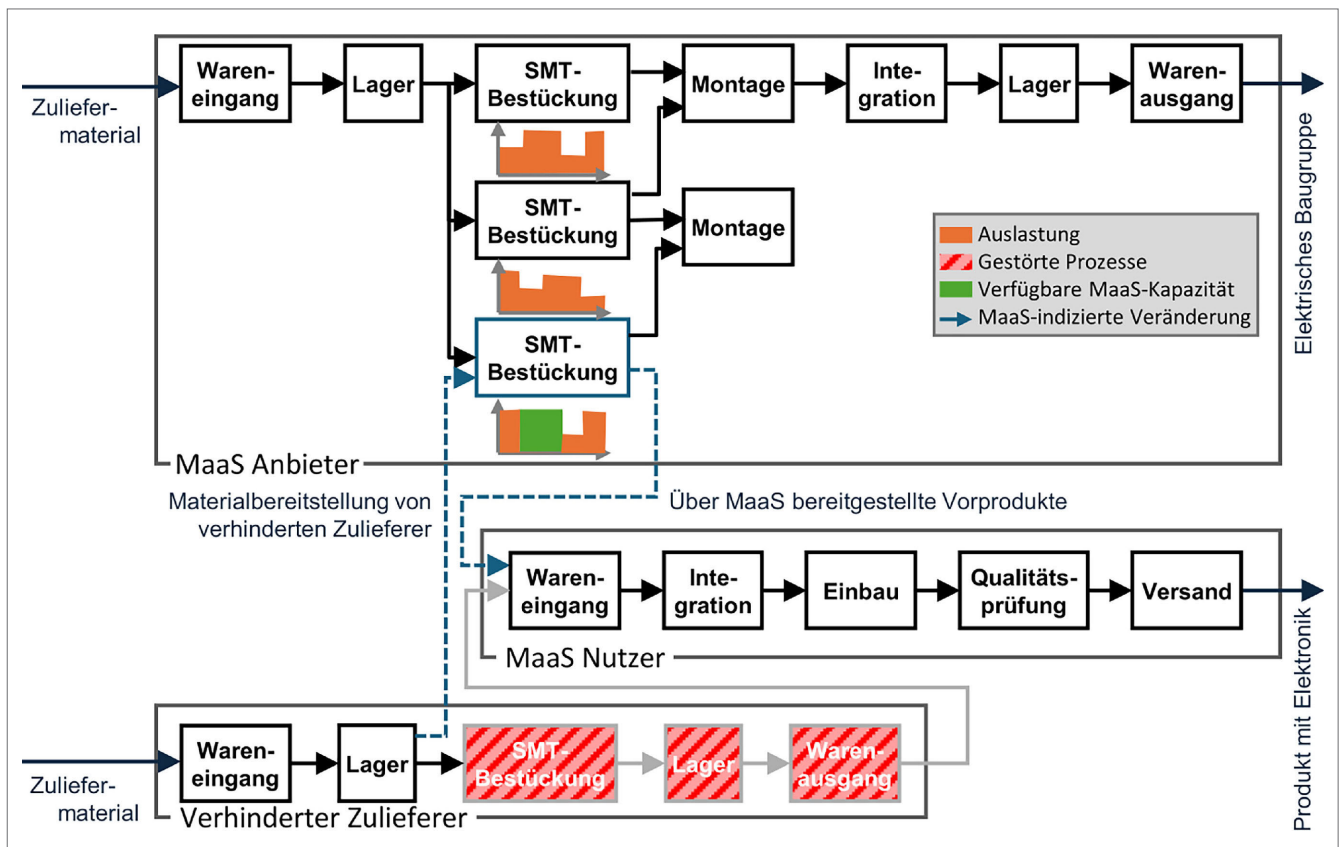


Bild 5 Integration von MaaS in die Wertschöpfungskette – Visualisierung der Materialflüsse. Grafik: eigene Darstellung

Tabelle 2 Herausforderungen aus dem Fallbeispiel.

	Allgemeine Herausforderungen	Spezifische Herausforderungen
Kundenperspektive	– Synchronisierung von langfristigen, langlaufenden Lieferverpflichtungen mit kurzfristigen Anfragen – Generelles Technologie-Verständnis beim Kunden vorhanden, fehlende Sensibilität für Feinheiten und Spezialitäten	– Vorgabe von Großkunden lassen sich mit MaaS nicht immer einhalten – potenzieller Verlust der Zertifizierung – Lieferverträge und -verpflichtungen erfordern eine gewisse Verfügbarkeit – Resultierende Einsparungen und Effizienzsteigerungen rechtfertigen selten zusätzlich entstehende Aufwände
Fertigungsprozess	– Rüstprozesse sind zeitlich herausfordernd (Umrüsten für MaaS-Angebot) – Fertigungsline produziert bei wenig Umrüsten am stabilsten (größte Wiederholgenauigkeit) – Technologisch übertragbar, Folgeprozesse sind teils Kundenprodukt spezifisch	– Potenzielle Kontaminierung von kundenspezifischen Vorprodukten bzw. Materialien – Enge Qualitätsfenster machen Einfahren und Justieren erforderlich (Verlust von Material durch Umrüsten) – Etablierte Produktionslinie mit klarem Fokus auf Mittel- bis Großserien, Kleinaufträge selten wirtschaftlich – MaaS innerhalb des unternehmensinternen Wertschöpfungsnetzwerk interessant, da Anforderungen nachvollziehbar – Mitarbeitende sind für hoch dynamische Änderungen nicht qualifiziert --> schwankende Qualität und Zuverlässigkeit

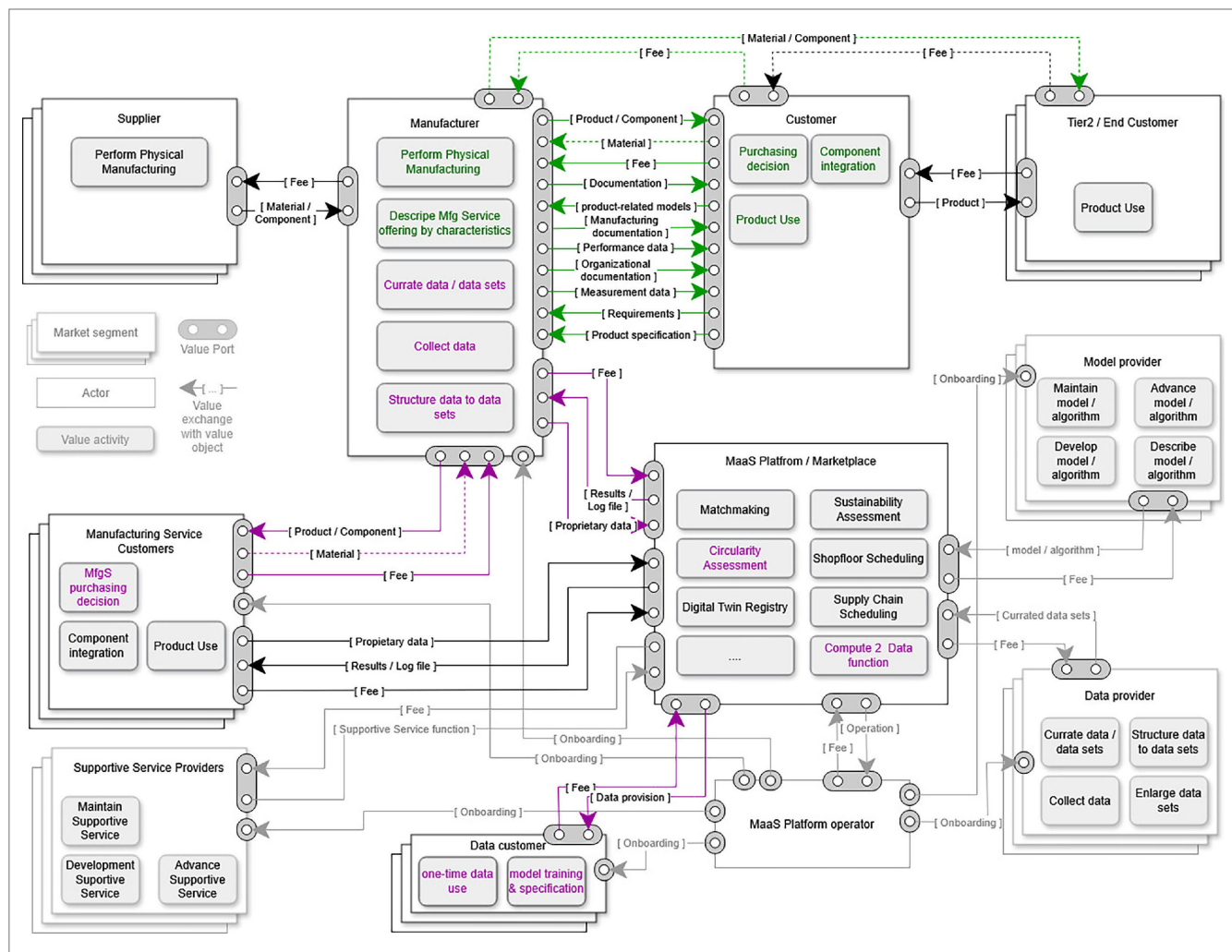


Bild 6 Ökosystem bei zusätzlicher Nutzung von MaaS für freie Kapazitäten. Grafik: eigene Darstellung

Aus den in Tabelle 2 dargestellten Herausforderungen und der in Bild 6 dargestellten Ökosystemmodellierung lassen sich folgende konkrete Handlungsempfehlungen für Unternehmen, die MaaS-Angebote entwickeln oder nutzen wollen, ableiten:

- Analyse der Fertigungsprozesse in Bezug auf Modularisierung, Rüstflexibilität und Datenverfügbarkeit,
- Bewertung von Kapazitäten, die ohne Beeinträchtigung bestehender Verpflichtungen per MaaS angeboten werden können,

- Implementierung eines minimalen Datenmodells („Minimum Viable Datamodel, MVD“) zur kommerziellen Nutzbarmachung von Fertigungsdaten,
- Definition oder Einführung eines standardisierten Austauschformats für Anwendungen wie Anforderungsaustausch,
- Qualifizierung der Mitarbeitenden,
- Materialfluss und Verantwortlichkeiten bei Fremdaufträgen klar regeln,
- Einführung beziehungsweise Definition von Qualitätssicherungsprozessen für externe Aufträge,
- Evaluierung zentraler im Gegensatz zu föderierten Plattformarchitekturen, beispielsweise bezüglich der Datenhoheit und Auswahl eines geeigneten Ansatzes sowie
- Aufbau beziehungsweise Nutzung eines MaaS-Readiness-Assessments.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag zeigt, wie traditionelle, lineare Wertschöpfungsstrukturen systematisch in vernetzte industrielle Ökosysteme transformiert werden können. Im Mittelpunkt steht das Paradigma Manufacturing as a Service (MaaS), das Fertigung als flexibel abrufbare Dienstleistung versteht. In solchen Strukturen interagieren Produzenten, Zulieferer, Dienstleister und Kunden über digitale Plattformen und standardisierte Schnittstellen. Digitale Technologien unterstützen die transparente und flexible Steuerung von Ressourcen und Prozessen. Die Analyse zeigt, dass diese Transformation nicht nur die Struktur der Wertschöpfung verändert, sondern auch neue Geschäftsmodelle ermöglicht. Neben der Herstellung physischer Produkte gewinnen daten- und modellbasierte Leistungen an Bedeutung. Produktionsdaten, Prozessmodelle oder Simulationen können als eigenständige Wertbeiträge genutzt werden und zusätzliche Erlösquellen erschließen.

Demgegenüber stehen jedoch technische, organisatorische und strategische Herausforderungen. Insbesondere Interoperabilität, Standardisierung, Datensicherheit, Datensouveränität und die Vermeidung von Vendor-Lock-in-Effekten sind zentrale Voraussetzungen für funktionsfähige industrielle Plattformökosysteme. Dezentrale Daten- und Serviceökosysteme bieten hierfür einen vielversprechenden Ansatz, da sie kollaborative Wertschöpfung bei gleichzeitigem Schutz geistigen Eigentums ermöglichen.

Die Analyse eines industriellen Anwendungsfalls verdeutlicht, dass die praktische Umsetzung von MaaS stark von den spezifischen Eigenschaften der jeweiligen Produktionssysteme abhängt. Faktoren wie Fertigungstechnologie, Prozessstabilität, Rüstzeiten oder bestehende Lieferverpflichtungen bestimmen, in welchem Umfang Fertigungskapazitäten als Dienstleistung angeboten werden können. Daher müssen Produktionsstrukturen, Datenressourcen und Kompetenzen systematisch analysiert und für digitale Wertschöpfungsnetzwerke nutzbar gemacht werden.

Zukünftige Arbeiten sollten die Übertragbarkeit auf weitere Fertigungstechnologien sowie Betriebsmodelle untersuchen und die Integration in föderierte Datenräume ausbauen. Ergänzend können empirische Studien zu Erwartungen und Bedarfen der Industrie helfen, geeignete Unterstützungsangebote zu entwickeln.

Zusammenfassend zeigt der Beitrag, wie Unternehmen Fertigungsprozesse zweckmäßig für die Überführung in ein MaaS-Ökosystem auswählen können und welche organisatorischen und technischen Voraussetzungen dafür notwendig sind.

FÖRDERHINWEIS

Europäische Kommission – Horizon Europe Forschungs- und Innovationsprogramm (HORIZON CL4-2023-TWIN-TRANSITION-01-07), Projekt ACCURATE (Achieving Resilience through Manufacturing as a Service, Digital Twins and Ecosystems), Förderkennzeichen 101138269

Literatur

- [1] Eslami, Y.; Brunø, T. D.; Da Cunha, C.: Manufacturing Changeability and Manufacturing as a Service. IFAC-PapersOnLine 59 (2025) 10, pp. 1211–1216
- [2] Steven, M.; Schade, S.: Manufacturing as a Service als Servicekonzept der organisationsübergreifenden Produktionskooperation. In: Obermaier, R. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation. Wiesbaden: Springer Gabler 2024
- [3] Andersen, A.-L.; Brunoe, T. D.; Worup, E. B. et al.: Manufacturing-as-a-Service (MaaS) to Increase Value Chain Resilience and Circularity: Towards a Systematic Methodology for Manufacturing Process Servitization and Value Chain Orchestration. IFAC-PapersOnLine 59 (2025) 10, pp. 464–469
- [4] Pezzotta, G.; Muttoni, S.; Sala, R.: Manufacturing-As-A-Service: Challenges and Opportunities for Manufacturing Companies. In: Mizuyama, H.; Morinaga, E.; Nonaka, T. et al. (Edit.): Advances in Production Management Systems. Cyber-Physical-Human Production Systems: Human-AI Collaboration and Beyond. 44th IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2025, Kamakura, Japan, August 31 – September 4, 2025, Proceedings, Part III. Cham: Springer Nature Switzerland; Imprint Springer 2026, pp. 429–443
- [5] Vathoopan, M.; Boudjadar, J.; Hertwig, M. M. et al.: Ontology-Driven Simulations for Quantified Service Discovery in Manufacturing Ecosystems. 29th International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications (DS-RT) (2025), pp. 1–8
- [6] Kirchner, K.; Lemke, C.; Brenner, W.: Neue Formen der Wertschöpfung im digitalen Zeitalter. In: Barton, T.; Müller, C.; Seel, C. (Hrsg.): Digitalisierung in Unternehmen. Von den theoretischen Ansätzen zur praktischen Umsetzung. Wiesbaden: Springer Vieweg 2018, S. 27–45
- [7] Mazak-Huemer, A.; Wimmer, M.; Huemer, C. et al.: Rahmenwerk zur modellbasierten horizontalen und vertikalen Integration von Standards für Industrie 4.0. In: Vogel-Heuser, B.; Hompel, M. ten; Bauernhansl, T. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg 2024, S. 969–992
- [8] Kopatz, M.: Wirtschaftsförderung 4.0: Regionale Wertschöpfung und kooperative Wirtschaftsformen systematisch fördern. In: Stember, J.; Vogelgesang, M.; Pongratz, P. et al. (Hrsg.): Innovationen für Management und Standort. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler 2021, S. 395–419
- [9] Rodemann, N.: Resiliente Produktionsnetzwerke durch datenbasierte Früherkennung. Aachen: Apprimus Verlag 2023
- [10] Miedler, P.; Kalkan, Y.; Neumüller, G. e. a.: Simulationsgestützte Optimierung globaler Produktionsnetzwerke. Abbildung von zukünftigen Kostenstrukturen und Mengenflüsse durch einen Digitalen Zwilling. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119 (2024) 1, S. 92–96
- [11] Schuh, G.; Friedli, T.; Lanza, G. e. a.: Zukunftsfähige Produktionsnetzwerke in disruptiven Zeiten. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 117 (2022) 12, S. 794–798
- [12] Culotta, C.; Duparc, E.; Möller, F.: Digitale Plattformen und Ökosystemstrategien. In: Hompel, M. ten; Henke, M.; Otto, B. (Hrsg.): Silicon Economy. Wie digitale Plattformen industrielle Wertschöpfungsnetzwerke global verändern. Heidelberg: Springer Vieweg 2022, S. 55–74
- [13] Martin, M.; Höß, C. W.; Buchholz, J. e. a.: Standortstrategieentwicklung und Roadmapping in globalen Produktionsnetzwerken. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119 (2024) 12, S. 878–884
- [14] Steier, G.; Heusch, A.; Voigt, J. e. a.: Entscheidungsfaktoren der Produktionsnetzwerkkonfiguration. Decision factors in production network configuration. wt Werkstattstechnik online 113 (2023) 10, S. 457–462. Düsseldorf: VDI Fachmedien, doi. org/10.37544/1436-4980-2023-10-79
- [15] Peukert, S.; Hörger, M.; Lanza, G.: Tactical Order Allocation in International Manufacturing Networks. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 119 (2024) 1, S. 17–22

- [16] Akkermans, J. M.; Gordijn, J.: Value-based requirements engineering. exploring innovative e-commerce ideas. Requirements Engineering 8 (2003) 2, pp. 114–134
- [17] Gordijn, J.: eBusiness Value Modelling Using the e3value Ontology. In: Currie, W. L.; Currie, W. (Hrsg.): Value creation from e-business models. Amsterdam: Elsevier; Butterworth-Heinemann 2004, pp. 98–127
- [18] Gordijn, J.; Akkermans, H.: Designing and evaluating e-business models. IEEE Intelligent Systems 16 (2001) 4, pp. 11–17
- [19] Helo, P.; Hao, Y.; Toshev, R. e. a.: Cloud manufacturing ecosystem analysis and design. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing (2021) 67, #102050
- [20] Trauth, D.; Bergs, T.; Gülpen, C. et al.: Monetarisierung von Fertigungsdaten. In: Bergs, T.; Brecher, C.; Schmitt, R. et al (Hrsg.): Internet of Production – Turning Data into Value. Aachen: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, S. 340–360
- [21] Neiberger, C.; Hardaker, S.; Wieland, T.: Digitale Dynamiken: Disruption, Expansion und Vernetzung im Einzelhandel. In: Onlinehandel und Raum. Heidelberg: Springer Spektrum 2025, doi. org/10.1007/978-3-662-70185-0_2
- [22] Opara-Martins, J.; Sahandi, R.; Tian, F.: Critical analysis of vendor lock-in and its impact on cloud computing migration: a business perspective. Journal of Cloud Computing 5 (2016) 4, doi. org/10.1186/s13677-016-0054-z
- [23] Ryan, M.; Gürtler, P.; Bogucki, A.: Will the real data sovereign please stand up? An EU policy response to sovereignty in data spaces. International Journal of Law and Information Technology 32 (2024) eaae006, doi.org/10.1093/ijlit/eaee006
- [24] ZVEI e.V. (Hrsg.): Datenräume und Manufacturing-X. Digitale Souveränität in der vernetzten Industrie durchsetzen. Stand: 2025. Internet: www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2025/Maerz/Datenraeume_und_Manufacturing-X_Whitepaper/Datenraeume-und-Manufacturing-X-Whitepaper.pdf. Zugriff am 16.04.2026
- [25] Barnard, I.; Xin, C.: Enabling Secure Data Spaces: EDC, Pontus-X, and ADE A. 5th IFSA Winter Conference on Automation, Robotics & Communications for Industry 4.0/5.0 (ARCI' 2025) (2025), pp. 177–285
- [26] Trautner, T.; Zink, F.; Slimane, E. et al.: A dataspace-driven edge computing and federated learning framework for sensory tolling systems. MM Science Journal (2025), #8825, doi.org/10.17973/MMSJ.2025_11_2025133
- [27] Ocean Enterprise Collective e. V.: Ocean Enterprise: Unlocking Shared Value: The Ocean Enterprise Framework for Data and AI Ecosystems. Stand: 2025. Internet: 1789397093-files.gitbook.io/~files/v0/b/gitbook-x-pod.appspot.com/o/spaces%2FH0zpgrXbeZ7u6UuCV9Gz%2Fuploads%2F8WQSDzMVXZtiZyaqpieY%2F0EC_Whitepaper.pdf?alt=media&token=29-f54115-0d0b-4fe6-8363-b36ba825e2be. Zugriff am 21.04.2026
- [28] Ahrend, K.: Architektur von Geschäftsmodellen. In: Geschäftsmodell Nachhaltigkeit. Heidelberg: Springer Gabler 2022, S. 1–50, doi. org/10.1007/978-3-662-65751-5_1
- [29] Kraft, M.; Christ, O.; Scherer, L.: Branchenperspektive: Analyse und Gestaltung der Wertschöpfungsnetze. In: Kraft, M.; Christ, O.; Scherer, L.: Management der Kreislaufwirtschaft. Wiesbaden: Springer Gabler 2022
- [30] Frohmann, F.: Geschäftsmodelle. In: Frohmann, F.: Digitales Pricing. Wiesbaden: Springer Gabler 2022, S. 53–86
- [31] Arnold, L.; Buck, C.; Guggenberger, T. et al.: Digitale Plattform-Ökosysteme – Von linearer zu vernetzter Wertschöpfung von Unternehmen. Bayreuth: Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT 2023
- [32] Osterwalder, A.; Pigneur, Y.; Tucci, C. L.: Clarifying Business Models: Origins, Present, And Future Of The Concept. Communications of the Association for Information Systems 16 (2005), doi.org/10.17705/1CAIS.01601

Dr.-Ing. Michael M. Hertwig 
michael.hertwig@zvei.org

ZVEI e.V. – Verband der Elektro- und Digitalindustrie
 Amelia-Mary-Earhart Str. 12, 60549 Frankfurt am Main
www.zvei.org

Dr.-Ing. Joachim Lentjes 
joachim.lentjes@iao.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft
 Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart

Thomas Komenda
thomas@delta-dao.com

deltaDAO AG
 Katharinenstr. 30a (Contor)
 20457 Hamburg

LIZENZ



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