

Entwicklung einer Taxonomie zur Klassifikation von Smart Services für die Produktion

Systematische Analyse von Smart Services

M. Schneider, A. Tummino, E. Gross, T. Bauernhansl

ZUSAMMENFASSUNG Unternehmen stehen bei der Digitalisierung der Produktion vor der Herausforderung, relevante Smart Services zu identifizieren und zu bewerten. Besonders herausfordernd ist dabei die Identifikation und Beschreibung geeigneter Smart Services, da vielen Unternehmen unklar ist, welche existieren und wie sie einzuordnen sind – was die Bewertung und Anforderungsdefinition erschwert. Dieser Beitrag analysiert bestehende Smart Services und entwickelt eine Taxonomie zur strukturierten Klassifikation.

STICHWÖRTER

Industrie 4.0, Service, Produktionsmanagement

Classification of smart services for production

ABSTRACT The digitalization of manufacturing processes presents companies with the challenge of identifying and evaluating relevant smart services. Identifying and describing suitable smart services is particularly challenging, as many companies do not know what smart services exist and how they should be classified, which makes evaluation and requirement definition difficult. This article analyzes existing smart services and develops a taxonomy for structured classification.

1 Ausgangssituation und Motivation

Die industrielle Produktion ist einem kontinuierlichen Wandel unterworfen, welcher maßgeblich durch die wachsende Volatilität globaler und lokaler Märkte beeinflusst wird. Zusätzlich erfordern verkürzte Innovations- und Produktlebenszyklen sowie eine signifikant steigende Variantenvielfalt die Implementierung von Produktionsstätten und Netzwerkstrukturen, welche flexibel auf sich ändernde Anforderungen reagieren können [1]. Der zunehmende globale Wettbewerbsdruck, vor allem aus China, verschärft diese Situation weiter [2]. Außerdem beeinträchtigt der demografische Wandel in Form eines Fachkräftemangels zunehmend die Produktionskapazitäten [3]. In diesem komplexen und multifaktoriellen Kontext wird die digitale Transformation der Industrie als entscheidende Voraussetzung für die Aufrechterhaltung der Wettbewerbsfähigkeit produzierender Unternehmen betrachtet [4].

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Transformation sind Lösungsansätze in Form von Smart Services, die als datenbasierte und individuell anpassbare Dienstleistungsangebote verstanden werden (Kapitel 2). Sie ermöglichen eine effektive Erfassung und Analyse von Produktionsdaten und peripheren Informationen, um die Optimierung industrieller Wertschöpfungsketten zu unterstützen [5]. Trotz der erkennbaren Potenziale kommen die Digitalisierung produzierender Unternehmen und damit auch die Implementierung von Smart Services in der Produktion nur schleppend voran [6]. Ursächlich dafür ist, dass der ökonomische Mehrwert von Smart Services für zahlreiche Unternehmen oft nicht ersichtlich ist [7]. Einerseits ist der Aufwand für die Einführung schwer einzuschätzen [8]. Andererseits sind die Nutzenpotenziale der

unterschiedlichen Smart Services oftmals nicht klar erkennbar [9]. Vor allem bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), die nur über begrenzte Ressourcen verfügen, entsteht durch diese Unsicherheit ein erhebliches finanzielles Risiko, wodurch Investitionen in Smart Services unattraktiv erscheinen [10].

Ein weiterer entscheidender Faktor in diesem Kontext ist der Reifegrad eines Unternehmens. Auf organisatorischer Ebene besteht in vielen Fällen ein erheblicher Bedarf an Harmonisierung und Standardisierung von Prozessen, welche als Voraussetzung für eine erfolgreiche Digitalisierung gelten [8, 9]. Gleichzeitig erweist sich auch der technologische Reifegrad als Herausforderung, da für die Implementierung von Smart Services eine grundlegende digitale Infrastruktur erforderlich ist, einschließlich geeigneter Schnittstellen zu relevanten Maschinen und IT-Systemen [11]. Zusätzlich mangelt es den Unternehmen an qualifiziertem Personal für die Implementierung und den Betrieb von Smart Services, vor allem in Bezug auf die digitalen Kompetenzen [10]. Die Identifikation eines geeigneten Smart Services wird zudem durch die fehlende grundlegende Kenntnis an technischen Lösungsmöglichkeiten erschwert. Dies resultiert in mangelnder Klarheit über die am Markt vorhandenen Umsetzungen und Technologien. [12]

Darüber hinaus ist der Markt von einer Vielzahl an Anbietern und vermeintlichen Lösungen geprägt. Jedoch bleibt häufig unklar, welche konkreten Probleme die angebotenen Smart Services adressieren, wie komplex deren Implementierung ist und welcher betriebliche Aufwand tatsächlich mit ihrer Einführung verbunden ist. Diese fehlende Transparenz erschwert es Unternehmen, fundierte Investitionsentscheidungen zu treffen, und behindert somit die breite Adaption digitaler Lösungen in der industriellen Praxis.

Vor diesem Hintergrund zielt der vorliegende Beitrag darauf ab, mehr Transparenz im Themenfeld der Smart Services für produzierende Unternehmen zu schaffen. Dies geschieht durch die Analyse bestehender Smart Services und die Entwicklung einer Taxonomie zur Klassifikation dieser Angebote. Ziel ist es, Unternehmen dabei zu unterstützen, relevante Smart Services besser zu verstehen, deren Nutzenpotenziale gezielter zu bewerten und geeignete Lösungen für die eigene betriebliche Praxis zu identifizieren und zu bewerten.

2 Grundlagen zu Smart Services

Das Forschungsfeld der Smart Services hat in den letzten Jahren signifikant an wissenschaftlichem Interesse gewonnen. Ein Großteil der bestehenden Forschung und der wissenschaftlichen Publikationen konzentriert sich jedoch auf die Gestaltung und Entwicklung von Smart Services aus der Anbieterperspektive. Typische Fragestellungen betreffen die Transformation von Unternehmen, beispielsweise im Maschinen- und Anlagenbau, vom reinen Hardwareanbieter zum Anbieter von Produkt-Service-Systemen (PSS) [13, 14]. Im Gegensatz dazu findet die Betrachtung des tatsächlichen Mehrwerts von Smart Services in der Produktion aus der Anwenderperspektive nur geringe Berücksichtigung in der Literatur [13]. Für diesen Beitrag wird die Betrachtung von Smart Services aus der Anwenderperspektive zu Grunde gelegt. Dieser interne Fokus ist primär auf das eigene Unternehmen und die Optimierung von Produktion und Prozessen gerichtet. Die primären Ziele aus Anwendersicht umfassen typischerweise die Steigerung von Effizienz, Produktivität und Qualität, Kostensenkungen, die Unterstützung der Werker sowie die Erhöhung der Flexibilität. Bei der Umsetzung von Smart Services liegen die Schwerpunkte auf der internen Prozessanalyse, der Definition konkreter Anforderungen, der Bewertung des erzielbaren Mehrwerts und der technischen Implementierung. [15]

Smart Services werden als datenbasierte und individuell anpassbare Dienstleistungsangebote definiert, die Daten aus digital vernetzten physischen Objekten, sogenannten Smart Products, erfassen, über integrierte Plattformen organisieren und bereitstellen und auf dieser Grundlage einen Mehrwert für die Produktion generieren [16–18]. Dabei haben Smart Services folgende Grundbestandteile:

1. Physische Objekte, die Daten erzeugen oder Informationen verarbeiten [16, 19].
2. Daten, um aus den gewonnenen Informationen Mehrwerte zu generieren [17].
3. Eine technische Infrastruktur, beispielsweise in Form von digitalen Plattformen, um erfolgreich und skalierbar umgesetzt zu werden [18, 19].

Die Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle ist in der Literatur ein zentrales Element bei der Konzeption von Smart Services aus der Anbieterperspektive [19]. Für den Einsatz von Smart Services in der eigenen Produktion – also aus Sicht der Anwenderunternehmen – besitzt dieser Aspekt aber lediglich indirekte Relevanz. Anwender stehen primär vor der Entscheidung, ob sie einen Smart Service eigenständig entwickeln und betreiben („make“) oder eine externe Lösung oder Lösungsbausteine erwerben und integrieren („buy“). Bei anbieterseitigen Smart Services variieren die zugrunde liegenden Geschäftsmodelle, beispielsweise für Zahlungsmodalitäten, Lizenzierungsformen oder Service-Level. Diese Ausgestaltung wirkt sich wiederum auf den Betrieb, die Integri-

on und die Nutzung des Smart Service im Anwenderunternehmen aus und ist daher bei der Auswahlentscheidung zu berücksichtigen.

Übergeordnet betrachtet zeigt sich das Potenzial von Smart Services zur Optimierung industrieller Prozesse in einer Vielzahl von Zielgrößen [20]. Diese lassen sich typischerweise den Dimensionen Kosten, Zeit, Flexibilität und Qualität zuordnen [21]. Ein einzelner Smart Service vereint dabei häufig mehrere dieser Vorteile [20]. Im Kontext von Kosteneinsparungen gewinnt neben Produktions-, Wartungs- und Inbetriebnahmekosten vor allem die Reduzierung des Energieverbrauchs zunehmend an Bedeutung, nicht zuletzt vor dem Hintergrund steigender Energiekosten und verschärfter regulatorischer Anforderungen. Zeitliche Vorteile ergeben sich etwa durch die Verkürzung von Durchlaufzeiten und die Vermeidung von Stillständen. Flexibilität resultiert aus einer erhöhten Anpassungsfähigkeit, einer besseren Effizienz und einer schnelleren Reaktionsfähigkeit auf veränderte Rahmenbedingungen. Qualitätsverbesserungen lassen sich insbesondere durch die Reduktion von Produktionsfehlern und eine gesteigerte Qualitätsrate erzielen. [20, 21]

3 Vorgehen zur Analyse von Smart Services und der Entwicklung der Taxonomie

Die Grundlage für die Analyse bestehender Smart Services in der Produktion bildet eine systematische Auswertung einschlägiger Fachliteratur, anhand derer zentrale Kategorien von Smart Services identifiziert wurden. Aufbauend auf dieser theoretischen Fundierung wurden zwei spezialisierte Online-Plattformen untersucht, welche verschiedene Industrie-4.0-Use-Cases enthalten (Stand: Oktober 2025).

Bei der ersten Plattform handelt es sich um die „Landkarte Industrie 4.0“ der Plattform Industrie 4.0, einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz sowie dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt gebildeten Initiative. Diese wird gemeinsam mit Vertretern aus Wirtschaft, Wissenschaft, Verbänden und Gewerkschaften betrieben und dient der Entwicklung praxisnaher Strategien und Lösungsansätze für Industrie-4.0-Anwendungen. Die zweite untersuchte Quelle ist die Plattform „IoT Use Case“, die sich auf die Vermittlung konkreter industrieller IoT-Lösungen spezialisiert hat. Ziel dieser Plattform ist es, durch die Darstellung erfolgreicher Use Cases sowie gezieltes Matchmaking den Transfer von Theorie in die unternehmerische Praxis zu erleichtern.

Die Use Cases beider Plattformen wurden systematisch extrahiert, strukturiert erfasst und in mehreren Schritten analysiert. Zunächst erfolgte eine Prüfung, ob die Use Cases den in diesem Beitrag definierten Kriterien für Smart Services entsprechen. Danach wurde selektiert, ob die jeweiligen Services im Kontext der industriellen Produktion einzuordnen sind. Nur die relevanten Smart Services wurden dann einer inhaltlichen Kategorisierung zugeführt. Bei fehlender Passung in bestehende Kategorien wurden neue Kategorien induktiv gebildet. Darüber hinaus wurden die erfassten Smart Services hinsichtlich ihres kommunizierten Nutzenversprechens analysiert. Zur systematischen Klassifikation von Smart Services wurde der Ansatz zur Taxonomiebildung nach *Nickerson et al.* herangezogen (**Bild 1**).

Der Prozess beginnt mit der Definition sogenannter Meta-Charakteristiken, die sich aus dem Ziel der Taxonomie, der angestrebten Nutzung und der Zielgruppe ableiten. Sie legen die

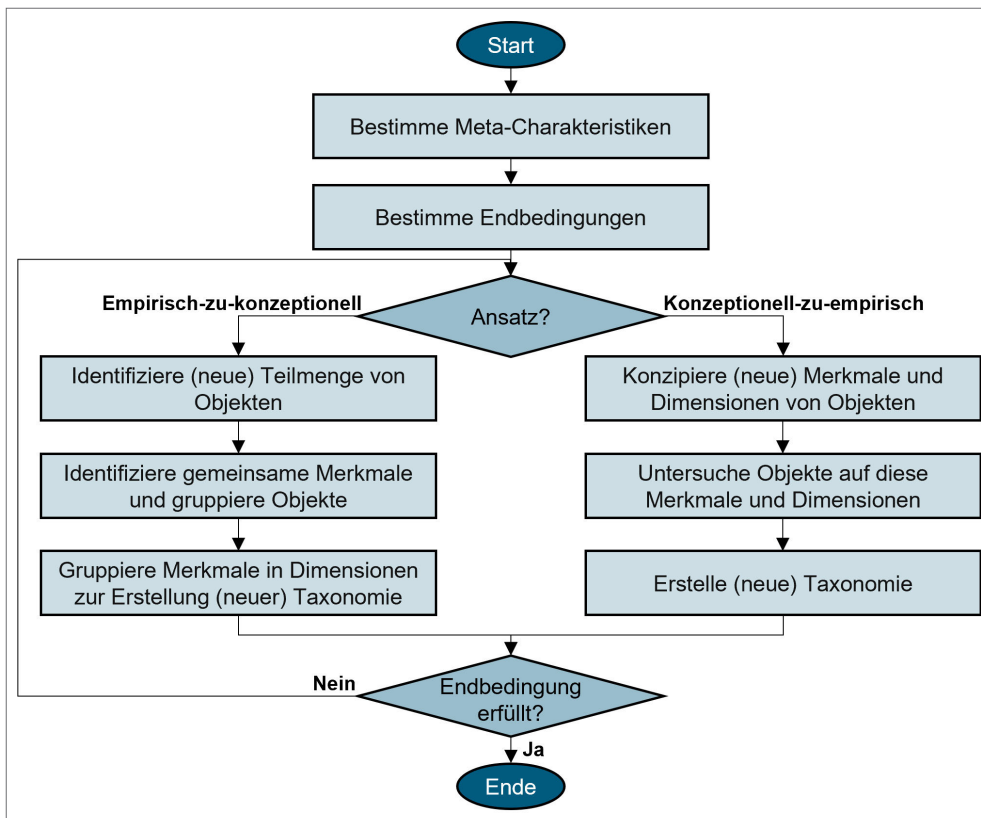


Bild 1 Vorgehen zur Taxonomiebildung nach Nickerson et al. Grafik: in Anlehnung an [22]

grundlegende Struktur der Taxonomie fest. Parallel dazu werden objektive und subjektive Abbruchbedingungen formuliert, welche die Entwicklung begrenzen und den Abschluss des Prozesses definieren [22]. Die Taxonomiebildung erfolgt in einem iterativen Verfahren, das wahlweise empirisch-konzeptionell oder konzeptionell-empirisch ausgestaltet sein kann. Der empirisch-konzeptionelle Ansatz startet mit einer Auswahl konkreter Objekte, aus denen relevante Merkmale abgeleitet werden. Diese werden dann zu überschneidungsfreien Dimensionen gruppiert. Im Gegensatz dazu beginnt der konzeptionell-empirische Ansatz mit der deduktiven Festlegung von Dimensionen auf Basis von Expertenwissen und theoretischen Überlegungen. Diese Dimensionen werden anschließend an realen Objekten überprüft und bei Bedarf angepasst. Nach jeder Iteration wird geprüft, ob die definierten Abbruchkriterien erfüllt sind. In der Regel folgt auf eine erste Version der Taxonomie mindestens eine weitere Iteration, bis alle objektiven und subjektiven Anforderungen erfüllt sind. [20]

Die Taxonomie adressiert die systematische Klassifikation von Smart Services in der Produktion und angrenzenden Wertschöpfungsbereichen. Ihr Ziel besteht darin, ein strukturiertes Verständnis darüber zu ermöglichen, welche übergeordneten Aspekte bei der Einführung und Nutzung von Smart Services im Produktionskontext relevant sind. Dadurch schafft die Taxonomie eine konzeptionelle Grundlage für nachgelagerte Bewertungs-, Entscheidungs- und Anforderungsanalysen. Die Einordnung erfolgt explizit aus der Anwenderperspektive, sodass die Taxonomie die Informationsbedarfe von Entscheidungsträgern in industriellen Produktionsumgebungen adressiert. Diese Nutzergruppe benötigt vor allem eine abstrahierte Darstellung zentraler Charakteristika von Smart Services, um fundierte Einschätzungen zu Aufwand, Nutzen und strategischer Relevanz treffen zu können. Eine detaillierte Beschreibung technischer oder organisatorischer

Implementierungsaspekte ist dagegen nicht Gegenstand der Taxonomie. Die Taxonomie charakterisiert Smart Services somit auf einem übergeordneten, anwendungsorientierten Abstraktionsniveau, ohne Anspruch auf Vollständigkeit der Umsetzungsspezifika. Auf Basis dieser Einordnung können in einem nachgelagerten Schritt konkrete Ausgestaltungsvarianten, Implementierungsanforderungen und Handlungsempfehlungen abgeleitet werden.

Die erste Iteration erfolgte konzeptionell-empirisch auf Basis einschlägiger Fachliteratur, um grundlegende Dimensionen und Merkmale der Taxonomie abzuleiten. Hierbei wurden im Rahmen einer systematischen Literaturanalyse Arbeiten zur Klassifikation und Charakterisierung von Smart Services in der Produktion analysiert. In der zweiten Iteration wurden erste Teile der Smart Services aus den Online-Datenbanken analysiert, wodurch zusätzliche Dimensionen ergänzt und bestehende Merkmale verfeinert werden konnten. Die dritte Iteration umfasste einen weiteren Teil und diente der Präzisierung der Merkmale, ohne neue Dimensionen zu identifizieren. In der vierten Iteration wurde der verbleibende Teil der Use Cases analysiert, wobei keine weiteren Anpassungen an der Taxonomie notwendig waren. Dadurch ergab sich eine vollständige Erfüllung der Abbruchbedingungen.

4 Analyse bestehender Smart Services

Bild 2 zeigt die Zusammensetzung der 707 untersuchten Use Cases.

Insgesamt 337 (circa 48 %) der untersuchten Datensätze stellen Industrie-4.0-Use-Cases ohne direkten Bezug zu Smart Services dar. Als Industrie-4.0-Use-Cases werden Anwendungsfälle verstanden, die den Einsatz von intelligenten Technologien der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) nutzen, um Prozesse durch Automatisierung und Vernetzung

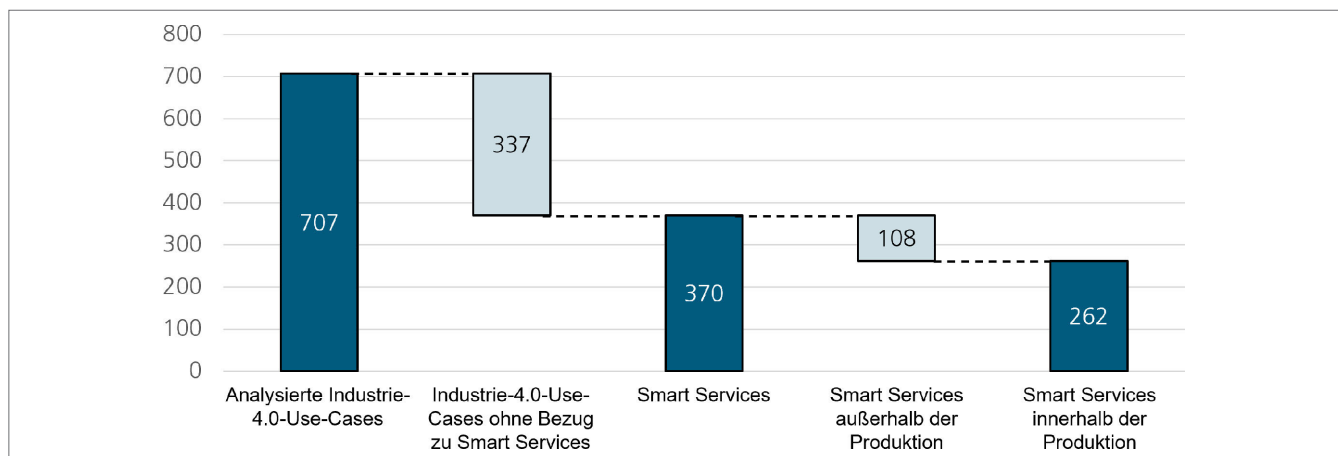


Bild 2 Unterteilung der Use Cases der Datenbanken. Grafik: Fraunhofer IPA

effizienter und nachhaltiger zu machen. Darunter fallen beispielsweise der Einsatz von intelligenten Steuerungen und Fertigungsmechanismen, der Einsatz neuer Konnektivitätstechnologien, die Einführung von spezifischen Systemen und Kollaborationsplattformen oder spezifische Infrastruktur- und IT-Security-Lösungen, die gemäß Definition nicht als reine Smart Services zählen, sondern nur einzelne Grundbestandteile adressieren. Innerhalb der 370 identifizierten Smart Services lassen sich 108 Use Cases (circa 15 %) außerhalb der Produktion und 262 Use Cases (circa 37 %) innerhalb der Produktion verorten. Bei Letzteren handelt es sich um Anwendungen von Smart Services im Sinne der in diesem Beitrag aufgestellten Definition. Innerhalb dieser 262 Smart-Service-Anwendungen konnten insgesamt 15 Kategorien differenziert werden, welche nachfolgend beschrieben sind.

Condition-Monitoring-Services unterstützen die kontinuierliche Überwachung von Maschinen- und Anlagenzuständen anhand relevanter Messgrößen wie Temperatur, Vibration oder Druck. Ziel ist die transparente Erkennung von Abweichungen und potenziellen Störungen – ohne Prognose künftiger Ausfälle. Diese Services tragen wesentlich zur Stabilisierung von Produktionsprozessen und zur Erhöhung der Betriebssicherheit bei.

Smart Services der Kategorie Übergeordnetes Dashboard / Andon bündeln und visualisieren zentrale Produktionskennzahlen, Anlagenzustände und Störinformationen in Echtzeit. Leitstandvisualisierungen, Andon-Boards oder Produktionscockpits schaffen ein gemeinsames Informationsbild für operative Entscheidungen und verbessern Transparenz, Reaktionsgeschwindigkeit und Prozessverständnis.

Die Kategorie Maschinenauftragsstatus umfasst Services, die den aktuellen Bearbeitungsstand eines Maschinenauftrags sichtbar machen, etwa „Auftrag läuft“, „Wartet auf Material“ oder „Abgeschlossen“. Die Bereitstellung dieser Statusinformationen erhöht die operative Transparenz, erleichtert die Produktionsüberwachung und unterstützt eine effizientere Planung.

Digitale Auftragssteuerung umfasst Services, die Produktionsaufträge vollständig digital verteilen, rückmelden und nachverfolgen. Dabei stehen transparente Arbeitslisten, digitale Fortschrittsüberwachung, dynamische Reihenfolgensteuerung und automatisierte Rückmeldemechanismen im Mittelpunkt. Diese Anwendungen erhöhen die Prozesssicherheit, stellen konsistente Informationen bereit und ermöglichen eine effiziente Synchronisation der Produktion.

Werkerassistenz-Services unterstützen Mitarbeitende aktiv bei der Ausführung ihrer Tätigkeiten, indem sie kontextsensitive Informationen, Schritt-für-Schritt-Anleitungen oder intuitive Interaktionsformen bereitstellen. Gestensteuerung, AR-Visualisierungen oder dynamische Handlungsempfehlungen erleichtern die Bedienung komplexer Maschinen und verbessern gleichzeitig die Prozessqualität und Fehlerreduktion.

Tracking-Services ermöglichen die Echtzeitortung von Materialien, Werkzeugen, Produkten oder anderen Objekten innerhalb der Produktion. Technologien wie RFID, Bluetooth oder GPS dienen als technische Basis, um Positionen und Bewegungsmuster präzise zu erfassen. Dadurch verbessern diese Anwendungen die Prozesssteuerung, reduzieren Suchzeiten und erhöhen die Bestandssicherheit.

Smart Services im Bereich Traceability / Digitaler Produktpass befassen sich mit der durchgängigen Erfassung, Verknüpfung und Bereitstellung von Produkt-, Material- und Prozessdaten über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Vor allem digitale Produktpässe und lückenlose Rückverfolgbarkeit schaffen ein hohes Maß an Transparenz, unterstützen Compliance-Anforderungen und verbessern die Qualitätssicherung.

Services der Kategorie Automatisierte Instandhaltung lösen Wartungsprozesse selbstständig aus oder führen diese automatisiert durch. Beispiele sind automatische Prüfabläufe, systemgestützte Wartungsentscheidungen oder autarke Ersatzteilbestellungen. Diese Anwendungen entlasten Mitarbeitende erheblich und steigern die Effizienz der Instandhaltung.

Predictive Maintenance nutzt datengetriebene Prognosemodelle, um zukünftige Ausfälle, Abnutzungszustände oder Restlebensdauern von Komponenten vorherzusagen. Im Gegensatz zum Condition Monitoring wird hier eine explizite Zukunftsprognose erzeugt, die präventive Wartungsentscheidungen erlaubt. Dadurch lassen sich Ausfallzeiten reduzieren und Wartungsprozesse optimieren.

Remote Services ermöglichen Fernzugriff, Fernwartung oder entfernte Interaktion mit Maschinen und Anlagen. Typische Anwendungen sind Remote-Diagnosen, Remote-Updates, Fernparametrierung oder assistierte Remote-Interventionen. Diese Services reduzieren Reaktionszeiten, senken Wartungskosten und ermöglichen effiziente Unterstützung unabhängig vom Standort.

Smart Services im Bereich der Automatisierten Qualitätskontrolle führen Qualitätsprüfungen ohne manuelle Eingriffe durch und nutzen dabei Technologien wie automatische Fehler-

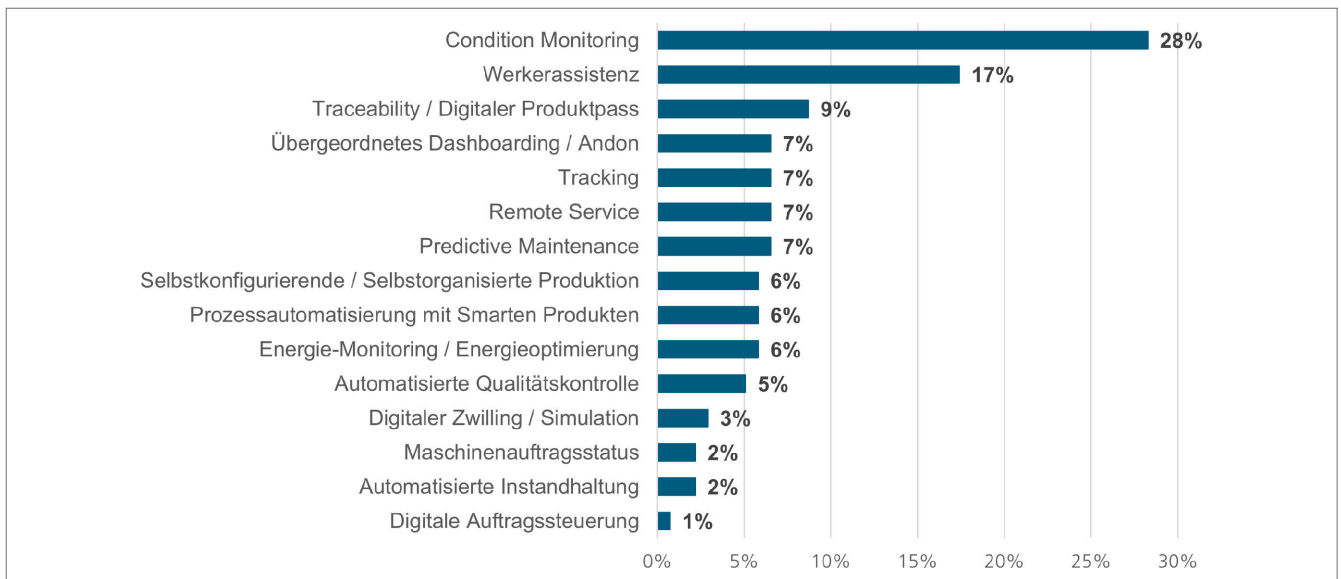


Bild 3 Prozentuale Verteilung der Smart Services nach Kategorie. Grafik: Fraunhofer IPA

erkennung, Bildverarbeitung oder KI-basierte Analytik. Durch Inline-Inspektionen und kontinuierliche Bewertungen erhöhen sie die Prüfsicherheit und reduzieren Fehlerquoten, während sie gleichzeitig den Prüfaufwand senken.

Smart Services der Kategorie Energie-Monitoring / Energieoptimierung erfassen und analysieren den Energieverbrauch sowie den Ressourceneinsatz von Anlagen und Prozessen. Neben der Schaffung von Transparenz ermöglichen sie Optimierungsentscheidungen, Lastmanagement und Effizienzanalysen. Damit leisten sie einen Beitrag zur nachhaltigen und kostenbewussten Produktion.

Die Kategorie Digitaler Zwilling / Simulation beschreibt Services, die virtuelle Abbildungen von Maschinen, Anlagen oder Prozessen bereitstellen und simulationsgestützte Analysen erlauben. Virtuelle Inbetriebnahmen, Prozesssimulationen und Echtzeitmodelle bilden dabei die Grundlage für Prozessoptimierungen, vorausschauende Analysen und eine risikoreduzierte Entscheidungsfindung.

Smart Services im Bereich Prozessautomatisierung mit Smarten Produkten ermöglichen durch eingebaute Sensorik, Identifikationsmerkmale oder eigenständige Informationsverarbeitung eine automatische Steuerung und Anpassung von Prozessschritten. Smart Services in diesem Bereich nutzen diese Intelligenz, um Produktionsabläufe dynamisch auszulösen oder zu konfigurieren. So entsteht eine flexible, adaptive Prozessautomatisierung entlang der Wertschöpfungskette.

Smart Services der Selbstkonfigurierenden/Selbstorganisierten Produktion ermöglichen es Produkten, Aufträgen oder smarten Objekten, Produktionsprozesse eigenständig zu steuern und notwendige Anlagenkonfigurationen automatisch zu initiieren. Kontinuierliche Optimierungsmechanismen und autonome Entscheidungen führen zu hochflexiblen und wandlungsfähigen Produktionsstrukturen, welche als Kernelement cyber-physischer Produktionssysteme gelten.

Bild 3 zeigt die 15 Kategorien, sortiert nach ihrem prozentualen Anteil basierend auf der Häufigkeit der Nennungen in den Online-Datenbanken.

Die Analyse der Online-Datenbanken mit Praxisbeispielen zu Industrie 4.0 zeigt, dass derzeit vor allem weniger komplexe

Smart Services – insbesondere aus den Bereichen Condition Monitoring und Werkerassistenz – in der industriellen Umsetzung verbreitet sind. Zudem wird in mehreren Fallbeispielen eine Kombination unterschiedlicher Smart Services beschrieben, was zu Mehrfachzuordnungen führt und erklärt, warum die aggregierte Häufigkeit über 100 % liegt.

5 Smart-Service-Taxonomie

Die Taxonomie ist in vier Meta-Dimensionen unterteilt, die zentrale Perspektiven auf Smart Services strukturieren. Die funktionale Einordnung beschreibt den grundlegenden Zweck und die Wirkungsrichtung eines Smart Services. Die Datenverarbeitung fokussiert auf die Art und Tiefe der Datenerhebung, -analyse und -integration als technologisches Fundament. Die organisatorischen Aspekte erfassen die notwendigen Kompetenzen, Rollen und Rahmenbedingungen für Umsetzung und Betrieb. Die Gestaltung schließlich beschreibt die Ausprägung der Nutzerinteraktion und Servicebereitstellung. Gemeinsam ermöglichen diese Meta-Dimensionen eine systematische und ganzheitliche Charakterisierung von Smart Services aus Anwendersicht. Im Zuge des iterativen Entwicklungsprozesses wurde eine Taxonomie mit insgesamt 13 Dimensionen abgeleitet, welche die zentralen Strukturierungsmerkmale zur Beschreibung und Einordnung von Smart Services in der Produktion abbilden (**Bild 4**).

Die letzte Spalte der Taxonomie (E/N) gibt an, ob es sich bei der jeweiligen Dimension um eine exklusive (E) oder nicht-exklusive (N) Ausprägung der Merkmale handelt. Exklusive Dimensionen (E) weisen genau ein zutreffendes Merkmal auf, während bei nicht-exklusiven Dimensionen (N) mehrere Merkmale gleichzeitig anwendbar sein können.

Zur Verdeutlichung des Klassifikationsansatzes werden im Folgenden die 13 Dimensionen der Taxonomie vorgestellt.

1. Klassifikation: Die Klassifikation dient der funktionalen Einordnung eines Smart Services und beschreibt, welchem übergeordneten Aufgaben- oder Themenfeld er zugeordnet ist. Sie ermöglicht eine systematische Strukturierung entlang des primären Service-Zwecks und schafft damit die Basis für Vergleichbarkeit.

Meta-Dimension	Dimension	Charakteristika					E/N
Funktionale Einordnung	Klassifikation	Condition Monitoring	Übergeordnetes Dashboard / Andon	Maschinenauftragsstatus	Digitale Auftragssteuerung	Werkerassistenz	N
		Tracking	Traceability / Digitale Produktpass	Automatisierte Instandhaltung	Predictive Maintenance	Remote Services	
		Automatisierte Qualitätskontrolle	Energie-Monitoring / Energieoptimierung	Digitaler Zwilling / Simulation	Prozessautomatisierung mit Smarten Produkten	Selbstkonfig. / selbstorgan. Produktion	
	Zielgröße	Zeit	Kosten	Qualitätsverbesserung	Flexibilität	N	
Mitarbeiterzufriedenheit	Nachhaltigkeit	Effizienzsteigerung	Konformität				
Betriebsart / Ergebnis	Überwachung / Transparenz (Entscheidungsunterstützung)	Steuerung / Fernsteuerung	Optimierung	Autonomes Handeln	N		
Datenverarbeitung	Datenaktivität	Datengenerierung		Datenverarbeitung	Datenaggregation		N
	Analysestufe	Deskriptiv	Diagnostisch	Prädiktiv	Präskriptiv		E
	Datenquelle	Maschine / Tool	Prozess	Produkt	Kunden		N
		Enterprise-System	Umwelt	Mensch	Öffentlich		
	Servicekomplexität	Einzelfunktion / manuelle Informationsverarbeitung	Mehrere verknüpfte Funktionen	Multiple interdependente Funktionen	Vollständig integrierte Systemlösung		E
	Serviceablauf	Manuell	Zeitgesteuert	Ereignisgesteuert	Kontinuierlich (Echtzeit)		E
Organisatorische Aspekte	Kompetenzen	Produkt-Know-how	Prozess-Know-how	OT-Know-how	IT-Know-how	Ganzheitliches Know-how	N
	Einbezug Dienstleister	Hardware	Software	Beratung	Keine (Vollständige Eigenumsetzung)		N
Gestaltung	Nutzer-Schnittstelle	Lokale Anzeigeräte (Feste Bildschirme, Signalleuchten)	Mobile Displaygeräte (Handy, Tablet)	Wearables (Bänder, Tracker, Audio)	Erweiterte oder virtuelle Realität		N
	Interaktionsgrad	Passiv-Informativ	Semi-Passiv	Interaktiv	Semi-Automatisch	Voll-Automatisch	E
	Individualisierungsgrad	Standardisiert		Standardisiert in Varianten		Maßgeschneidert	E

Bild 4 Smart-Service-Taxonomie. Grafik: Fraunhofer IPA

- Zielgröße: Die Zielgröße definiert, auf welche betrieblichen Wirkungsziele ein Smart Service ausgerichtet ist. Sie beschreibt den intendierten Nutzen und die angestrebten Effekte auf Leistungsparameter wie Effizienz, Qualität oder Flexibilität. Somit bildet diese Dimension einen strategischen Orientierungsrahmen und liefert die Grundlage für spätere Nutzenbewertungen.
- Betriebsart / Ergebnis: Die Betriebsart beschreibt, wie ein Smart Service operativ wirkt – ob er Transparenz schafft, Prozesse steuert, Optimierungspotenziale aufzeigt oder autonom handelt. Diese Dimension ordnet den funktionalen Output ein und ermöglicht die Bewertung des Automatisierungs- und Wirkungsgrads eines Smart Service.
- Datenaktivität: Die Datenaktivität beschreibt die Art und Weise, wie ein Smart Service mit Daten umgeht, insbesondere ob diese generiert, verarbeitet oder aggregiert werden. Sie bestimmt die Rolle der Daten im Servicekonzept und erlaubt Rückschlüsse auf technische Anforderungen, Datenflüsse und Systemarchitekturen.
- Analysestufe: Die Analysestufe klassifiziert die Tiefe und Komplexität der eingesetzten Analyseverfahren – von deskriptiven Auswertungen bis zu präskriptiven Modellen. Diese Dimension ermöglicht eine Einordnung des datengetriebenen Intelligenzgrades und beschreibt das technologische Reife- und Automatisierungsniveau eines Smart Service.
- Datenquelle: Die Datenquelle beschreibt die Herkunft der für den Smart Service relevanten Daten, zum Beispiel aus Maschi-

- nen, Prozessen, Produkten oder IT-Systemen. Sie zeigt auf, welche Entitäten den Service speisen und welche Sensorik, Datenerfassung oder Systemanbindung erforderlich ist – zentral für die Bewertung der Realisierbarkeit.
- Servicekomplexität: Diese Dimension beschreibt den Grad der funktionalen Verknüpfung eines Smart Service mit bestehenden Systemen und Prozessen. Sie reflektiert die technische und organisatorische Komplexität, die für die Realisierung erforderlich ist, und unterstützt die Einschätzung von Integrationsaufwand und Interoperabilität.
- Serviceablauf: Der Serviceablauf beschreibt die zeitliche und logische Struktur der Serviceausführung – manuell, zeitgesteuert, ereignisgesteuert oder kontinuierlich in Echtzeit. Diese Dimension beeinflusst maßgeblich die Anforderungen an Infrastruktur, Reaktionsfähigkeit und operative Einbettung in Produktionsprozesse.
- Kompetenzen: Die Kompetenzdimension umfasst das erforderliche Wissen und die Fähigkeiten für Entwicklung, Einführung und Nutzung eines Smart Service. Sie dient der Bewertung organisationaler Qualifikationsbedarfe und bildet eine Grundlage für Personalplanung sowie Kompetenzentwicklung im Kontext digitaler Transformation.
- Einbezug Dienstleister: Diese Dimension beschreibt den Umfang der Beteiligung externer Partner wie Hardware-, Software- oder Beratungsdienstleister. Sie reflektiert Make-or-Buy-Entscheidungen und ermöglicht Rückschlüsse auf

Meta-Dimension	Dimension	Charakteristika					E/N
Funktionale Einordnung	Klassifikation	Condition Monitoring	Übergeordnetes Dashboard /Andon	Maschinenauftragsstatus	Digitale Auftragssteuerung	Werkerassistenz	N
		Tracking	Traceability / Digitale Produktpass	Automatisierte Instandhaltung	Predictive Maintenance	Remote Services	
		Automatisierte Qualitätskontrolle	Energie-Monitoring / Energieoptimierung	Digitaler Zwilling / Simulation	Prozessautomatisierung mit Smarten Produkten	Selbstkonfig. / selbstorgan. Produktion	
	Zielgröße	Zeit	Kosten	Qualitätsverbesserung	Flexibilität	N	
		Mitarbeiterzufriedenheit	Nachhaltigkeit	Effizienzsteigerung	Konformität		
Betriebsart / Ergebnis	Überwachung / Transparenz (Entscheidungsunterstützung)	Steuerung / Fernsteuerung	Optimierung	Autonomes Handeln	N		
Datenverarbeitung	Datenaktivität	Datengenerierung	Datenverarbeitung	Datenaggregation	N		
	Analysestufe	Deskriptiv	Diagnostisch	Prädiktiv	Präskriptiv	E	
	Datenquelle	Maschine / Tool	Prozess	Produkt	Kunden	N	
		Enterprise-System	Umwelt	Mensch	Öffentlich		
	Servicekomplexität	Einzelfunktion / manuelle Informationsverarbeitung	Mehrere verknüpfte Funktionen	Multiple interdependente Funktionen	Vollständig integrierte Systemlösung	E	
	Serviceablauf	Manuell	Zeitgesteuert	Ereignisgesteuert	Kontinuierlich (Echtzeit)	E	
Organisatorische Aspekte	Kompetenzen	Produkt-Know-how	Prozess-Know-how	OT-Know-how	IT-Know-how	Ganzheitliches Know-how	N
	Einbezug Dienstleister	Hardware	Software	Beratung	Keine (Vollständige Eigenumsetzung)		N
Gestaltung	Nutzer-Schnittstelle	Lokale Anzeigergeräte (Feste Bildschirme, Signalleuchten)	Mobile Displaygeräte (Handy, Tablet)	Wearables (Bänder, Tracker, Audio)	Erweiterte oder virtuelle Realität		N
	Interaktionsgrad	Passiv-Informativ	Semi-Passiv	Interaktiv	Semi-Automatisch	Voll-Automatisch	E
	Individualisierungsgrad	Standardisiert	Standardisiert in Varianten		Maßgeschneidert		E

Bild 5 Anwendung der Taxonomie für einen Use Case im Bereich Materialtracking. Grafik: Fraunhofer IPA

Abhängigkeiten, Implementierungsrisiken und Kooperationsmodelle.

11. Nutzer-Schnittstelle: Die Nutzer-Schnittstelle beschreibt die Art des Interfaces oder Endgeräts, über das der Smart Service bereitgestellt wird. Sie bestimmt den Zugang zu Informationen, die Usability sowie die Integration in operative Abläufe und ist damit entscheidend für Akzeptanz und Effizienz im Nutzungskontext.
12. Interaktionsgrad: Der Interaktionsgrad beschreibt die Intensität und Art der Mensch-Service-Interaktion, von rein passiver Informationsbereitstellung bis zu teil- oder vollautomatisierten Interaktionsformen. Diese Dimension definiert die Rolle des Menschen im sozio-technischen System und bestimmt die Bedienlogik.
13. Individualisierungsgrad: Der Individualisierungsgrad beschreibt, in welchem Maße ein Smart Service standardisiert oder an spezifische betriebliche Anforderungen angepasst ist. Er ermöglicht Rückschlüsse auf Skalierbarkeit, Anpassungsaufwand und Flexibilität und unterstützt damit strategische Entscheidungen zur Einführung und Weiterentwicklung.

6 Anwendung und Validierung der Taxonomie in der Praxis

Die vorliegende Taxonomie wurde im Rahmen von Praxisprojekten des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und

Automatisierung IPA bei unterschiedlichen Smart-Service-Use-Cases angewendet und validiert. Die Taxonomie unterstützt Anwender dabei, eine initiale Smart-Service-Idee systematisch zu konkretisieren, indem die relevanten Dimensionen schrittweise durchlaufen und die jeweils zutreffenden Charakteristika ausgewählt werden. Auf diese Weise entsteht frühzeitig ein strukturierter Eindruck von Umfang und Komplexität des Smart Services sowie von zentralen Anforderungen, etwa in Bezug auf Datenverfügbarkeit, Analysefähigkeit und benötigte Kompetenzen.

Das folgende Beispiel illustriert die Anwendung der Smart-Service-Taxonomie anhand eines Use Cases aus dem Bereich des Materialtrackings. Es beschreibt die Einführung eines Real-Time Locating Systems (RTLS), das einen durchgehend transparenten und zuverlässigen Materialfluss in der Intralogistik sicherstellen soll. Ziel ist es, Suchzeiten deutlich zu reduzieren und die Effizienz der Mitarbeitenden spürbar zu erhöhen. Ein RTLS erlaubt die kontinuierliche, automatische und präzise Echtzeitortung von Materialträgern. Durch die Kombination verschiedener Tracking-Technologien – etwa RFID zur ereignisbasierten Identifikation und Bluetooth zur hochfrequenten Echtzeitlokalisierung – entsteht ein integriertes System, das Materialbewegungen nahtlos und flächendeckend abbildet. Auf diese Weise wird eine verlässliche, orts- und prozessspezifische Transparenz geschaffen, die sowohl operative Entscheidungen unterstützt als auch die Basis für weiterführende Optimierungs- und Automatisierungsmaß-

nahmen bildet. Die Anwendung der Smart-Service-Taxonomie ist in **Bild 5** dargestellt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag analysiert die komplexen Herausforderungen, mit denen produzierende Unternehmen im Zuge der digitalen Transformation konfrontiert sind. Angesichts volatiler Märkte, verkürzter Produktlebenszyklen und des demografischen Wandels wird der Einsatz digitaler Lösungen in Form von Smart Services als essenziell für die Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit hervorgehoben. Trotz ihres Potenzials scheitert die Einführung solcher Services häufig an Unsicherheiten hinsichtlich ihres wirtschaftlichen Nutzens, hohen Implementierungshürden sowie mangelnder organisatorischer und technologischer Reife der einführenden Unternehmen. Ziel des Beitrags war es daher, das Themenfeld Smart Services systematisch zu strukturieren und produzierenden Unternehmen eine fundierte Entscheidungsgrundlage bereitzustellen.

Smart Services werden dabei als datengestützte, individualisierbare Dienstleistungen verstanden, die durch die Vernetzung physischer Objekte und die Analyse von Produktionsdaten einen konkreten Mehrwert schaffen. Hierzu wurden 707 Industrie-4.0-Use-Cases analysiert, gefiltert und 15 klar abgegrenzten Kategorien von Smart Services zugeordnet. Auf dieser Basis wurde eine praxisorientierte Taxonomie zur Klassifikation von Smart Services mit 13 Dimensionen entwickelt. Diese wurde in einem iterativen Verfahren erstellt und durch Anwendung in der Praxis validiert. Die Ergebnisse bestätigen die Eignung der Taxonomie als umfassendes Werkzeug zur Einordnung, Differenzierung und Bewertung von Smart Services in der Produktion.

Für die zukünftige Forschung ergeben sich aus den vorliegenden Ergebnissen vielversprechende Anschlussmöglichkeiten. So könnte eine quantitative Validierung der Taxonomie mit einer größeren Stichprobe die Robustheit der Dimensionen untermauern und durch Clusteranalysen typische Smart-Service-Profile identifizieren. Zudem ist die Untersuchung des Zusammenhangs zwischen bestimmten Taxonomie-Profilen und der Anforderungsdefinition sowie der wirtschaftlichen Mehrwertbetrachtung von Smart Services ein lohnender Ansatz. Ziel wäre es, Metriken über klassische Kennzahlen hinaus zu entwickeln und Erfolgsfaktoren empirisch zu erfassen. Eine weitere Perspektive bietet die Verknüpfung der Taxonomie mit Reifegradmodellen, um unternehmensspezifisch geeignete Smart Services abhängig vom digitalen und organisatorischen Entwicklungsstand zu empfehlen. Daraus können langfristig ein Datenmodell und eine KI-basierte Automatisierung des Auswahl- und Bewertungsprozesses entwickelt werden, die eine Entscheidungsunterstützung zur Auswahl eines geeigneten Smart Service auf Basis der Charakteristika des Unternehmens, des Smart Services und des angestrebten Ziels bietet.

FÖRDERHINWEIS

Die Veröffentlichung wurde vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistungen und Arbeit im Rahmen des Forschungsprojekts „Resiplat“ gefördert (Förderkennzeichen 02J23C04).


LITERATUR

- [1] Lanz, M.; Tuokko, R.: Concepts, methods and tools for individualized production. *Production Engineering* 11 (2017) 2, pp. 205–212
- [2] Matthes, J.; Schmitz, E.: Konkurrenzdruck aus China für deutsche Firmen: Ergebnisse einer Unternehmensumfrage. IW-Report No. 30/2024. Stand: 2024. Internet: www.econstor.eu/bitstream/10419/298845/1/1891263668.pdf. Zugriff am 17.02.2026
- [3] Klier, J.; Kreuzer, P.; Sachs, A. et al.: Potenzialindex Deutschland. Potenziale der Digitalisierung für Wirtschaft und Gesellschaft. Stand: 2024. Internet: www.prognos.com/de/projekt/potenzialindex-deutschland. Zugriff am 17.02.2026
- [4] Marko, A.: Industrie 4.0 – so digital sind Deutschlands Fabriken. Ein Bitkom-Studienbericht. Stand: September 2022. Internet: www.bitkom.org/sites/main/files/2023-01/221125StudieIndustrie-40-1.pdf. Zugriff am 17.02.2026
- [5] Freitag, M.; Korb, T.; Sommer, P.: Smart services im Maschinen- und Anlagenbau. Eine Kurzstudie. Stand: 2019. Internet: publica.fraunhofer.de/bitstreams/ce2f1aed-0f05-4ec7-b747-fc232dd0cda4/download. Zugriff am 17.02.2026
- [6] Hirsch-Kreinsen, H.; Kubach, U.; Stark, R. et al.: Themenfelder Industrie 4.0. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0. München: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften 2022
- [7] Liebrecht, C.: Entscheidungsunterstützung für den Industrie 4.0-Methodeneinsatz. Strukturierung, Bewertung und Ableitung von Implementierungsreihenfolgen. Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2020
- [8] Naumann, V.: Smarte Produkt-Service Systeme: Eine transformations- und kostenorientierte Untersuchung. Dissertation, Universität Bamberg, 2021
- [9] Leineweber, S.: Ansatz zur Unterstützung des Auswahlprozesses von digitalen Technologien für manuelle Montagesysteme. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, 2023
- [10] Fischer, T.: Hürden der Digitalisierung in KMU. Ursachenanalyse und Handlungsempfehlungen. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 118 (2023) 3, S. 169–172
- [11] Nöhring, F.: Ansatz zur zielgerichteten Gestaltung cyber-physischer Produktionssysteme für kleine und mittlere Unternehmen. Dissertation, Technische Universität Dortmund, 2021
- [12] Scholz, P.: Methodik zur potenzial- und risikobasierten Technologiebewertung. Dissertation, RWTH Aachen, 2021
- [13] Neuhüttler, J.; Feike, M.; Kutz, J. et al.: Digital Factory Transformation from a Servitization Perspective: Fields of Action for Developing Internal Smart Services. *Sci 5* (2023) 2, pp. 1–22
- [14] Gross, E.; Schrader, P.; Gramberg, T. et al.: Identifikation und Auswahl von digitalen Services. *wt Werkstattstechnik online* 113 (2023) 09, S. 376–381. Düsseldorf, VDI Fachmedien, <https://doi.org/10.37544/1436-4980-2023-09>
- [15] Schneider, M.; Gross, E.; Bauernhansl, T.: Einführung von Smart Services in der Produktion. Status quo und Anforderungen an die Bewertung des Mehrwerts von Smart Services für Anwender. *wt Werkstattstechnik online* 114 (2024) 07–08, S. 452–459, Düsseldorf, VDI Fachmedien, <https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-07-08>
- [16] Beverungen, D.; Müller, O.; Matzner, M. et al.: Conceptualizing smart service systems. *Electronic markets* 29 (2017) 1, pp. 7–18
- [17] Deutsches Institut für Normung: DIN SPEC 33453. Entwicklung digitaler Dienstleistungssysteme. Berlin: Beuth Verlag GmbH 2019
- [18] Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Smart Services. Konzepte – Methoden – Prozesse. Wiesbaden: Springer Gabler 2022
- [19] Kampker, A.; Frank, J.; Schwartz, M. et al.: Lernen von den Besten: Fünf Erfolgsfaktoren bei der Entwicklung von Smart Services. In: Meyer, K.; Klingner, S.; Zinke, C. (Hrsg.): *Service Engineering*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2018, S. 151–165
- [20] Gerl, S.: Innovative Geschäftsmodelle für industrielle Smart Services. Ein Vorgehensmodell zur systematischen Entwicklung. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2020
- [21] Begovic, A.: Datenbasiertes Wissensmanagement für Smart Services im Werkzeugbau. Dissertation, RWTH Aachen, 2018
- [22] Nickerson, R. C.; Varshney, U.; Munterman, J.: A method for taxonomy development and its application in information systems. *European journal of information systems* 22 (2013) 3, pp. 336–359

Mirko Schneider, M.Sc. 
mirko.schneider@ipa.fraunhofer.de

Alexandros Tummino, M.Sc.

Dr.-Ing. Erwin Gross 

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl 

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de

LIZENZ



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