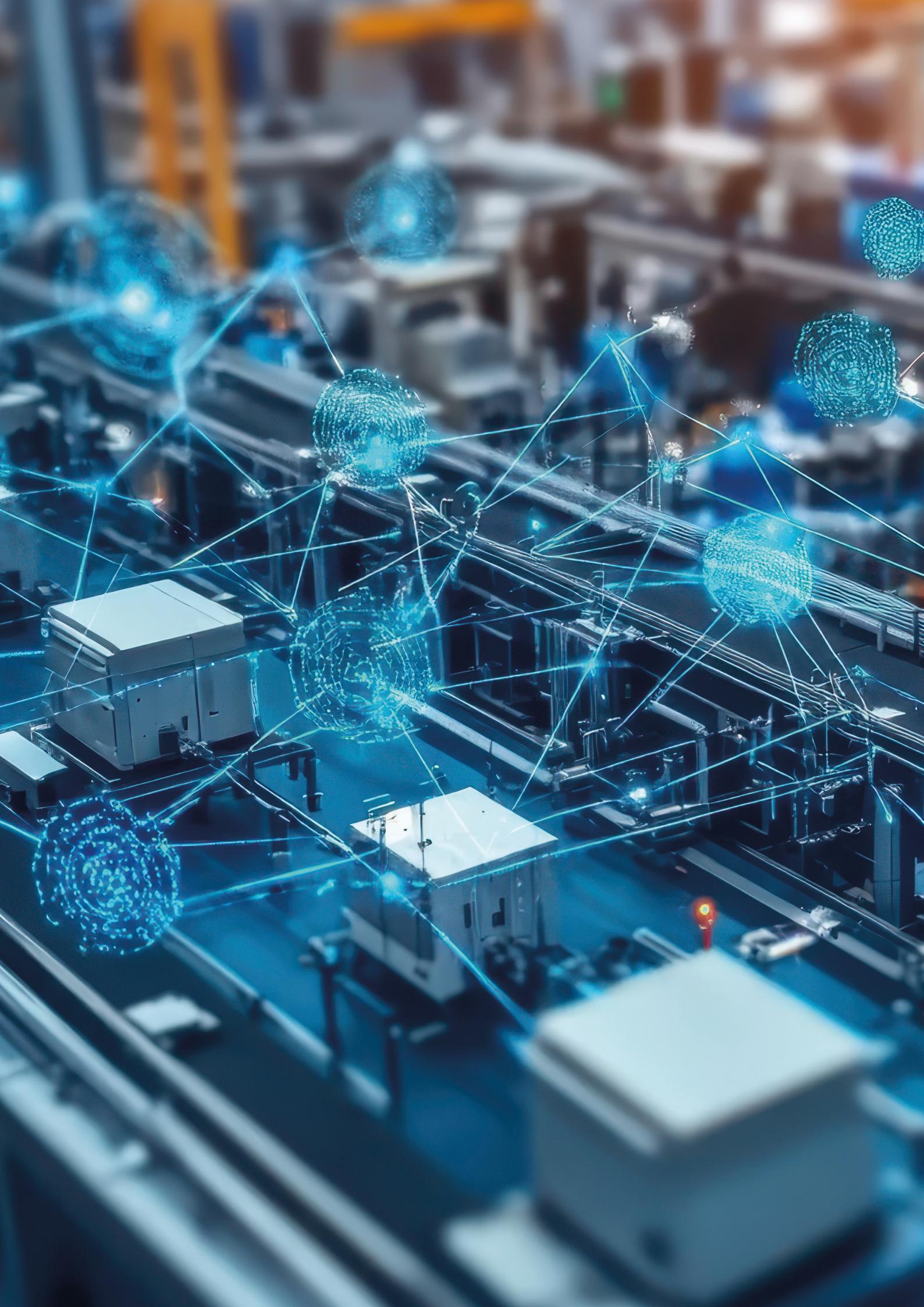




Vom Produkt zur digitalen Dienstleistung: Smarte Services im Maschinenbau



Inhalt

Einleitung	4
Der Weg vom Produkt-Service-System zum smarten Dienstleistungssystem	5
Smart Services als digitale Erweiterung.....	7
Fähigkeitsstufen von Smart PSS.....	9
Neue Geschäftsmodelle im Maschinenbau: Pay-per-Use und Co.....	12
Fazit: Smarte Services als Wegbereiter für eine digitale Industrie	14
Literaturverzeichnis.....	17
Abbildungsverzeichnis	19
Abkürzungsverzeichnis	19

Impressum

Autor

Anton Mauersberger,
Fraunhofer-Allianz autoMOBILproduktion

Satz und Design

FIR e. V. an der RWTH Aachen

Bildnachweise

Titel : © anak – stock.adobe.com
S. 2: © Phoenix AI Photo – stock.adobe.com
S. 4: © A-photos – stock.adobe.com
S. 6: © kaniel – stock.adobe.com
S. 8: © BrightWhite – stock.adobe.com
S. 10/11: © aubriella – stock.adobe.com
S. 13: © Natalia – stock.adobe.com
S. 15: © Chanthakan – stock.adobe.com
S. 16: © Andi – stock.adobe.com
S. 18/19: © DITSARAPHAN – stock.adobe.com

Lizenzbestimmung/ Copyright

Open Access: Dieses Whitepaper wird unter der Creative-Commons-Lizenz 'CC BY-SA 4.0 – Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International' veröffentlicht.



Projekt DiSerHub

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

E-Mail: projekt-DiSerHub@fir.rwth-aachen.de
diserhub.de

Stand: 09.2025

Einleitung

Der deutsche Maschinen- und Anlagenbau erreichte im Jahr 2023 einen Gesamtumsatz von rund 262,9 Mrd. €, was im Vergleich zu 2022 (244 Mrd. €) einem erfreulichen Wachstum entspricht [TEK24]. Dennoch steht die Branche vor tiefgreifenden Herausforderungen, von digitalen Disruptionen über Klimarisiken bis hin zu anspruchsvollerem Kundenbedarf.

Märkte und Produkte wandeln sich stetig. In der deutschen Automobilindustrie wird dies besonders durch neue globale Akteure sichtbar, die Trends wie Elektromobilität, autonomes Fahren und vernetzte Dienste mit hoher Innovationsgeschwindigkeit vorantreiben [GHO22]. Auch in der Digitalwirtschaft steigt die Zahl vernetzter IoT-Produkte rasant, sowohl im Konsum- als auch im Industriebereich. Digitale Funktionen gewinnen zunehmend Einfluss auf Kaufentscheidungen [GHO22]. Dadurch wächst auch der Markt für Künstliche Intelligenz (KI) und die Umsätze in KI-gestützten Geschäftsbereichen.

Smart Services sind ein Schlüsselfaktor, welcher die Intelligenz und Konnektivität von IoT-Produkten mit Dienstleistungen und Stakeholdern verknüpfen und auf der kontinuierlichen Erfassung, Verarbeitung und Nutzung von Daten und Informationen aus vernetzten Maschinen und Anlagen im Maschinenbau beruhen [ZHE19]. Durch den Einsatz von Sensorik, eingebetteter Software, Cloud-Technologien und datenanalytischen Verfahren können Smart Services Funktionen wie die zustandsbasierte Überwachung (Condition Monitoring), vorausschauende Wartung (Predictive Maintenance) sowie automatisierte Nachbestellprozesse realisieren. Ziel ist es die Verfügbarkeit und Effizienz technischer Systeme zu erhöhen, Ausfallzeiten zu mini-

mieren und gleichzeitig neue Wertschöpfungspotenziale zu erschließen [MAU25]. Im Kontext der digitalen Transformation gelten Smart Services als Schlüsselkomponente zur Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle im Maschinen- und Anlagenbau, da sie eine stärkere Kundenorientierung und Individualisierung von Leistungen ermöglichen.

Branchenbefragungen unter 71 Maschinenbauunternehmen bestätigen diesen Trend: 70 % nennen die „Erfüllung neuer Kundenanforderungen“, 66 % die „Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit“ als Hauptmotivation für Smart-Service-Initiativen. Wie marktwirksam solche Angebote bereits sind, zeigt die Studie: 80 % der leistungsstärksten Unternehmen verknüpfen ihr Produktportfolio bereits mit klassischen Serviceleistungen und digitalen Diensten [FRI22].

Ein entscheidender Erfolgsfaktor bei der Umsetzung von Smart Services liegt in der Fähigkeit der Unternehmen, datenbasierte Entscheidungsprozesse systematisch zu integrieren und neue Kompetenzen aufzubauen. Dazu zählen unter anderem die Analyse großer Datenmengen (Big Data), die Entwicklung digitaler Geschäftsmodelle sowie ein tiefes Verständnis für die Bedürfnisse der Anwender. Gleichzeitig erfordert die Einführung smarter Dienstleistungen ein Umdenken in bestehenden Wertschöpfungsketten sowie eine enge Zusammenarbeit zwischen IT, Maschinenbau, Vertrieb und Service. Nur so lassen sich innovative Lösungen entwickeln, die nicht nur technologisch überzeugen, sondern auch echten Kundennutzen stiften, sei es durch Effizienzgewinne, höhere Transparenz oder neue Serviceerlebnisse.



Der Weg vom Produkt-Service-System zum smarten Dienstleistungssystem

Seit den 1980er Jahren wird die Entwicklung von Dienstleistungen systematisch unter Begriffen wie New Service Development oder Service Design erforscht [EDV96]. Dienstleistungen unterscheiden sich von Produkten durch Eigenschaften wie Immateriellität, Heterogenität und Nicht-Lagerfähigkeit [ZEI85].

Die **Abbildung 1** veranschaulicht die Entwicklung von klassischen Produktangeboten hin zu dienstleistungsintensiven Produkt-Service-Systemen (PSS). Ein

PSS bezeichnet ein integriertes Leistungsbündel aus materiellen Produkten und immateriellen Dienstleistungen, das gemeinsam gestaltet, bereitgestellt und genutzt wird. Der zentrale Aspekt hierbei ist die Verschiebung des Wertschöpfungsfokus vom Produkt zum Service, was sich maßgeblich auf Verantwortlichkeiten, Eigentumsverhältnisse und Erlösmodelle auswirkt.

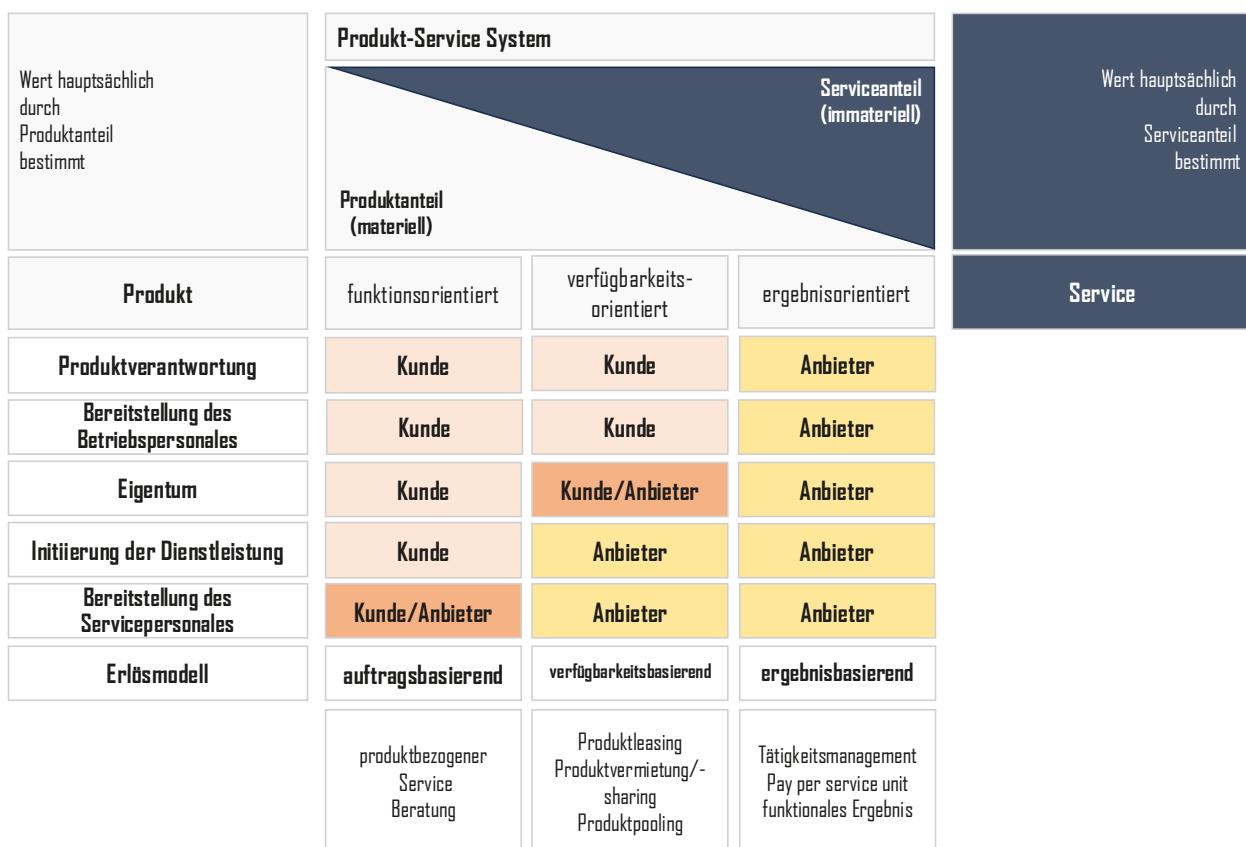


Abbildung 1: Kategorisierung der PSS nach [TUK04] und [MEI12]



Die **Abbildung 1** differenziert dabei zwischen drei grundlegenden Typen von Produkt-Service-Systemen, welche sich entlang des Serviceanteils (immaterial) und des Produktanteils (materiell) unterscheiden:

Funktionsorientierte PSS

In funktionsorientierten Systemen steht das physische Produkt im Zentrum des Angebots. Dienstleistungen wie Wartung, Reparatur oder Schulung werden lediglich als Zusatzleistungen angeboten. Die Produktverantwortung sowie das Eigentum verbleiben beim Kunden. Auch die Bereitstellung des Betriebs- und Servicepersonals liegt überwiegend beim Kunden oder wird partiell vom Anbieter übernommen. Das Erlösmodell basiert typischerweise auf auftragsbezogenen Leistungen (z. B. bezahlte Wartung nach Aufwand) [TUK04].

Verfügbarkeitsorientierte PSS

Bei verfügbarkeitsorientierten Modellen wird der Fokus zunehmend auf die Nutzung des Produkts gelegt. Der Anbieter bleibt Eigentümer oder teilt sich das Eigentum mit dem Kunden. Die Verantwortung für die Funktionstüchtigkeit liegt stärker beim Anbieter, ebenso wie die Initiative zur Dienstleistungserbringung. Der Kunde zahlt nicht mehr für das Produkt selbst, sondern für dessen verfügbare Nutzung (z. B. durch Leasing, Pay-per-Use oder Full-Service-Verträge). Das Erlösmodell basiert auf einer nutzungsabhängigen Vergütung [TUK04].

Ergebnisorientierte PSS

Ergebnisorientierte Systeme stellen die höchste Ausprägung dienstleistungsorientierter Geschäftsmodelle dar. Hier wird nicht mehr das Produkt oder dessen Nutzung angeboten, sondern ein konkretes Ergebnis. Der Anbieter übernimmt vollständige Verantwortung für Betrieb, Personal, Verfügbarkeit und Zielerreichung. Der Kunde erhält ein Leistungsergebnis, beispielsweise „gewaschene Wäsche pro Kilogramm“ oder „transportierte Personen pro Kilometer“. Diese Modelle basieren auf ergebnisabhängigen Vergütungen und erfordern hohe technische, organisatorische und vertragsrechtliche Integration [TUK04].

Mit dem Einzug digitaler Technologien entwickelt sich das klassische Konzept des Produkt-Service-Systems (PSS) weiter zu sogenannten Smart Product-Service Systems (Smart PSS). Diese integrieren physische Produkte mit intelligenten, digitalen Dienstleistungen auf Basis von IoT, Cloud-Computing und Künstlicher Intelligenz (KI). Ihre besondere Stärke liegt in der kontinuierlichen Datenerfassung, -verarbeitung und -nutzung, wodurch adaptive, kontextabhängige und nutzerzentrierte Services ermöglicht werden [ZHE19, BEV19]. Smart PSS bauen auf der Grundlogik hybrider Leistungsbündel auf und transformieren diese zu dynamischen, datengetriebenen Ökosystemen. In solchen Systemen interagieren Anbieter und Nutzer fortlaufend über digitale Plattformen, was neue Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use oder ergebnisbasierte Services erlaubt. Gleichzeitig stärkt dies die Kundenbindung und unterstützt die bedarfsgerechte Individualisierung von Leistungen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg.

Smart Services als digitale Erweiterung

Smart Services haben sich aus den Bereichen der Tele- und Electronic Services entwickelt [BRU22]. Diese frühen Formen digital unterstützter Dienstleistungen basierten auf Sensorik, Fernüberwachung und der Übertragung von Maschinendaten zur externen Analyse. Der technologische Fortschritt ermöglichte die Überwindung von Einschränkungen wie unzureichender Echtzeitfähigkeit und fehlender Autonomie, was die Entwicklung komplexer und adaptiver Servicelösungen begünstigte [BRU22].

Obwohl Smart Services in der Literatur unterschiedlich definiert werden, eint sie die Integration digitaler

Technologien zur Entwicklung adaptiver, nutzerzentrierter Dienstleistungspakete [BEV19]. Häufig wird die Verknüpfung von physischen und digitalen Komponenten, die Fähigkeit zur autonomen Entscheidungsfindung sowie die Einbettung in Plattformökosysteme hervorgehoben [MAU25].

Zentral ist dabei die Rolle des Smart Products, das als datenlieferndes, vernetztes Objekt den Kern der Dienstleistung bildet [POR14]. Sensoren generieren dabei produkt-, nutzungs- und umgebungsbezogene Daten, die durch eingebettete Systeme analysiert und interpretiert werden [LEE20].

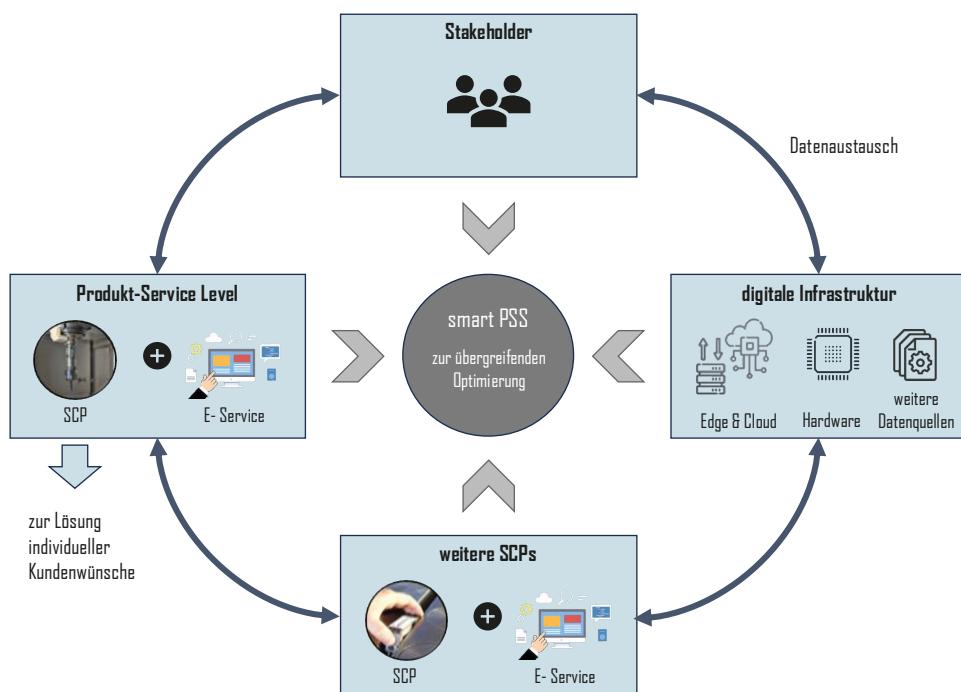


Abbildung 2: Bestandteile eines smart PSS nach ZHE19

Die **Abbildung 2** stellt die Systemebene eines Smart Product-Service Systems (Smart PSS) dar und verdeutlicht die integrative Vernetzung verschiedener Komponenten zur übergreifenden Optimierung industrieller Wertschöpfungsprozesse. Zentral ist das

Smart PSS, das als koordinierende Instanz physische Produkte, digitale Services, Stakeholder und technische Infrastrukturen zu einem integrierten System zusammenführt [ZHE19].



Auf der Produkt-Service-Ebene werden Smart Connected Products (SCPs), also intelligente sowie vernetzte Geräte mit digitalen Diensten kombiniert, sodass individualisierte Lösungspakete entstehen, die spezifische Kundenbedürfnisse adressieren. Diese Einzellösungen werden um weitere SCP-basierte Systeme ergänzt, wodurch ein vernetztes System entsteht, das eine ganzheitliche Optimierung entlang der Wertschöpfungskette ermöglicht. Die zugrunde liegende digitale Infrastruktur umfasst Technologien wie Edge- und Cloud-Computing, eingebettete Hardwarekomponenten sowie zusätzliche Datenquellen. Sie bildet die technische Grundlage für die Erfassung, Verarbeitung und Analyse von Echtzeitdaten aus Nutzung, Zustand und Umgebung der Produkte. Dadurch werden datengetriebene Entscheidungen und kontinuierliche Anpassungen im Betrieb ermöglicht [ZHE19].

Stakeholder umfassen Anwender, Hersteller, Dienstleistungsanbieter, Plattformbetreiber sowie weitere beteiligte Akteure, die aktiv in die Gestaltung, Nutzung und kontinuierliche Weiterentwicklung des Systems eingebunden sind. Diese partizipative Ausrichtung entspricht dem systemischen Verständnis, wonach Smart PSS als IT-getriebenes, adaptives Gesamtsystem konzipiert ist, das durch die intelligente Integration aller beteiligten Akteure und Technologien eine kontinuierliche Leistungssteigerung sowie eine flexible Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen erlaubt [BEV19].

Die zugrunde liegende technologische Struktur von Smart Services lässt sich in drei Komponenten untergliedern: physische Komponenten wie mechanische

oder elektrische Bauteile, smarte Komponenten wie Sensorik, Software und eingebettete Systeme sowie verbindende Elemente wie Netzwerke, Schnittstellen und Kommunikationsprotokolle [LEE20]. Diese Struktur ermöglicht die nahtlose Kopplung von Produkt und Service zu einem hybriden Leistungsbündel.

Darüber hinaus lassen sich aus der Literatur fünf zentrale Merkmalskategorien von Smart Services identifizieren: Erstens zeichnen sich Smart Services durch eine konsequente **Datenzentrierung** aus, indem Zustands-, Nutzungs- und Umgebungsdaten entlang des gesamten Lebenszyklus genutzt werden. Zweitens ermöglichen **Interaktivität und Vernetzung** adaptive, nutzerbezogene Leistungen, die über digitale Plattformen orchestriert werden. Drittens sind sie geprägt durch **Intelligenz und Autonomie**, das heißt, durch lernfähige Systeme, die Prozesse analysieren, optimieren und teilautonom steuern können. Viertens fördern Smart Services **Kundenorientierung und Ko-Kreation**, indem sie eine gemeinsame Wertschöpfung mit den beteiligten Stakeholdern ermöglichen. Schließlich integrieren sie **Nachhaltigkeit und Akzeptanz**, indem ökologische, ökonomische und soziale Anforderungen berücksichtigt werden, um langfristige Nutzung und gesellschaftliche Anschlussfähigkeit sicherzustellen [MAU24].

Insgesamt wird deutlich, dass Smart PSS nicht nur eine technologische Weiterentwicklung klassischer Produkt-Service-Systeme darstellen, sondern ein neues Wertschöpfungsparadigma, das auf digitale Vernetzung, datenbasierte Intelligenz und kooperative Innovation setzt [ZHE19].

Fähigkeitsstufen von Smart PSS

Die Entwicklung von Smart Product-Service Systems (Smart PSS) vollzieht sich stufenweise entlang eines technologischen Reifegrads, der durch zunehmende Datenverarbeitungskapazitäten, Automatisierungsgrade und Systemintelligenz gekennzeichnet ist. Diese Entwicklung beeinflusst nicht nur die Fähigkeiten der Systeme, sondern verändert auch die Rolle des Menschen im Prozess sowie die wirtschaftlich realisierbaren Geschäftsmodelle. Während in frühen Phasen die menschliche Analyse- und Entscheidungsleistung zentral ist, verschiebt sich diese in späteren Phasen in Richtung überwachender und strategischer Funktionen. Gleichzeitig eröffnen sich mit wachsender Systemreife neue Potenziale für nutzungs- und ergebnisbasierte Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use oder Pay-per-Outcome [MAU25].

Die **Abbildung 3** veranschaulicht die fünf funktionalen Stufen eines Smart PSS entlang der Dimensionen „Fähigkeiten des Systems“, „Einbindung des Menschen“ und „Umsetzungsdauer des Services“. Dabei wird deutlich, dass mit jeder Stufe ein höherer Grad an Systembeteiligung in den Phasen Wahrnehmung, Analyse, Entscheidung und Realisierung einhergeht, während sich der menschliche Beitrag sukzessive reduziert. Gleichzeitig verkürzt sich die Zeitspanne bis zur Umsetzung eines Services deutlich, was insbesondere in dynamischen, industriellen Anwendungskontexten einen erheblichen Effizienzgewinn ermöglicht [MAU25].

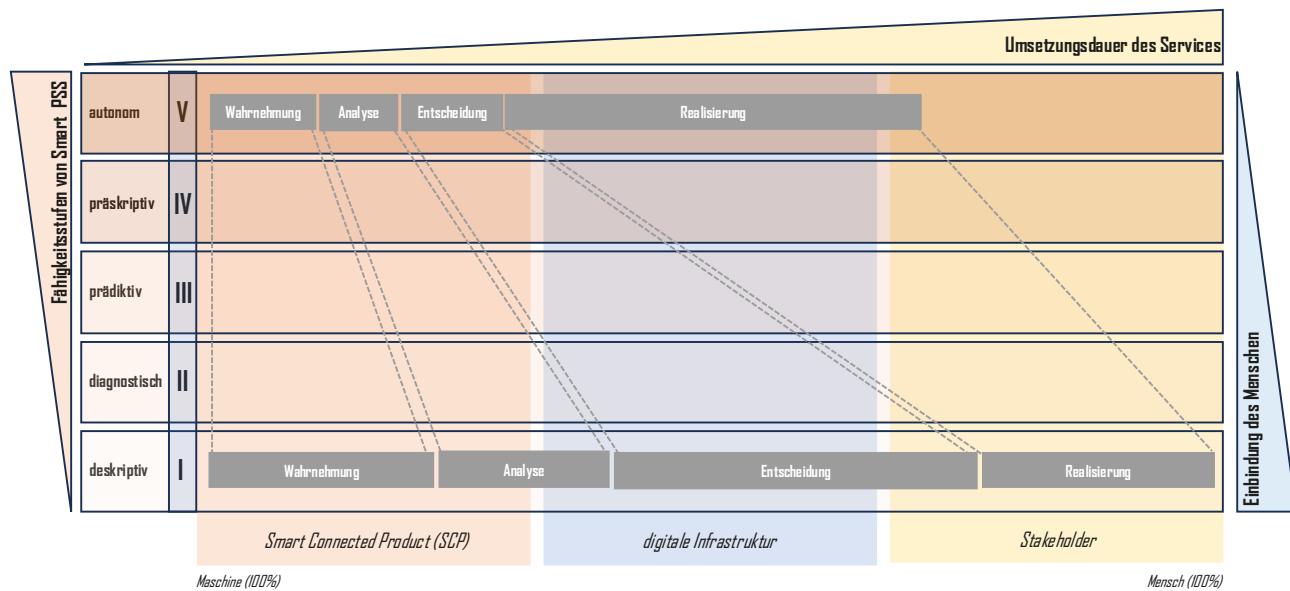


Abbildung 3: Fähigkeitsstufen der smart PSS nach [MAU25]



I. Deskriptive Stufe

In der ersten Stufe übernehmen Smart Connected Products (SCP) einfache Überwachungsfunktionen. Sie sammeln Daten und machen diese in statischer Form verfügbar. Analyse, Bewertung, Entscheidung und Ausführung obliegen vollständig dem Menschen. Die digitale Infrastruktur dient in dieser Phase primär als Datenübertragungsweg. Der Stakeholder agiert als aktiver Interpret und Entscheider.

II. Diagnostische Stufe

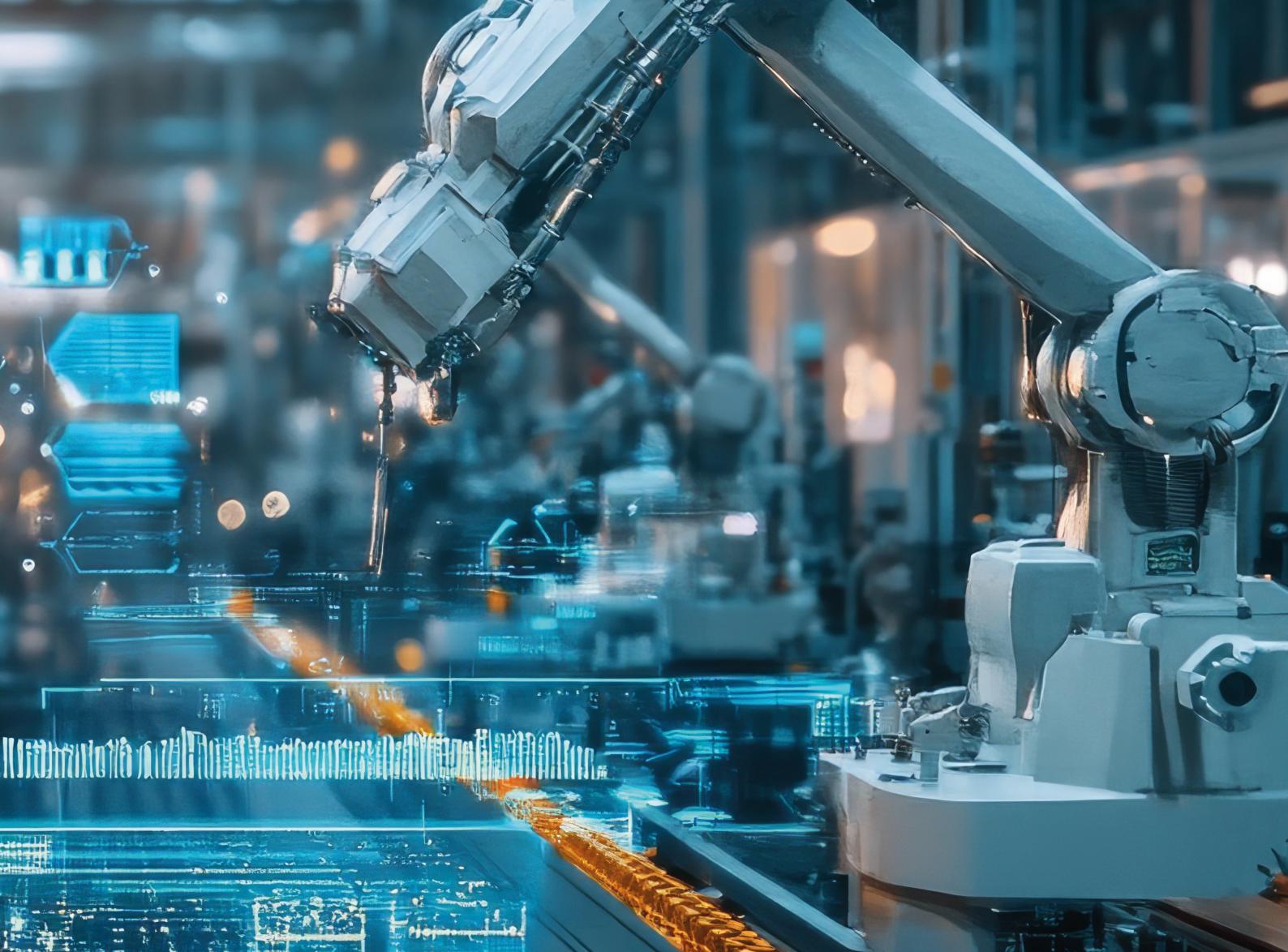
Hier erfolgt eine regelbasierte Datenanalyse durch das System. Die Infrastruktur beginnt, Zusammenhänge zu erkennen und Rückmeldungen zu geben. Der Mensch wird dadurch bei der Analyse entlastet, bleibt jedoch für die Entscheidungsfindung und Umsetzung zentral verantwortlich. Erste datenbasierte Serviceverbesserungen werden möglich.

III. Prädiktive Stufe

In der dritten Stufe kommen Methoden der Datenmodellierung und Prognose zum Einsatz. Das System kann zukünftige Ereignisse voraussagen, etwa Wartungsbedarfe oder Nutzungsszenarien. Der Mensch bewertet diese Prognosen und trifft fundierte Entscheidungen. Durch die höhere Informationsqualität sinkt die Reaktionszeit. Zudem verbessert sich die Planbarkeit von Prozessen und Ressourcen. Instandhaltungsmaßnahmen können vorausschauend organisiert, Ausfallzeiten minimiert und Serviceeinsätze effizienter gestaltet werden.

IV. Präskriptive Stufe

In dieser Stufe schlägt das System konkrete Handlungsempfehlungen vor. Es analysiert Daten kontextsensitiv, priorisiert Optionen und bietet Ent-



scheidungsvorlagen an. Der Mensch wählt zwischen Vorschlägen aus oder gibt diese frei. Die digitale Infrastruktur übernimmt die Koordination verschiedener Datenquellen und Modelle. Die Umsetzung kann teilautomatisiert erfolgen. Pay-per-Use-Modelle lassen sich effektiv umsetzen, da sowohl Nutzung als auch Leistungsqualität algorithmisch überwacht und bewertet werden.

V. Autonome Stufe

In der autonomen Stufe übernimmt das System die vollständige Verantwortung für Wahrnehmung, Analyse, Entscheidung und Realisierung. Die Infrastruktur ist in der Lage, in Echtzeit zu reagieren, Prozesse dynamisch anzupassen und Entscheidungen selbstständig auszuführen. Der Mensch wird zur überwachenden Instanz, greift nur bei Ausnahmefällen ein. Durch die vollständige Automatisierung entstehen ideale Voraussetzungen für Pay-

per-Outcome-Modelle, bei denen die Abrechnung an tatsächliche Ergebnisseleistungen geknüpft ist.

Die **Abbildung 3** macht deutlich, dass Smart PSS erst mit wachsendem Automatisierungsgrad in der Lage sind, sowohl betriebliche Effizienz zu steigern als auch flexible, datenbasierte Geschäftsmodelle nachhaltig umzusetzen. Die intelligente Kopplung von SCPs, digitaler Infrastruktur und Stakeholdern bildet dabei die Grundlage für diese Entwicklung.

Diese fünf Stufen bilden ein Referenzmodell für die kontinuierliche Weiterentwicklung Smarter Produkt-Service-Systeme und unterstützen eine systematische Transformation hin zu datengetriebenen, adaptiven und weitgehend selbststeuernden Lösungen in der industriellen Praxis.

Neue Geschäftsmodelle im Maschinenbau: Pay-per-Use und Co.

Zur Erhöhung der betrieblichen Flexibilität kommen im Maschinenbau zunehmend verfügbarkeitsorientierte Produkt-Service-Systeme (PSS) zum Einsatz (vgl.

Abbildung 1). Ein häufig zitiertes Beispiel für ein verfügbarkeitsorientiertes Geschäftsmodell ist die Kopiergerätebranche: Hersteller wie Xerox stellen ihre Geräte kostenfrei bereit und berechnen ausschließlich die tatsächlich erstellten Kopien [KAR25]. Dieses Pay-per-Use-Modell senkt die Investitionshürde für Kunden erheblich und führt zu einer nutzungsbasierten Wertschöpfung, bei der der Anbieter ein direktes Interesse an Auslastung und Funktionsfähigkeit der Geräte hat.

Auch im Maschinenbau etabliert sich dieses Prinzip zunehmend: Das Eigentum an der Maschine verbleibt beim Anbieter, während der Kunde lediglich für die tatsächliche Nutzung zahlt [ALA22]. Die Abrechnung erfolgt nicht pauschal, sondern nutzungsabhängig, etwa pro produziertes Teil oder pro Betriebsstunde.

Während bislang überwiegend produktorientierte PSS dominieren, bei denen der Verkauf technischer Anlagen durch ergänzende Services wie Wartung, Ersatzteillieferung oder Schulung ergänzt wird, bieten verfügbarkeitsorientierte Modelle eine deutlich höhere betriebliche Anpassungsfähigkeit und ermöglichen eine effizientere Allokation technischer Ressourcen [TUK04;ALA22;KUR25].

Für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) bieten Pay-per-Use-Modelle besondere Potenziale. Ähnlich wie beim klassischen Leasing verbleiben Eigentum, Wartung und Instandhaltungsverantwortung beim Anbieter. Dadurch entfallen für KMU hohe Investitions- und Wartungskosten, die insbesondere bei der Anschaffung kapitalintensiver Produktionsanlagen eine zentrale Hürde darstellen. Darüber hinaus erlaubt das Modell eine zeitlich begrenzte Nutzung, etwa zur kurzfristigen Deckung von Auftragsspitzen oder zur temporären Erweiterung von Fertigungska-

pazitäten. Auch ein späterer Eigentumsübergang nach längerer Nutzung ist denkbar [BOC18, LAD21].

Ein zusätzlicher Vorteil liegt im Bereich der Nachhaltigkeit: Da der tatsächliche Verbrauch an Energie, Material und Maschinenzeit systematisch erfasst und abgerechnet wird, entstehen finanzielle Anreize für eine ressourceneffiziente Produktion. Die Monetarisierung von Verbrauchsdaten macht Einsparpotenziale transparent und verstärkt das Bewusstsein für einen sparsamen Umgang mit Produktionsmitteln [BOC18].

Ein anschauliches Umsetzungsbeispiel bietet der Werkzeugmaschinenhersteller HELLER mit seinem Programm HELLER4Use. Dabei handelt es sich um ein Pay-per-Use-Modell, bei dem die Maschinenkapazität flexibel an die jeweilige Auftragslage angepasst werden kann. Der Anbieter installiert das Bearbeitungszentrum direkt beim Kunden, übernimmt sowohl Service als auch Wartung und gewährleistet eine hohe Maschinenverfügbarkeit. Die Abrechnung erfolgt auf Basis einer monatlichen Grundgebühr zuzüglich weiterer Kosten basierend auf der Maschinen Nutzung, sodass Kosten nur während der tatsächlichen Nutzung anfallen [HEL25]. TRUMPF, ein führender Hersteller von Werkzeugmaschinen und Lasersystemen, hat verschiedene nutzungsabhängige Geschäftsmodelle etabliert. Diese reichen von der Abrechnung pro gefertigtem Blechbauteil über tarifbasierte Laserstundenmodelle bis hin zu hybriden Varianten mit fixer Grundgebühr und variabler Nutzungskomponente. Ein besonders innovativer Ansatz ist das sogenannte Pay-per-Part-Modell. Obwohl sich die Maschine physisch beim Kunden befindet, verbleiben Eigentum, Finanzierung, Wartung und Betrieb vollständig bei TRUMPF. Darüber hinaus übernimmt TRUMPF auch zentrale Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung für den Kunden [TRU25]. Die Koordination erfolgt dabei remote über ein zentrales Control Center am Standort Neukirch. Der Kunde zahlt ausschließlich für die tatsächlich gefertigten Bauteile, was dieses



Modell zu einem konsequent ergebnisorientierten Pay-per-Outcome-Geschäftsmodell macht.

Für die Einführung verfügbarkeits- und ergebnisorientierter, smarter Produkt-Service-Systeme sind bestimmte technologische Voraussetzungen notwendig. Produktionsmaschinen müssen zunächst über geeignete Sensorik und eine durchgängige Vernetzung verfügen, um Betriebs- und Nutzungsdaten zuverlässig erfassen und übertragen zu können. Bei älteren Anlagen ist ein technisches Retrofit zwar häufig realisierbar, erscheint aus wirtschaftlicher Sicht jedoch nicht immer sinnvoll. Die erforderliche IT-Infrastruktur kann entweder lokal im Unternehmen implementiert oder im Rahmen cloudbasierter Dienste, etwa als Infrastructure-as-a-Service (IaaS) oder Software-as-a-Service (SaaS), bereitgestellt werden. Unabhängig vom Bereitstellungsmodell stellt der gezielte Aufbau unternehmensinterner IT-Kompetenzen einen zentralen Erfolgsfaktor dar. Bei komplexen Produktionssystemen ist zudem die Dauer der Inbetriebnahme zu berücksichtigen: Insbesondere bei kurzfristig geplanten

Pay-per-Use-Einsätzen kann ein zu langer Anlaufzeitraum das Kosten-Nutzen-Verhältnis erheblich verschlechtern [ALA22, KUR25].

Auch die Abrechnungspraxis von Pay-per-Use-Modellen ist derzeit Gegenstand wissenschaftlicher Diskussion, insbesondere im Kontext der Principal-Agent-Theorie [ALA22]. Während Maschinenhersteller vor allem auf langfristige Auslastung und Restwertoptimierung ihrer Anlagen abzielen, verfolgen Anwender das Ziel möglichst niedriger und flexibler Nutzungs-kosten. Diese Interessensdivergenz beruht häufig auf Informationsasymmetrien, etwa hinsichtlich tatsächlicher Nutzung oder Wartungsbedarf. Eine mögliche Lösung besteht in der Nutzung transparenter Software-schnittstellen, die eine objektive und automatisierte Nachverfolgung der Nutzung ermöglichen und so Vertrauen zwischen Anbieter und Abnehmer schaffen [ALA22, TRU25]. Alternativ setzen Anbieter auf hybride Abrechnungsmodelle, bei denen neben einer festen Grundgebühr nutzungsabhängige Zuschläge, etwa pro Betriebsstunde, erhoben werden.

Fazit: Smarte Services als Wegbereiter für eine digitale Industrie

Die digitale Transformation im Maschinen- und Anlagenbau eröffnet neue Möglichkeiten zur Wertschöpfung, insbesondere durch datenbasierte und servicezentrierte Geschäftsmodelle. Smart PSS verbinden intelligente, vernetzte Produkte mit digitalen Dienstleistungen und ermöglichen eine flexible, nutzerzentrierte Ausgestaltung industrieller Angebote. Besonders hervorzuheben ist das Potenzial nutzungsbasierter Modelle wie Pay-per-Use, die eine ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Alternative zum klassischen Produktverkauf darstellen. Statt in Eigentum zu investieren, zahlen Kunden nur für die tatsächlich genutzte Leistung, was sowohl zu einer effizienteren Ressourcennutzung als auch zu kontinuierlicher Kundenbindung führt.

Für eine erfolgreiche Umsetzung dieser Systeme empfiehlt sich ein stufenweiser Entwicklungsansatz. Unternehmen sollten zunächst den angestrebten technologischen Reifegrad ihres Smart PSS definieren und in Übereinstimmung mit dem gewünschten Geschäftsmodell, etwa Pay-per-Use, die erforderlichen technischen, organisatorischen und datenbezogenen Voraussetzungen schaffen. Mit zunehmender Systemintelligenz verlagert sich der Schwerpunkt der Interaktion vom Menschen hin zum System. Dies macht es notwendig, die Balance zwischen Automatisierung und menschlicher Kontrolle bewusst zu gestalten. Vertrauen in die Technologie, gezielte Weiterbildungsmaßnahmen und die Akzeptanz der Mitarbeitenden sind Schlüsselfaktoren für eine erfolgreiche Integration in bestehende Arbeitsprozesse.

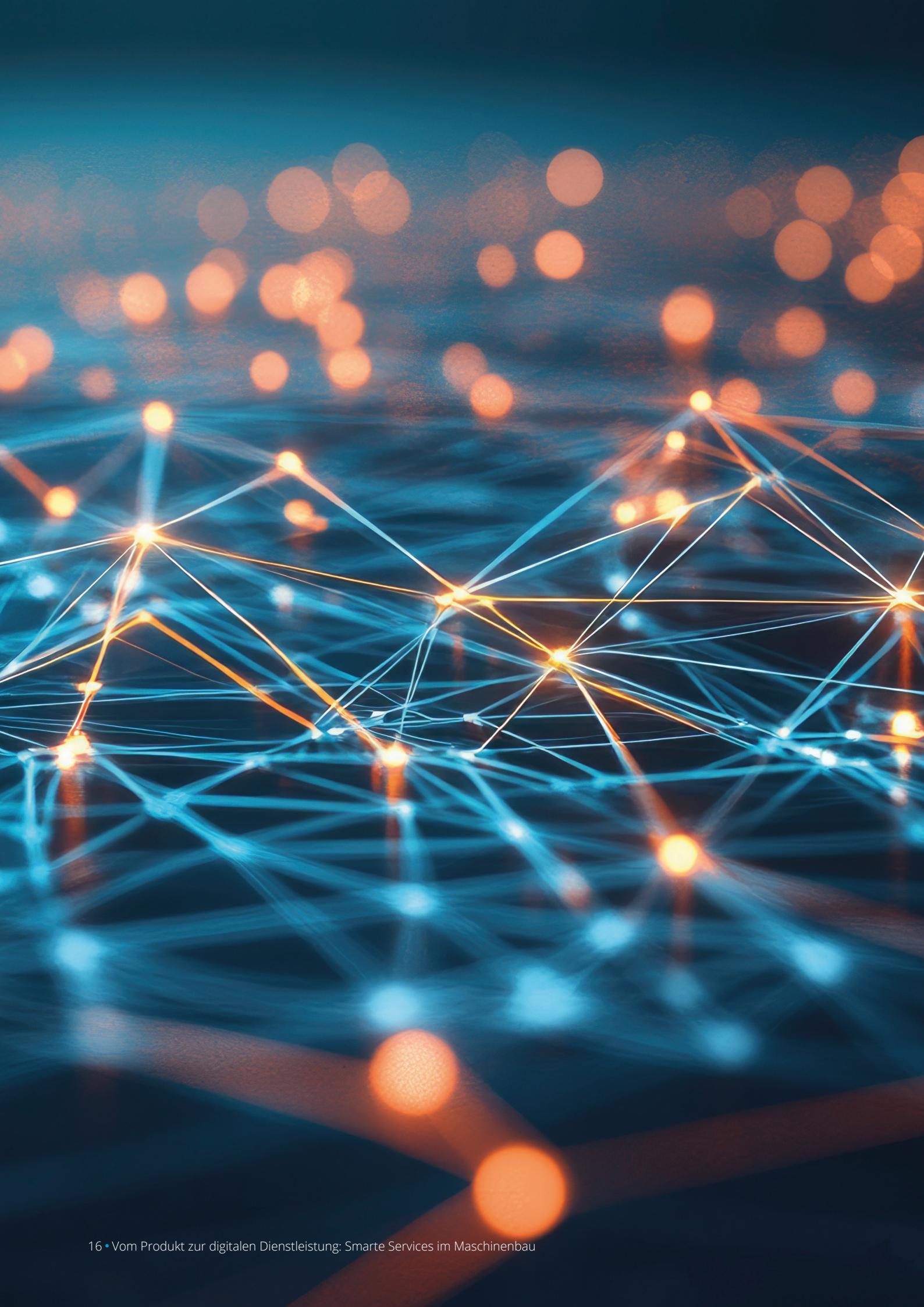
Bereits einfache Anwendungen, etwa zur Zustandsüberwachung oder regelbasierten Fehlerdiagnose, können in frühen Stufen einen unmittelbaren Mehrwert bieten. Solche Einstieglösungen senken die Eintrittshürde für Unternehmen und fördern die Akzeptanz sowohl intern als auch auf Kundenseite. Voraussetzung für eine schrittweise Weiter-

entwicklung ist jedoch eine tragfähige Datenstrategie. Nur wenn Daten strukturiert, sicher und qualitätsgesichert erfasst, gespeichert und genutzt werden, können fortgeschrittene prädiktive oder autonome Dienste zuverlässig entwickelt und betrieben werden. Damit diese Dienste skalierbar sind, braucht es eine zukunftsfähige IT-Architektur. Modulare und interoperable Systemlandschaften, die unterschiedliche Maschinen und Prozesse integrieren können, sind entscheidend. Standardisierte Schnittstellen sowie plattformbasierte Lösungen erleichtern zudem die Umsetzung.

Letztlich wird die Weiterentwicklung smarter Dienstleistungen nicht allein im eigenen Unternehmen erfolgen. Um die Potenziale vollständig zu erschließen, müssen Smart PSS in ein umfassenderes digitales Wertschöpfungsnetzwerk eingebunden werden. Dies betrifft nicht nur die technische Integration, sondern auch organisatorische Abstimmungsprozesse mit Kunden, Lieferanten und Plattformanbietern. Eine offene Haltung gegenüber Kooperation, gemeinsame Governance-Modelle und die Bereitschaft zur systemischen Vernetzung sind entscheidend, um die autonome Stufe zu erreichen.

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Einführung smarter Services im Maschinenbau nicht nur eine technologische Aufgabe darstellt, sondern ebenso eine strategische, organisatorische und kulturelle Herausforderung ist. Wer diesen Wandel strukturiert, kundenorientiert und datenbasiert gestaltet, schafft die Grundlage für nachhaltige Wettbewerbsvorteile, flexible Geschäftsmodelle wie Pay-per-Use und eine zukunftsfähige Positionierung im digitalen Industrieökosystem.





Literaturverzeichnis

[ALA22] Alaluss, M., Mauersberger, A., Mahdaviasl, M., & Ihlenfeldt, S. (2022). Usage-based leasing of complex manufacturing systems: A method to transform current ownership-based into pay-per-use business models. *Procedia CIRP*, 106, 31–36. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.138>

[BEV19] Beverungen, D., Müller, O., Matzner, M., Becker, J., & vom Brocke, J. (2019). Conceptualizing smart service systems. *Electronic Markets*, 29, 7–18. <https://doi.org/10.1007/s12525-017-0270-5>

[BOC18] Bocken, N. M. P., Strupeit, L., Whalen, K., & Nußholz, J. L. K. (2019). A review and evaluation of circular business models for product design and innovation. *Sustainability*, 11(8), 2210. <https://doi.org/10.3390/su11082210>

[BRU22] Bruhn, M., & Hadwich, K. (2022). Smart Services im Dienstleistungsmanagement – Erscheinungsformen, Gestaltungsoptionen und Innovationspotenziale. In M. Bruhn & K. Hadwich (Hrsg.), *Smart Services* (S. 3–25). Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-37344-3_1

[EVD96] Edvardsson, B., & Olsson, J. (1996). Key concepts in new service development. *The Service Industries Journal*, 16(2), 140–164. <https://doi.org/10.1080/02642069600000019>

[FRI22] Friedrich, M., & Schiller, C. (2022). Smarte Produkt-Service-Systeme. In *The Human Side of Service Engineering*. <https://doi.org/10.24406/publica-fhg-416739>

[GHO22] Ghosh, R. K., Banerjee, A., Aich, P., Basu, D., & Ghosh, U. (2022). Intelligent IoT for Automotive Industry 4.0: Challenges, Opportunities, and Future Trends. In U. Ghosh, C. Chakraborty, L. Garg & G. Srivastava (Hrsg.), *Intelligent Internet of Things for Healthcare and Industry* (S. 321–340). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81473-1_16

[HEL25] HELLER Finanzierung. (2025). Finanzierungslösungen abgestimmt auf Ihre individuellen Anforderungen. <https://www.heller.biz/de/services/finanzierung>

[KAR25] Kartes, S., & Strategyzer AG. (o. J.). Xerox business model. Strategyzer. Abgerufen am 18. Juli 2025, von <https://www.strategyzer.com/library/xerox-business-model>

[KUR25] Kurth, R., Kett, H., Alaluss, M. K., Gieß, A., Evcenko, D., Bertke, V., & Mauersberger, A. (2025). Neue Wege der digitalen Verwertung in der Produktionstechnik (44 S.). Fraunhofer Verlag. <https://doi.org/10.24406/publica-4345>

[LAD21] Ladas, K., et al. (2021). Product selling versus pay-per-use services: A strategic analysis of competing business models. Forthcoming in *Management Science*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3356458>

[LEE20] Lee, J. Y. H., Hsu, C., & Silva, L. (2020). What lies beneath: Unraveling the generative mechanisms of smart technology and service design. *Journal of the Association for Information Systems*, 21(6), 1621–1643. <https://doi.org/10.17705/1jais.00648>



[MAU24] Mauersberger, A., Reinhardt, H., Alaluss, M., Mahdaviasl, M., & Ihlenfeldt, S. (2024). Overview of methodologies for the lifecycle management of smart product-service systems. *Procedia CIRP*, 128, 351–356. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.03.007>

[MAU25] Mauersberger, A., Reinhardt, H., Mahdaviasl, M., & Ihlenfeldt, S. (2025). Streamlining the development of smart product-service systems. *Procedia CIRP*, 134, 699–704. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2025.03.064>

[MEI12] Meier, H., & Uhlmann, E. (2012). Hybride Leistungsbündel – ein neues Produktverständnis. In H. Meier & E. Uhlmann (Hrsg.), *Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen* (S. 1–21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25269-3_1

[POR14] Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2014). How smart, connected products are transforming competition. *Harvard Business Review*, 92(11), 64–88.

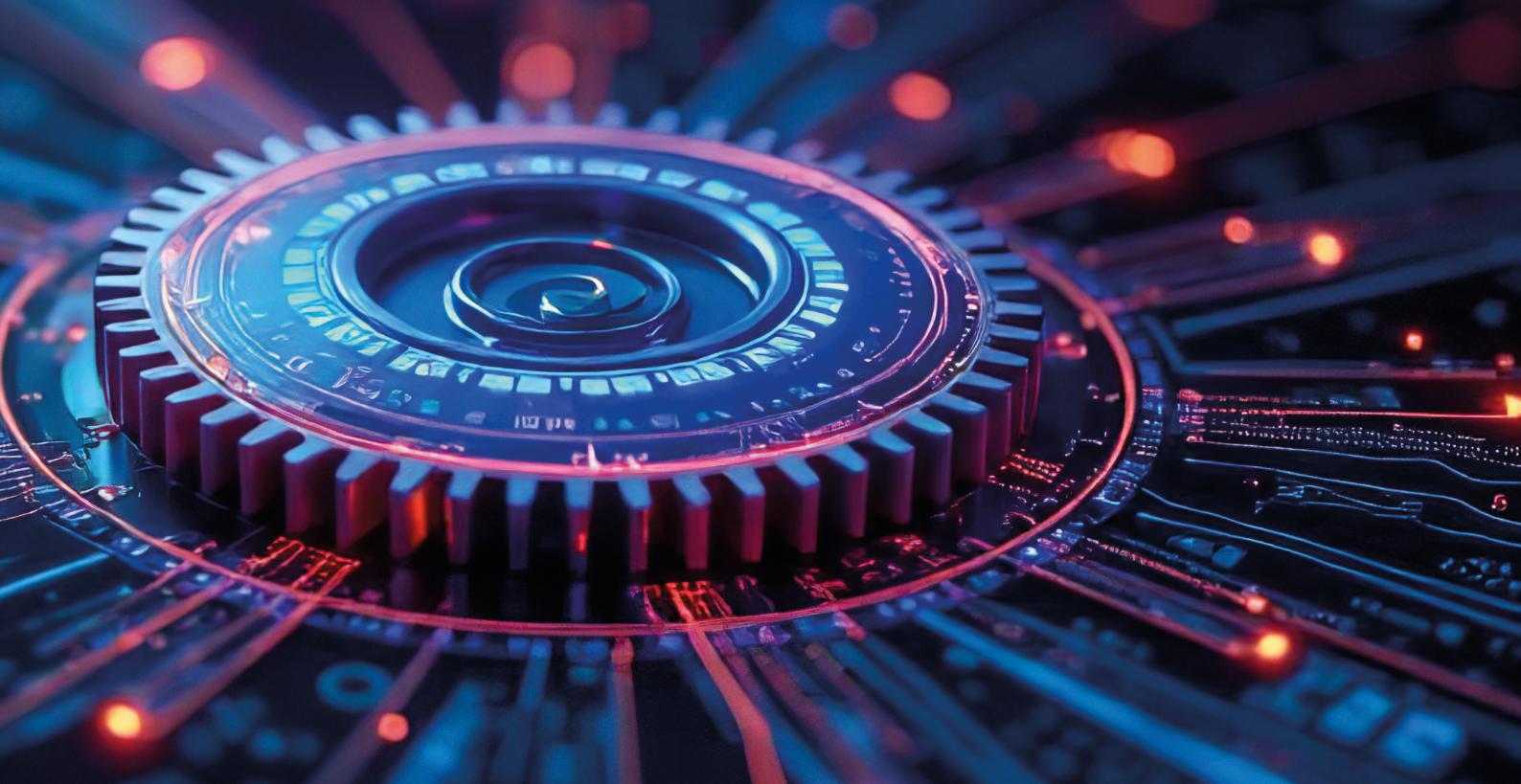
[TEK24] Redaktion Technik-Einkauf. (2024). Deutscher Maschinenbau: Diese Sektoren machen den größten Umsatz. <https://www.technik-einkauf.de/einkauf/deutscher-maschinenbau-umsatz-sektoren-werkzeugmaschinenbau-antriebstechnik-foerdermittel-224354-170.html>

[TRU25] TRUMPF GmbH + Co. KG. (2025). Pay-per-part: TRUMPF offers new business model to utilize spare machine capacity. https://www.trumpf.com/en_US/newsroom/global-press-releases/press-release-detail-page/release/pay-per-part-trumpf-offers-new-business-model-to-utilize-spare-machine-capacity/

[TUK04] Tukker, A. (2004). Eight types of product-service system: Eight ways to sustainability? *Business Strategy and the Environment*, 13(4), 246–260. <https://doi.org/10.1002/bse.414>

[ZEI85] Zeithaml, V. A., Parasuraman, A., & Berry, L. L. (1985). Problems and strategies in services marketing. *Journal of Marketing*, 49(2), 33–46. <https://doi.org/10.1177/002224298504900203>

[ZHE19] Zheng, P., Wang, Z., Chen, C.-H., & Khoo, L. P. (2019). A survey of smart product-service systems: Key aspects, challenges and future perspectives. *Advanced Engineering Informatics*, 42, 100973. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.100973>



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kategorisierung der PSS nach [TUK04] und [MEI12].....	5
Abbildung 2: Bestandteile eines smart PSS nach ZHE19.....	7
Abbildung 3: Fähigkeitsstufen der smart PSS nach [MAU25].....	9

Abkürzungsverzeichnis

vgl. vergleiche



Zuwendungsgeber:

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Förderkennzeichen: 16THB0004A
Laufzeit: 01.09.2022 – 31.12.2025
Projekträger:

VDI|VDE|IT

VDI / VDE Innovation + Technik GmbH

5 Partner. 5 Standorte. 1 Netzwerk.

fir
an der
RWTH Aachen

Fraunhofer
AUTOMOBIL

ifa Institut für
Automobilwirtschaft

SICP
Software Innovation Campus Paderborn
HEINZ NIXDORF INSTITUT
UNIVERSITÄT PADERBORN

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

TUCed
AN-INSTITUT FÜR TRANSFER
UND WEITERBILDUNG

diserhub.de