

Ergebnisse einer Voruntersuchung in der industriellen Praxis

Anforderungen an ein Framework kognitiver Wertschöpfung

J. Pydde, S. Schumacher, L. Kuhr, M. Mennenga, C. Hermann, T. Bauernhansl

ZUSAMMENFASSUNG Die zunehmende Integration von künstlicher Intelligenz führt dazu, dass kognitive Prozesse eine wachsende Rolle in der industriellen Wertschöpfung spielen. Ziel dieser Voruntersuchung ist die Ableitung konzeptioneller Anforderungen an ein Framework für „kognitive Wertschöpfung“. Auf Basis einer Befragung von Industrieexpertinnen und -experten werden zentrale Anforderungen identifiziert und erste Strukturierungsansätze für kognitive Wertschöpfung abgeleitet.

STICHWÖRTER

Digitalisierung, Industrie 4.0, künstliche Intelligenz (KI)

Requirements for a framework of cognitive value creation – Preliminary study in industrial practice to derive framework requirements

ABSTRACT The increasing integration of artificial intelligence places cognitive processes more centrally in industrial value creation. This exploratory study aims to derive conceptual requirements for a framework of “cognitive value creation.” Based on an exploratory survey of industry experts, key requirements are identified and an initial conceptual structuring approach for cognitive value creation is proposed.

1 Einleitung

Mit dem Beginn der digitalen Transformation industrieller Wertschöpfungssysteme veränderten sich die Strukturen der industriellen Produktion grundlegend. Die Digitalisierung von Prozessen und Daten führte zu einer durchgängigen Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette und zur Integration cyber-physischer Systeme im Sinne von Industrie 4.0 [1–3].

Zentraler Treiber für Veränderungen in heutigen Wertschöpfungssystemen ist die künstliche Intelligenz (KI). KI erweitert die Fähigkeit technischer Systeme, Informationen eigenständig zu interpretieren, Entscheidungen vorzubereiten oder auszuführen sowie ihr Verhalten adaptiv anzupassen [4–5].

In der internationalen Fachliteratur gibt es erste Beiträge zu einem neuen Wertschöpfungsparadigma: Kognitive Wertschöpfung unter den Fachbegriffen Smart Manufacturing [1–3], Adaptive Manufacturing [6,4], Autonomous Manufacturing [7] oder Cognitive Manufacturing [5]. Die Autoren haben Vorarbeiten mit Beiträgen zu kognitiver Produktionsarbeit 4.0 [8], autonomer Produktion [9] und Cognitive AI agents [10] geleistet. Noch fehlt aber für die kognitive Wertschöpfung ein einheitliches Begriffsverständnis. Darüber hinaus existiert kein etabliertes Framework, das kognitive Elemente explizit als eigenständige Bestandteile industrieller Wertschöpfungssysteme modelliert oder abbildet.

Die Wirkung von KI auf industrielle Wertschöpfungssysteme ist zentral für das Fachprogramm „Zukunft der Wertschöpfung“ des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) [11]. Mit der Richtlinie zur Förderung wissen-

schaftlicher Voruntersuchungen zur Zukunft der Wertschöpfung soll der Einsatz von künstlicher Intelligenz und digitaler Assistenz in Unternehmens- und Arbeitsprozessen untersucht werden [11]. Die Autoren sind Teil eines interdisziplinären Konsortiums, das im Rahmen des Projektes „Kogniwert“, die zugehörige wissenschaftliche Voruntersuchung zur kognitiven Wertschöpfung von November 2025 bis November 2026 durchführen wird [12].

Ziel dieses Beitrags ist es, das Forschungsfeld der kognitiven Wertschöpfung konzeptionell vorzubereiten, indem eine erste Definition wichtiger Begriffe erfolgt und Elemente und Wirkzusammenhänge kognitiver Wertschöpfung erarbeitet werden. Daraus werden die Anforderungen für ein zu entwickelndes Framework der kognitiven Wertschöpfung abgeleitet. Die Forschungsfrage lautet:

„Welche konzeptionellen Anforderungen muss ein Framework erfüllen, um kognitive Wertschöpfung in industriellen Wertschöpfungssystemen systematisch abbilden zu können?“

Zur Ergründung der Forschungsfrage werden eine gezielte Literaturanalyse zum Stand der Wissenschaft und eine darauf aufbauende explorative Voruntersuchung durchgeführt. Kapitel 2 analysiert die Grundlagen und bestehende Konzepte. Kapitel 3 beschreibt das methodische Vorgehen. In Kapitel 4 werden die Ergebnisse der Erhebung präsentiert und in Kapitel 5 mit Bezug zur Fachliteratur diskutiert. Kapitel 6 gibt eine Zusammenfassung und einen Ausblick auf resultierende Forschungsbedarfe. Das Vorgehen in diesem Beitrag, die zugrunde liegenden Vorarbeiten sowie die Einordnung in das Projekt Kogniwert werden in **Bild 1** dargestellt.



Bild 1 Einordnung dieses Beitrags in den Forschungsstrang „Kogniwert“. Grafik: eigene Darstellung

2 Konzeptionelle Grundlagen und verwandte Arbeiten

Der Begriff der Wertschöpfung wird in klassischen betriebswirtschaftlichen Ansätzen primär als Transformation von Inputfaktoren in marktfähige Leistungen verstanden [13]. Mit der wissensbasierten Theorie der Unternehmung verschiebt sich diese Perspektive jedoch teilweise, indem Wissen als zentrale Quelle von Wettbewerbsvorteilen und damit als wesentlicher Bestandteil der Wertgenerierung betrachtet wird [14]. Wertschöpfung wird so zunehmend als Ergebnis der Integration und Nutzung spezialisierten Wissens innerhalb organisatorischer Strukturen verstanden.

Eine weitere Erweiterung dieser Perspektive erfolgt durch sozio-technische Ansätze. Diese betrachten industrielle Wertschöpfung als Ergebnis des Zusammenwirkens von Menschen, technischen Systemen und organisatorischen Strukturen [15]. Im Arbeitssystem entstehen Wahrnehmung, Bewertung und Entscheidungsprozesse aus der Interaktion zwischen menschlichen Akteuren und technischen Systemen und können daher nicht isoliert einzelnen Systemkomponenten zugeschrieben werden. Auch im Kontext der Digitalisierung industrieller Produktion wird betont, dass die Leistungsfähigkeit moderner Produktionssysteme wesentlich aus dem Zusammenspiel von Mensch, Technik und Organisation resultiert [16]. Parallel zu dieser Entwicklung haben sich im Kontext von Industrie 4.0 verschiedene technologische Konzepte zur Beschreibung intelligenter Wertschöpfungs- und Produktionssysteme etabliert. Smart Manufacturing beschreibt datengetriebene, vernetzte Produktionssysteme, die eine durchgängige Transparenz von Produktionsprozessen sowie eine vertikale und horizontale Integration von Systemen ermöglichen [1–3, 16].

Aufbauend darauf adressieren Adaptive Manufacturing Systems insbesondere die Fähigkeit von Produktionssystemen, ihre Struktur und Prozesse an dynamische Umweltbedingungen anzupassen [7]. Konzepte des Autonomous Manufacturing erweitern diese Perspektive um Systeme mit höherem Autonomiegrad in der Planung, Steuerung und Entscheidungsfindung [4]. Eine konzeptionelle Weiterentwicklung stellt schließlich das Konzept des Cognitive Manufacturing dar. El Kalach et al. [5] beschreiben Cognitive Manufacturing auf Basis intelligenter cyber-physischer Fertigungssysteme, die Wahrnehmung, Entscheidungsfindung und Reaktion integrieren und Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg nutzen. Diese Informationen werden vor allem zur Analyse von Produktionsprozessen, zur Entscheidungsunterstützung sowie zur adaptiven Steuerung von Produktionssystemen eingesetzt. Damit wird eine explizite kognitive Funktionslogik aus Wahrnehmung, Entscheidung und Reaktion formuliert [5].

Neben technologisch orientierten Konzepten finden sich auch Arbeiten, die kognitive Prozesse explizit auf Ebene der Produktionsarbeit untersuchen. Im Kontext der „kognitiven Produktionsarbeit 4.0“ beschreiben Schumacher et al. [8] eine Verschiebung von überwiegend ausführenden Tätigkeiten hin zu steuernden, regulierenden, planenden und problemlösenden Aufgaben, die zunehmend durch digitale und lernende Systeme unterstützt werden [8].

Insgesamt zeigt die Literatur, dass kognitive Prozesse sowohl auf Ebene technischer Systeme als auch auf Ebene menschlicher Arbeit zunehmend an Bedeutung gewinnen. Allerdings bleiben diese Perspektiven bislang weitgehend getrennt. Technologische Ansätze zu Smart, Autonomous oder Cognitive Manufacturing konzentrieren sich überwiegend auf funktionale Systemfähigkeiten und technologische Architekturen [4–6], während arbeits-

Tabelle Überblick über Konzepte und deren Bezug zu kognitiver Wertschöpfung.

Quelle	Konzepte	Beschreibung	Adressierte Ebene	Bezug zur kognitiven Wertschöpfung
Porter (1985)	Value Chain	Wertschöpfung als Transformation von Input in marktfähige Leistungen entlang der Wertkette	Unternehmen/ Wertschöpfungsnetzwerk	kein expliziter Bezug
Grant (1996)	Knowledge-Based View	Wissen als zentrale Ressource für Wettbewerbsvorteile	Unternehmen	indirekter Bezug über Wissen
Ulich (2011)	Sozio-technische Arbeitssysteme	Arbeitssysteme bestehen aus Menschen, Technik und Organisation	Arbeitssystem	indirekter Bezug
Kagermann et al. (2013); Bauernhansl et al. (2014); Thoben et al. (2017)	Industrie 4.0 / Smart Manufacturing	Vernetzte cyber-physische Produktionssysteme mit durchgängiger Datenintegration und Transparenz	Produktionssystem / Arbeitssystem / teilweise Wertschöpfungsnetzwerk	indirekter Bezug
ElMaraghy & ElMaraghy (2022)	Adaptive Manufacturing	Produktionssysteme passen Struktur und Prozesse dynamisch an	Produktionssystem / Arbeitssystem	indirekter Bezug
Mo et al. (2023)	Autonomous Manufacturing	autonome Planung und Steuerung von Produktionssystemen	Produktionssystem/ Arbeitssystem	indirekter Bezug
El Kalach et al. (2025)	Cognitive Manufacturing	CPS mit Wahrnehmung, Entscheidung und Reaktion	Produktionssystem/ Arbeitssystem	indirekter Bezug
Schumacher et al. (2021)	Kognitive Produktionsarbeit	Verschiebung zu planenden, steuernden und problemlösenden Tätigkeiten	Arbeitssystem	indirekter Bezug

wissenschaftliche Studien primär die veränderten Anforderungen an menschliche Tätigkeiten und Kompetenzen in digitalisierten Produktionssystemen analysieren [8].

Eine systematische Beschreibung, die kognitive Funktionen über Arbeits-, Produktions- und Unternehmensprozesse hinweg einordnet und deren Beitrag zur industriellen Wertschöpfung erklärt, liegt bislang nicht vor. Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche konzeptionellen Anforderungen ein Framework erfüllen muss, um kognitive Wertschöpfung in industriellen Wertschöpfungssystemen systematisch abbilden zu können. Die Übersicht in der **Tabelle** zeigt, dass bestehende Ansätze wichtige Aspekte kognitiver Wertschöpfung erfassen, jedoch kein Framework für deren Beschreibung über mehrere Ebenen industrieller Wertschöpfungssysteme bereitstellen.

3 Forschungsdesign

Die explorative Voruntersuchung wurde am 29.07.2025 im Rahmen des Industriearbeitskreises „Ganzheitliche Produktionssysteme 4.0“ des Fraunhofer IPA durchgeführt. Der Arbeitskreis besteht aus Industrieunternehmen unterschiedlicher Branchen und dient dem Austausch zu aktuellen Entwicklungen im Bereich moderner Produktionssysteme. Das Format ist am Fraunhofer IPA etabliert und wurde zum Zeitpunkt der Erhebung bereits in der dritten Runde durchgeführt. Über diese drei Durchführungen hinweg haben insgesamt rund 30 Unternehmen aus unterschiedlichen Industriebranchen teilgenommen. Aufgrund der Zusammensetzung aus Industrievertreterinnen und -vertretern

mit praktischer Erfahrung in der Gestaltung und Weiterentwicklung von Produktionssystemen bietet der Arbeitskreis einen geeigneten Rahmen, um erste Einschätzungen und Anforderungen aus der industriellen Praxis zu Themen wie Digitalisierung, Assistenzsystemen und zukünftigen Produktionskonzepten zu erfassen.

Das Forschungsdesign ist als explorativ-deskriptive Querschnittsstudie konzipiert. Ziel der empirischen Untersuchung war das Zusammentragen grundlegender Begriffsverständnisse, Kompetenzverschiebungen sowie relevanter Anforderungen an ein zukünftiges Framework.

An der Befragung nahmen $n=12$ Industriefachkräfte aus unterschiedlichen Unternehmen teil. Aufgrund des explorativen Charakters der Studie wurde bewusst eine fachlich einschlägige Zielgruppe aus dem industriellen Umfeld adressiert. Der standardisierte Fragebogen umfasste insgesamt zehn Fragen, die in vier thematische Blöcke gegliedert waren:

1. Demographische Angaben
 2. Rolle des Menschen in zukünftigen Produktionssystemen
 3. Einsatz kognitiver Assistenzsysteme und KI
 4. Anforderungen an ein Framework für kognitive Wertschöpfung
- Der Fragebogen kombinierte geschlossene Fragen mit quantitativer Auswertung und offene Fragen, die der Erfassung individueller Begriffsverständnisse und Einschätzungen der Teilnehmenden dienten. Die offenen Antworten wurden im Anschluss inhaltsanalytisch ausgewertet, thematisch zusammengefasst und für die qualitative Interpretation der Ergebnisse herangezogen. Der vollständige Fragebogen ist im **Anhang** des Beitrags dokumentiert.

4 Ergebnisse der Voruntersuchung und Analyse

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf die in Kapitel 3 beschriebene explorative Erhebung ($n = 12$) und werden deskriptiv dargestellt. Ziel ist die Identifikation zentraler Muster im Hinblick auf das Verständnis kognitiver Wertschöpfung sowie der wahrgenommenen Anforderungen aus der industriellen Praxis.

4.1 Demographische Angaben

An der Expertenbefragung nahmen insgesamt zwölf Personen teil, davon elf aus der Industrie sowie eine Person aus der Wissenschaft. Die Teilnehmenden stammen aus dem Maschinen- und Anlagenbau ($n = 6$) sowie aus der Elektrotechnik und Elektronik ($n = 5$).

Hinsichtlich der Unternehmensgröße weist die Stichprobe eine heterogene Struktur auf. Sechs Teilnehmende stammen aus kleinen und mittleren Unternehmen mit weniger als 250 Mitarbeitenden ($n = 6$). Ein Unternehmen hat zwischen 250 und 499 Mitarbeitende ($n = 1$). Zwei Unternehmen haben zwischen 500 und 4999 Mitarbeitende ($n = 2$). Ein Unternehmen hat zwischen 5000 und 14 999 Mitarbeitende ($n = 1$) und zwei Unternehmen haben mehr als 15 000 Mitarbeitende ($n = 2$).

4.2 Themenblock: Rolle des Menschen in zukünftigen Produktionssystemen

Auf die Frage „Wie stark verändert sich aus Ihrer Sicht die Rolle des Menschen durch den zunehmenden Einsatz neuer Technologien wie KI in der Produktion?“ antworteten alle $n = 12$ Teilnehmenden. Keine Bewertung lag im Bereich „sehr gering“. Der überwiegende Teil der Befragten ordnete die erwartete Veränderung der Kategorie „stark“ zu ($n = 7$). Weitere Bewertungen lagen im mittleren Veränderungsbereich ($n = 5$).

In der Multiple-Choice-Frage „Welche menschlichen Kompetenzen gewinnen mit KI-gestützten Systemen an Bedeutung?“ nannten die $n = 12$ Teilnehmenden insbesondere folgende Kompetenzen (Multiple-Choice-Fragen):

- Lern- und Anpassungsfähigkeit ($n = 7$)
- Technologisches Verständnis ($n = 6$)
- Entscheidungsfähigkeit unter Unsicherheit ($n = 6$)
- Kommunikations- und Kollaborationsfähigkeit ($n = 6$)
- Problemlösungsfähigkeit ($n = 6$)
- Kritische Reflexion ($n = 5$)
- Ethisches Urteilsvermögen ($n = 4$)
- Systemisches Verständnis ($n = 3$)
- Kreativität/Intuition ($n = 2$)
- Sonstiges: Problembeschreibungsfähigkeit ($n = 1$)

Die Ergebnisse zeigen, dass die Befragten überwiegend eine deutliche Veränderung der Rolle des Menschen in zukünftigen Produktionssystemen erwarten.

Besonders häufig werden Kompetenzen im Umgang mit technologiegestützten Entscheidungsprozessen genannt, darunter Lern- und Anpassungsfähigkeit ($n = 7$), technologisches Verständnis ($n = 6$), Entscheidungsfähigkeit unter Unsicherheit ($n = 6$) sowie Kommunikations- und Kollaborationsfähigkeit ($n = 6$). Ergänzend werden reflexive Kompetenzen wie kritische Reflexion ($n = 5$) und ethisches Urteilsvermögen ($n = 4$) hervorgehoben. Insgesamt deutet dies auf eine Verschiebung von überwiegend

ausführenden Tätigkeiten hin zu stärker kognitiv geprägten Aufgabenfeldern in technologieunterstützten Produktionssystemen hin.

4.3 Themenblock:

Einsatz kognitiver Assistenzsysteme und KI

Auf die Frage „Welche Arten von Assistenzsystemen setzen Sie bereits in Ihrem Unternehmen ein?“ antworteten $n = 12$ Teilnehmende. Die Ergebnisse zeigen, dass physische Assistenzsysteme in neun Unternehmen eingesetzt werden ($n = 9$), während dies in drei Unternehmen derzeit nicht der Fall ist ($n = 3$). Auch digitale Assistenzsysteme werden in neun Unternehmen eingesetzt ($n = 9$), während zwei Unternehmen diese bislang nicht nutzen ($n = 2$) und ein Unternehmen deren Einsatz plant ($n = 1$). KI-basierte Assistenzsysteme werden aktuell in drei Unternehmen eingesetzt ($n = 3$).

Gleichzeitig gaben mehr als die Hälfte der Teilnehmenden ($n = 7$) an, den Einsatz KI-basierter Assistenzsysteme künftig zu planen, nur ein Unternehmen gab an, den Einsatz nicht zu planen ($n = 1$).

Auf die Frage „In welchen Bereichen sehen Sie das größte Potenzial für kognitive Assistenzsysteme in der Produktion?“ wurden folgende Bereiche genannt (Multiple-Choice-Frage):

- Produktionsplanung und -steuerung ($n = 8$)
- Fertigung und Produktion ($n = 6$)
- Qualitätssicherung ($n = 6$)
- Instandhaltung ($n = 5$)
- Produktentwicklung ($n = 5$)
- Montage ($n = 4$)
- Arbeitsvorbereitung ($n = 3$)
- Logistik ($n = 2$)

Zusätzlich wurden die Teilnehmenden gefragt: „Welche der folgenden Herausforderungen sind für Sie bei der Einführung von Assistenzsystemen besonders relevant?“ Die häufigsten Nennungen waren:

- Akzeptanz bei Mitarbeitenden ($n = 9$)
- Technologische Reife der Systeme ($n = 8$)
- Datenschutz und Datensicherheit ($n = 8$)
- Mangel an Qualifikation ($n = 1$)
- Sonstiges: Integration in bestehende Systemlandschaft ($n = 1$)

Die Ergebnisse zeigen, dass physische und digitale Assistenzsysteme bereits in vielen Unternehmen eingesetzt werden, während KI-basierte Assistenzsysteme bislang nur vereinzelt implementiert sind. Gleichzeitig deutet die hohe Zahl geplanter Anwendungen darauf hin, dass Unternehmen dem Einsatz KI-gestützter Assistenzsysteme künftig eine größere Bedeutung beimessen.

Als zentrale Herausforderungen werden vor allem die Akzeptanz bei Mitarbeitenden sowie die technologische Reife, Datenschutz und Datensicherheit genannt, während das größte Anwendungspotenzial insbesondere in planungsnahen und operativen Produktionsbereichen gesehen wird.

4.4 Themenblock: Anforderungen an ein Framework für kognitive Wertschöpfung

Die offene Frage „Was verstehen Sie unter dem Begriff ‚kognitive Wertschöpfung‘?“ wurde von $n = 9$ der 12 Teilnehmenden beantwortet. Die Antworten zeigen ein heterogenes Begriffsver-

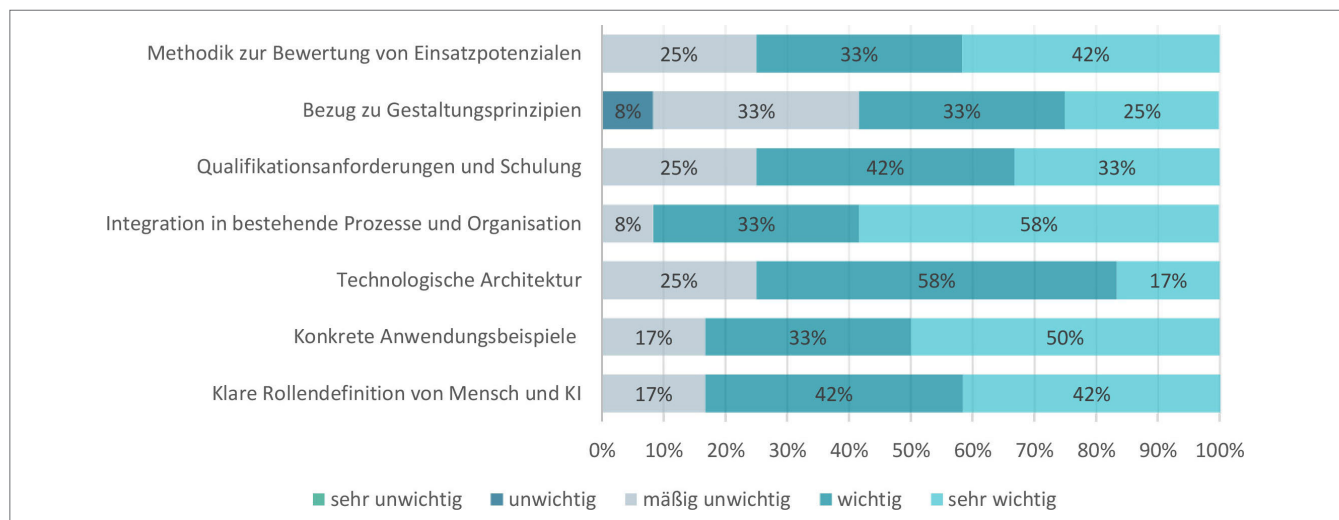


Bild 2 Übersicht über die Befragungsergebnisse zur Relevanz von verschiedenen Aspekten für ein zukünftiges Framework zur kognitiven Wertschöpfung.
Grafik: eigene Darstellung

ständnis des Konzepts. Ein Teil der Aussagen betont menschliche kognitive Leistungen:

- „Erstellung werthaltiger Elemente durch kognitive Denkprozesse“
- „Die Erzeugung von Werten oder Nutzen durch geistige Leistung“
- „Wert entsteht aus Denken, Problemlösen und Kreativität. Alle Geschäftsmodelle ohne rein physisches Modell.“
- „Das Auge steuert die Fabrik, Prozess einfach und intuitiv“
- „Ich verstehe darunter die Wertschöpfung, die der Mensch nicht sichtbar leistet. Das umfasst den Denkprozess, Intuition, Erfahrungen, abstraktes Denken. Alle Prozesse, die bisher nicht systematisch zu erfassen sind.“

Andere Antworten verweisen stärker auf technologische Unterstützung durch intelligente Systeme:

- „Unterstützung im Wertschöpfungsprozess durch kognitive Assistenzsysteme“
- „Erkennen und Verfolgen von Mustern, die nicht wertschöpfende Schritte vermeiden“
- „Wissenstransport“
- „Herausarbeiten neuer Lösungen, die einen messbaren Mehrwert bringen.“

Im anschließenden Bewertungsteil wurden $n = 12$ Teilnehmende gebeten, die Relevanz verschiedener Aspekte für ein zukünftiges Framework einzuschätzen. Die Ergebnisse sind in **Bild 2** dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen ein heterogenes Begriffsverständnis von kognitiver Wertschöpfung. Ein Teil der Teilnehmenden beschreibt den Begriff primär als menschliche geistige Leistung, während andere ihn stärker mit der technologischen Unterstützung durch kognitive Assistenzsysteme verbinden.

Die Framework-Anforderungen (Bild 2) zeigen klare Prioritäten für dessen praktische Ausgestaltung. Besonders hohe Relevanz haben die Integration in bestehende Prozesse und Organisationsstrukturen (58 % „sehr wichtig“), konkrete Anwendungsbeispiele (50 % „sehr wichtig“) sowie eine klare Rollendefinition zwischen Mensch und KI (42 % „sehr wichtig“). Ebenfalls als wichtig werden Methoden zur Bewertung von Einsatzpotenzialen sowie Qualifikationsanforderungen und Schulungsaspekte eingeschätzt. Demgegenüber werden technologische Architekturfragen und der

Bezug zu Gestaltungsprinzipien vergleichsweise weniger stark priorisiert.

Insgesamt deutet dies darauf hin, dass ein zukünftiges Framework für kognitive Wertschöpfung aus Sicht der Praxis vor allem anwendungsnah, integrationsfähig und rollenorientiert gestaltet sein sollte.

5 Diskussion und Limitationen

Die Ergebnisse der explorativen Voruntersuchung liefern erste Hinweise auf die notwendigen Gestaltungselemente eines Frameworks für die kognitive Wertschöpfung in industriellen Produktionssystemen. In diesem Kapitel werden die empirischen Ergebnisse im Kontext der wissenschaftlichen Fachliteratur reflektiert und erste Anforderungen an ein Framework für die kognitive Wertschöpfung abgeleitet.

5.1 Einordnung und Diskussion der empirischen Ergebnisse

Die Befragung zeigt, dass sieben von zwölf Fachkräften aus Industrie und Wissenschaft eine deutliche Veränderung der Rolle des Menschen in zukünftigen Produktionssystemen erwarten. Die Mehrheit der Teilnehmenden bewertet den Einfluss neuer Technologien wie KI auf die Rolle des Menschen als stark. Besonders häufig genannt werden Kompetenzen wie Lern- und Anpassungsfähigkeit, technologisches Verständnis sowie Entscheidungsfähigkeit unter Unsicherheit. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit Studien zur Digitalisierung industrieller Produktionssysteme. In der Literatur wird oft beschrieben, dass mit zunehmender Automatisierung, Vernetzung und datenbasierter Entscheidungsunterstützung kognitive Tätigkeiten wie Problemlösung, Bewertung von Informationen und Entscheidungsfindung an Bedeutung gewinnen [1–3, 17].

Auch beim Einsatz von Assistenzsystemen zeigt sich ein differenziertes Bild. Physische Assistenzsysteme werden bereits von neun der zwölf befragten Unternehmen eingesetzt, digitale Assistenzsysteme von acht Unternehmen. KI-basierte Assistenzsysteme befinden sich dagegen erst in einer frühen Implementierungsphase und werden aktuell lediglich von drei Unternehmen eingesetzt.

Gleichzeitig planen sieben Unternehmen den zukünftigen Einsatz entsprechender Systeme. Diese Ergebnisse entsprechen grundsätzlich dem aktuellen Stand der industriellen Anwendung von KI. So zeigt eine Studie von Bitkom (2025), dass im Jahr 2025 in der deutschen Industrie KI-Anwendungen in 27 % der Unternehmen diskutiert, in 20 % geplant und in 36 % bereits eingesetzt werden [18].

Die in der Befragung genannten Herausforderungen, vor allem Akzeptanz bei Mitarbeitenden, technologische Reife sowie Datenschutz und Datensicherheit, spiegeln zentrale Diskussionspunkte der Industrie-4.0-Literatur wider [2, 16]. Zugleich unterstreichen die Ergebnisse die Bedeutung organisationaler und arbeitsbezogener Umsetzungsbedingungen. Aus Sicht der Praxis ist somit nicht allein die technologische Machbarkeit entscheidend, sondern insbesondere die Integration intelligenter Systeme in bestehende Arbeits- und Organisationsstrukturen.

Die größten Potenziale für kognitive Assistenzsysteme werden von den Teilnehmenden in Produktionsplanung und -steuerung, Fertigung und Produktion sowie Qualitätssicherung gesehen. Diese Ergebnisse sind konsistent mit Arbeiten zu datengetriebenen Produktionssystemen, in denen vor allem planungs- und entscheidungsintensive Bereiche als zentrale Anwendungsfelder für intelligente Produktionssysteme beschrieben werden [6]. Gleichzeitig zeigen die Ergebnisse, dass Unternehmen Potenziale nicht nur in datengetriebenen Planungsaufgaben sehen, sondern auch in produktionsnahen, operativen und qualitätsbezogenen Prozessen.

Die offenen Antworten zum Begriff kognitive Wertschöpfung zeigen ein heterogenes Begriffsverständnis. Ein Teil der Teilnehmenden beschreibt kognitive Wertschöpfung primär als menschliche geistige Leistung, etwa durch Denken, Problemlösen oder Erfahrungswissen. Andere Antworten betonen stärker die Unterstützung durch intelligente Assistenzsysteme oder datenbasierte Analyseprozesse. Diese Heterogenität bestätigt, dass der Begriff in der Praxis bislang nicht konsolidiert ist. Während arbeitswissenschaftliche Arbeiten vor allem die kognitiven Anforderungen menschlicher Arbeit untersuchen [8], konzentrieren sich technologische Forschungsstränge auf intelligente Produktionssysteme mit erweiterten Analyse- und Entscheidungsfähigkeiten [5, 6].

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die bisherige Literatur wichtige Teilaspekte kognitiver Wertschöpfung beschreibt, diese aber häufig aus unterschiedlichen disziplinären Perspektiven betrachtet werden. In der industriellen Praxis werden diese Aspekte hingegen nicht getrennt, sondern im Zusammenspiel wahrgenommen.

5.2 Anforderungen an ein Framework für kognitive Wertschöpfung

Auf Grundlage der empirischen Ergebnisse der Umfrage sowie der in Kapitel 2 dargestellten Literaturbefunde lassen sich erste Anforderungen an ein Framework zur Beschreibung kognitiver Wertschöpfung ableiten. Die Ergebnisse zeigen, dass Unternehmen kognitive Wertschöpfung nicht nur als technologische Eigenschaft eines Produktionssystems verstehen, sondern als Zusammenspiel von menschlichen Fähigkeiten, technischen Systemen und organisationalen Strukturen innerhalb industrieller Wertschöpfungsprozesse. Ein entsprechendes Framework muss daher sowohl technologische als auch arbeits- und organisationsbezogene Aspekte berücksichtigen. Es lassen sich folgende Anforderungen an ein Framework für kognitive Wertschöpfung ableiten:

- (A1) Mehr-Ebenen-Modell:
Ein Framework für kognitive Wertschöpfung soll mehrere Betrachtungsebenen berücksichtigen. In der Literatur zu Arbeitssystemen und Produktionssystemgestaltung wird industrielle Wertschöpfung typischerweise auf unterschiedlichen Ebenen analysiert, etwa auf Ebene von Arbeitssystemen, organisationalen Strukturen und übergeordneten Wertschöpfungssystemen [15, 16, 13]. Ein Framework sollte daher kognitive Leistungen sowohl auf Ebene der Arbeitssysteme, auf Unternehmensebene als auch im Kontext industrieller Wertschöpfungsnetzwerke abbilden.
- (A2) Rollen- und akteursorientiert:
Ein Framework soll transparent machen, welche kognitiven Leistungen durch Menschen, durch technische Systeme oder durch deren Zusammenspiel erbracht werden. Die hohe Relevanz einer klaren Rollenbeschreibung von Mensch und KI bestätigt diese Anforderung empirisch.
- (A3) Prozessorientiert und integrationsfähig:
Kognitive Wertschöpfung soll in realen Produktions- und Unternehmensprozessen verortet werden können. Ein Framework darf daher nicht losgelöst von bestehenden Organisations- und Prozessstrukturen formuliert werden.
- (A4) Anwendungsnähe und Bewertbarkeit:
Unternehmen erwarten ein Framework nicht nur als theoretisches Begriffsmodell, sondern als praktisch nutzbares Analyseinstrument. Ein Framework sollte daher die Identifikation, Beschreibung und Bewertung kognitiver Wertbeiträge in konkreten industriellen Anwendungsszenarien ermöglichen.

5.3 Limitationen

Angesichts des explorativen Charakters der Voruntersuchung und der begrenzten Stichprobengröße bietet dieser Beitrag eine initiale konzeptionelle Grundlage, die in zukünftigen Arbeiten weiter präzisiert und empirisch überprüft werden muss. Die empirische Untersuchung basiert auf einer kleinen Stichprobe von $n = 12$ Teilnehmenden und wurde im Kontext eines Industrie-arbeitskreises durchgeführt. Die Ergebnisse erlauben daher keine statistische Generalisierung, sondern liefern Hinweise auf Wahrnehmungen und Anforderungen aus der industriellen Praxis. Die in dieser Arbeit vorgeschlagenen Anforderungen basieren auf explorativen empirischen Ergebnissen der Expertenbefragung und der Literaturrecherche in Kapitel 2. Eine systematische Validierung dieser Struktur, beispielsweise durch größere empirische Studien, Fallstudien in Unternehmen oder delphi-basierte Expertenbefragungen, steht bislang noch aus.

Die vorliegenden Ergebnisse können als Ausgangspunkt für weitere Forschungsarbeiten verstanden werden, die das Konzept kognitiver Wertschöpfung präzisieren und dessen Bedeutung für die Gestaltung zukünftiger Produktionssysteme empirisch untersuchen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Diese Arbeit stellt eine explorative Voruntersuchung zum Forschungsfeld der kognitiven Wertschöpfung in industriellen Produktionssystemen dar. Ziel des Papers war es, erste Anforderungen an ein zukünftiges Framework zur Beschreibung kognitiver Wertschöpfung zu identifizieren. Durch die explorative Befragung von Industrieexpertinnen und -experten konnten Aspekte

und Anforderungen aus der industriellen Praxis herausgearbeitet werden. Die Ergebnisse zeigen insbesondere, dass kognitive Wertschöpfung aus Sicht der Praxis als Zusammenspiel menschlicher Kompetenzen, technischer Systeme und organisationaler Prozesse verstanden wird und daher in zukünftigen Forschungsarbeiten systematisch über mehrere Ebenen industrieller Wertschöpfungssysteme hinweg beschrieben werden sollte.

Die vorliegende Untersuchung bildet zugleich einen Ausgangspunkt für das Forschungsprojekt Kogniwert, in dem das Konzept kognitiver Wertschöpfung weiter untersucht und konzeptionell präzisiert wird. Aufbauend auf den in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnissen sind eine systematische Literaturanalyse sowie weiterführende empirische Untersuchungen geplant. Dazu zählen vertiefende Experteninterviews sowie eine delphi-basierte Expertenbefragung zur Konsolidierung zentraler Begriffe und Strukturmerkmale.

Anhang: Fragebogen der Umfrage

Demografische Angaben

1. In welcher Branche sind Sie tätig?
2. Wie viele Mitarbeitende arbeiten für Ihr Unternehmen?

Teil A: Rolle des Menschen in zukünftigen Produktionssystemen

3. Wie stark verändert sich aus Ihrer Sicht die Rolle des Menschen durch den zunehmenden Einsatz von KI in der Produktion? (1 = gar nicht, 5 = sehr stark)

☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

4. Welche menschlichen Kompetenzen gewinnen mit KI-gestützten Systemen an Bedeutung? (Mehrfachauswahl möglich)

- ☐ Problemlösefähigkeit
☐ Technologisches Verständnis
☐ Kommunikation / Kollaboration
☐ Entscheidungsfähigkeit unter Unsicherheit
☐ Kreativität / Intuition
☐ Lern-/ Anpassungsfähigkeit
☐ Systemisches Verständnis
☐ Ethisches Urteilsvermögen
☐ Kritische Reflexion
☐ Sonstige:

Teil B: Einsatz kognitiver Assistenzsysteme und KI

5. Welche Arten von Assistenzsystemen setzen Sie bereits in Ihrem Unternehmen ein?

Antwortmöglichkeiten: Physische Assistenzsysteme, Digitale Assistenzsysteme, KI-basierte Assistenzsysteme
☐ Ja ☐ Nein ☐ Geplant

6. In welchen Bereichen sehen Sie das größte Potenzial für kognitive Assistenzsysteme in der Produktion? (Offene Antwort oder optional Mehrfachauswahl)

- ☐ Produktentwicklung
☐ Produktionsplanung/-steuerung
☐ Arbeitsvorbereitung
☐ Fertigung/Produktion
☐ Montage
☐ Qualitätssicherung
☐ Instandhaltung
☐ Logistik/Materialfluss
☐ Sonstige:

7. Welche der folgenden Herausforderungen erleben Sie bei der Einführung solcher Systeme als besonders relevant?

(Offene Antwort oder optional Mehrfachauswahl)

- ☐ Technologische Reife / Integration
☐ Akzeptanz bei Mitarbeitenden
☐ Datenschutz / Sicherheit
☐ Mangel an Qualifikationen
☐ Sonstige:

Teil C: Anforderungen an ein Framework für kognitive Wertschöpfung

8. Was verstehen Sie unter dem Begriff „kognitive Wertschöpfung“?

Offene Antwort

.....

9. Bitte bewerten Sie folgende Aspekte für ein zukünftiges Framework zur kognitiven Wertschöpfung (1 = unwichtig, 5 = sehr wichtig):

Aspekt	1	2	3	4	5
Klare Rollendefinition von Mensch und KI	☐	☐	☐	☐	☐
Konkrete Anwendungsbeispiele (Use Cases)	☐	☐	☐	☐	☐
Technologische Architektur (z. B. Assistenzsysteme, Schnittstellen)	☐	☐	☐	☐	☐
Integration in bestehende Prozesse und Organisation	☐	☐	☐	☐	☐
Qualifikationsanforderungen und Schulung	☐	☐	☐	☐	☐
Bezug zu Gestaltungsprinzipien	☐	☐	☐	☐	☐
Methodik zur Bewertung von Einsatzz Potenzialen	☐	☐	☐	☐	☐

Optional:

Möchten Sie etwas ergänzen? Haben Sie konkrete Erfahrungen oder Hinweise aus Ihrem Unternehmen?

.....

FÖRDERHINWEIS

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung“ (Förderkennzeichen 02J24B011) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Literatur

- [1] Kagermann, H.; Wahlster, W.; Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Stand: 2013. Internet: www.acatech.de/publikation/umsetzungsempfehlungen-fuer-das-zukunftsprojekt-industrie-4-0-abschlussbericht-des-arbeitskreises-industrie-4-0/. Zugriff am 17.04.2026
- [2] Thoben, K.-D.; Wiesner, S.; Wuest, T.: Industrie 4.0 and smart manufacturing – A review of research issues and application examples. International Journal of Automation Technology 11 (2017) 1, pp. 4–16, doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004
- [3] Bauernhansl, T.: Die Entwicklungsstufen der digitalen Transformation in der Produktion. In: Bauernhansl, T. (Hrsg.): Digitalisierung in der Produktion. Berlin: Springer Vieweg 2023, <https://doi.org/10.1007/978-3-662-58532-0>
- [4] Mo, F.; Monetti, F.; Torayev, A. et al.: A maturity model for the autonomy of manufacturing systems. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 126 (2023), pp. 1–24, <https://doi.org/10.1007/s00170-023-10910-7>
- [5] El Kalach, F.; Yousif, I.; Wuest, T. et al.: Cognitive manufacturing: definition and current trends. Journal of Intelligent Manufacturing 36 (2024) 6, pp. 3695–3715, <https://doi.org/10.1007/s10845-024-02429-9>
- [6] Zheng, P.; Wang, H.; Sang, Z. et al.: Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios, and future perspectives. Frontiers of Mechanical Engineering 13 (2018) 2, pp. 137–150, <https://doi.org/10.1007/s11465-018-0499-5>
- [7] ElMaraghy, H.; ElMaraghy, W.: Adaptive manufacturing systems. International Journal of Production Research 60 (2022) 24, pp. 7436–7449, <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2078248>
- [8] Schumacher, S.; Himmelstoß, H.; Eusterviemann, T.: Produktionsarbeit der Zukunft – Das Innovationslabor Future Work Lab. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. Berlin: Springer Vieweg 2021, doi.org/10.1007/978-3-662-58532-0_168
- [9] Schumacher, S.; Bauer, W.: Autonome Produktion – Perspektiven für zukünftige Produktionssysteme. Heidelberg: Springer-Verlag, 2021, https://doi.org/10.1007/978-3-662-45537-1_164-1
- [10] Kuhr, L.; Mennenga, M.; Herrmann, C.: Cognitive AI agents in life cycle management of Industry 5.0 organizations: A conceptual framework. Procedia CIRP – 33rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering (LCE 2026), in press
- [11] Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF: Zukunft der Wertschöpfung. Stand: 2024. Internet: www.zukunft-der-wertschoepfung.de/wp-content/uploads/2022/11/BMBF_Broschüre_Zukunft_Wertschoepfung_n-Vorwort.pdf. Zugriff am 17.04.2026
- [12] TU Braunschweig: KOGNIWERT – Kognitive Wertschöpfung in industriellen Produktionssystemen. Stand: 2025. Internet: www.tu-braunschweig.de/iwf/nplce/forschungsprojekte/kogniwert. Zugriff am 17.04.2026
- [13] Porter, M. E.: Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance. New York: Free Press 1985
- [14] Grant, R. M.: Toward a knowledge-based theory of the firm. Strategic Management Journal 17 (1996) S2, pp. 109–122, doi.org/10.1002/smj.4250171110
- [15] Ulich, E.: Arbeitspsychologie. Zürich: vdf Hochschulverlag 2011, doi.org/10.3128/4042-5
- [16] Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Vieweg 2014, doi.org/10.1007/978-3-658-04682-8
- [17] acatech HORIZONTE: KI in der industriellen Produktion. Stand: 2020. Internet: www.acatech.de/publikation/acatech-horizonte-ki-in-der-industrie/. Zugriff am 17.04.2026
- [18] Bitkom: Künstliche Intelligenz in der deutschen Wirtschaft Stand: 2025. Internet: www.bitkom.org/Bitkom-Dataverse/KIUnternehmen?tab_name=Einsatz+von+KI. Zugriff am 17.04.2026

Jan Philipp Pydde, M.Sc. 

jan.philipp.pydde@ipa.fraunhofer.de

Dr. Simon Schumacher 

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl 

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

Lennart Kuhr, M.Sc. 

Dr.-Ing. Mark Mennenga

Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

Technische Universität Braunschweig
Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
Langer Kamp 19b, 38106 Braunschweig
www.tu-braunschweig.de

LIZENZ



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