



Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen mittels Künstlicher Intelligenz: Einblicke aus einem Konsortialforschungsprojekt in der Druckindustrie

Björn Häckel · Simon Meierhöfer · Melina Müller ·
Anna Maria Oberländer · Selina Süzeroğlu · Tim Werner ·
Stefanie Wiedemann

Eingegangen: 22. Dezember 2024 / Angenommen: 1. April 2025 / Online publiziert: 19. Mai 2025
© The Author(s) 2025

Zusammenfassung Die industrielle Herstellung von Druckerzeugnissen ist ein energie- und rohstoffintensiver Prozess, der von einer Vielzahl von Parametern und Variablen wie Produktionsgeschwindigkeiten, Maschineneinstellungen oder Umgebungsbedingungen beeinflusst wird. Der vorliegende Beitrag beschreibt, wie Unternehmen diese Daten nutzen können, um mittels Künstlicher Intelligenz (KI) darin verborgene Nachhaltigkeitspotenziale zu erschließen. Dazu wird anhand einer Fallstudie in der Druckindustrie aufgezeigt, wie das Know-how eines Druckmaschinenherstellers, eines Data Analytics Providers und einer Druckerei entlang der Wertschöpfungskette gebündelt werden kann, um in einem interdisziplinären Konsortialverbund KI-basierte Smart Services zu entwickeln, die zu einer simultanen Erhöhung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit beitragen. Der vorliegende Beitrag stellt dazu im Ergebnis ein vierphasiges Vorgehensmodell vor, das im Rahmen des öffentlich geförderten Konsortialforschungsprojekts „Künstliche Intelligenz und Data Analytics in Smart Services für eine nachhaltige Druckindustrie“ entwickelt und angewendet wurde. Für jede Phase werden Ziele, Aktivitäten und Ergebnisse vorgestellt und anhand konkreter Fallbeispiele veranschaulicht. Darauf aufbauend werden fünf übergreifende Handlungsempfehlungen formuliert, die etablierten Unternehmen am Beispiel der Druckindustrie aufzeigen sollen, dass die Zusammenarbeit in einem interdisziplinären Konsortialverbund ein vielversprechender Ansatz zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen mittels KI ist.

Björn Häckel · Simon Meierhöfer · Melina Müller · Anna Maria Oberländer · Selina Süzeroğlu ·
Tim Werner · Stefanie Wiedemann

FIM Forschungsinstitut für Informationsmanagement, Augsburg/Bayreuth, Deutschland

Institutsteil Wirtschaftsinformatik des Fraunhofer FIT, Augsburg/Bayreuth, Deutschland

Björn Häckel · Tim Werner
Technische Hochschule Augsburg, Augsburg, Deutschland

✉ Simon Meierhöfer · Anna Maria Oberländer
Universität Bayreuth, Bayreuth, Deutschland
E-Mail: simon.meierhoefer@fit.fraunhofer.de

Schlüsselwörter Druckindustrie · Konsortialforschungsprojekt · Künstliche Intelligenz · Nachhaltigkeit · Smart Services

Unlocking Sustainability Potentials Through Artificial Intelligence: Insights from a Consortium Research Project in the Printing Industry

Abstract The industrial production of printed products is an energy- and material-intensive process that is influenced by various parameters and variables such as production speeds, machine settings, and environmental conditions. This article describes how organizations can utilize this data to tap into hidden sustainability potentials through Artificial Intelligence (AI). A case study in the printing industry is used to demonstrate how the expertise of a printing machine manufacturer, a data analytics provider, and a printing plant can be pooled along the value chain to develop AI-based smart services in an interdisciplinary consortium that contribute to a simultaneous increase in economic and ecological sustainability. This article presents the results of a four-phase process model that was developed and applied as part of the publicly funded consortium research project “Artificial intelligence and data analytics in smart services for a sustainable printing industry”. Objectives, activities, and results are presented for each phase and illustrated using specific case examples. Based on this, five overarching recommendations for action are formulated to demonstrate to incumbent firms, using the printing industry as an example, that collaboration in an interdisciplinary consortium can be a promising approach to unlocking sustainability potentials through AI.

Keywords Printing Industry · Consortium Research Project · Artificial Intelligence · Sustainability · Smart Services

1 Künstliche Intelligenz als Schlüssel zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen

Hochwertige Druckerzeugnisse wie Broschüren, Plakate und Zeitungen sind ein essenzielles Kommunikationsmittel, um unterschiedliche Zielgruppen effektiv zu erreichen. Printmedien dienen nach wie vor als eine der zentralen Informationsquellen in Deutschland (Statista 2024). In der Folge stellt die Druckindustrie mit über 106.000 Beschäftigten und einem Jahresumsatz von 17,6 Mrd. € (Stand 2023) einen relevanten Wirtschaftszweig in Deutschland dar (Bundesverband Druck und Medien e. V. 2024). Die wirtschaftliche Bedeutung der Branche verstärkt sich bei Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette, die neben traditionellen Druckereien auch namhafte Druckmaschinenhersteller und spezialisierte Data Analytics Provider umfasst. Der energie- und rohstoffintensive Prozess (z.B. Farb-, Papier- und Stromverbrauch) zur industriellen Herstellung von Druckerzeugnissen erfolgt dabei in hoch technologisierten Produktionsanlagen und erfordert ein ausgewogenes Zusammenspiel der einzelnen Akteure (Karlovits 2017; Safonov et al. 2022). Trotz

ihrer langjährigen Historie und anerkannten Stellung in Wirtschaft und Gesellschaft steht die Druckindustrie derzeit vor weitreichenden Herausforderungen.

Zum einen setzen die fortschreitende Digitalisierung und das damit einhergehende veränderte kundenseitige Mediennutzungsverhalten das Geschäftsmodell der Printmedien unter Druck (drupa 2024). Zum anderen sieht sich die Druckindustrie aufgrund ihres hohen Ressourcenverbrauchs sowie den Auswirkungen geopolitischer Ereignisse auf die gesamten Lieferketten (z. B. bei der Sicherstellung der Bezugsquellen von Druckpapier) mit einem erhöhten Kostendruck bei der Beschaffung von Energie und Rohstoffen, aber auch von Halbfertigprodukten konfrontiert (Michel et al. 2020). Gleichzeitig verschärfen Regulierungen hin zu mehr Nachhaltigkeit, wie die „Sustainable Products Initiative“ der Europäischen Kommission, zunehmend die Anforderungen an die Druckindustrie (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz 2022). Dem europäischen Verständnis folgend versteht man unter Nachhaltigkeit im unternehmerischen Sinne ökonomische, ökologische und soziale Ziele, um das Wohlergehen heutiger und zukünftiger Generationen sicherzustellen (Brenner und Hartl 2021; Malhotra et al. 2013).

Um in diesem Spannungsfeld bestehen zu können, müssen sich Unternehmen in der Druckindustrie aufgrund der genannten politischen und gesetzlichen Regelungen einer tiefgreifenden Transformation hin zu mehr Nachhaltigkeit unterziehen, um mithilfe der daraus resultierenden Innovationskraft eine Abwanderung von Produktionskapazitäten zu vermeiden (Winkler et al. 2023; Varriale et al. 2024). Insbesondere der Einsatz digitaler Technologien im Allgemeinen und Künstlicher Intelligenz (KI) im Besonderen wird als Schlüssel angesehen, um Potenziale für einen schonenden und wirtschaftlichen Umgang mit Ressourcen zu heben (Kar et al. 2022; Schoormann et al. 2023). KI umfasst dabei eine Fülle von algorithmischen Methoden und Techniken, die in den letzten Jahren im Einklang mit der Natur von KI als sich ständig weiterentwickelnde Grenze des rechnerischen Fortschritts entstanden sind (Stone et al. 2022). Die Anwendung dieser Methoden und Techniken ermöglicht es intelligenten Systemen, Daten mittels statistischer Mustererkennung zu analysieren und daraus gewonnenen Erkenntnisse zu nutzen, um Ziele und Aufgaben zu erreichen (Haenlein und Kaplan 2019). Trotz der erwarteten Rolle von KI zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen wird die emergente Technologie in der Produktion im Allgemeinen und in der Druckindustrie im Besonderen derzeit noch nicht in größerem Umfang eingesetzt (Peretz-Andersson et al. 2024; Hansen et al. 2024). In der Folge werden ökonomische und ökologische Potenziale, die sich durch den Einsatz von KI erschließen lassen, wie die Verbesserung von Produktionskapazitäten durch umfassende Auftragshistorien und statistische Auslastungsanalysen oder die Reduktion von Stillstandszeiten durch vorausschauende Wartung, bisher nicht vollständig ausgeschöpft.

Durch das Aufkommen des Internet of Things (IoT) und der damit einhergehenden Ausstattung physischer Objekte mit Sensoren, Aktoren, Rechenlogik und der Fähigkeit über Netzwerke zu kommunizieren, haben viele Unternehmen bereits damit begonnen, ihre Produktion zu digitalisieren (Püschel et al. 2022; Oberländer et al. 2018). Dieser Trend hat dazu geführt, dass Druckereien und Druckmaschinenhersteller inzwischen zwar häufig über eine große Menge an Daten verfügen, diese aber nur selten nutzen, um datengestützte Erkenntnisse zu gewinnen, datenbasierte

Empfehlungen zu geben oder Daten sogar als Mittel zur Bereitstellung datengetriebener Geschäftsmodelle heranzuziehen (Stahl et al. 2023; Hunke et al. 2022). In der Folge verpassen viele Unternehmen in der Druckindustrie die Möglichkeit KI zu nutzen, um sowohl eine digitale als auch eine nachhaltige Transformation gleichermaßen voranzutreiben (Crome et al. 2024; Link et al. 2024).

Vor diesem Hintergrund ist die Zusammenarbeit von Druckmaschinenherstellern, Data Analytics Providern und Druckereien entlang der Wertschöpfungskette ein vielversprechender Ansatz, um die in den Daten verborgenen Nachhaltigkeitspotenziale zu erschließen (Österle und Otto 2010). Damit könnten Druckereien ökonomische und ökologische Potenziale durch Ressourceneinsparungen heben und Druckmaschinenhersteller gemeinsam mit Data Analytics Providern KI-basierte Smart Services als Basis für datengetriebene Geschäftsmodelle entwickeln (Häkel et al. 2021; Buck et al. 2022).

2 Zusammenarbeit im Konsortialverbund als Beschleuniger zur Entwicklung KI-basierter Smart Services

Ein vielversprechender Ansatz zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen mittels KI ist die Zusammenarbeit in einem interdisziplinären Konsortialverbund (Österle und Otto 2010). Ein Konsortialverbund beschreibt das Zusammenwirken von Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen in einem Konsortium, um eine konkrete Problemstellung multiperspektivisch und gemeinschaftlich zu lösen. Im Kontext der Druckindustrie kann so das bestehende und spezialisierte domänen-spezifische Wissen über Druckmaschinen und -prozesse mit neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen zur Entwicklung KI-basierter Smart Services zusammengeführt werden.

Im vorliegenden Projekt bestand das Konsortium aus drei Industrieunternehmen, die entlang der Wertschöpfungskette der Druckindustrie angesiedelt waren, und zwei Forschungseinrichtungen mit einschlägigem Wissen über die ökonomischen und ökologischen Potenziale, die sich durch den Einsatz von KI erschließen lassen. Die Konsortialpartner übernahmen entsprechend ihrer Position in der Wertschöpfungskette unterschiedliche Rollen und Verantwortlichkeiten, die ihren individuellen Perspektiven und Kompetenzen entsprachen. In Abb. 1 ist das Zusammenwirken der Konsortialpartner im traditionellen Druckprozess dargestellt.

Der *Druckmaschinenhersteller* im Konsortium ist einer der weltweit führenden Maschinen- und Anlagenbauer von Rollenoffsetdruckmaschinen und besitzt umfangreiche Kompetenzen in den Bereichen Akzidenz-, Verpackungs- und Zeitungsdruck. Im Projekt lieferte der Druckmaschinenhersteller relevantes Domänenwissen über die Druckindustrie sowie umfassendes technisches Know-how zur datengetriebenen Optimierung von Druckmaschinen. Der Druckmaschinenhersteller verfolgte dabei das Ziel, Ressourcenverbrauchs- und Maschinennutzungsdaten als Ausgangspunkt zu nutzen, um sein bestehendes Produkt- und Dienstleistungsangebot um KI-basierte Smart Services zu erweitern.

Der *Data Analytics Provider* im Konsortium ist ein etablierter Anbieter von IoT-Lösungen im Maschinen- und Anlagenbau mit besonderer Expertise in der Druckin-

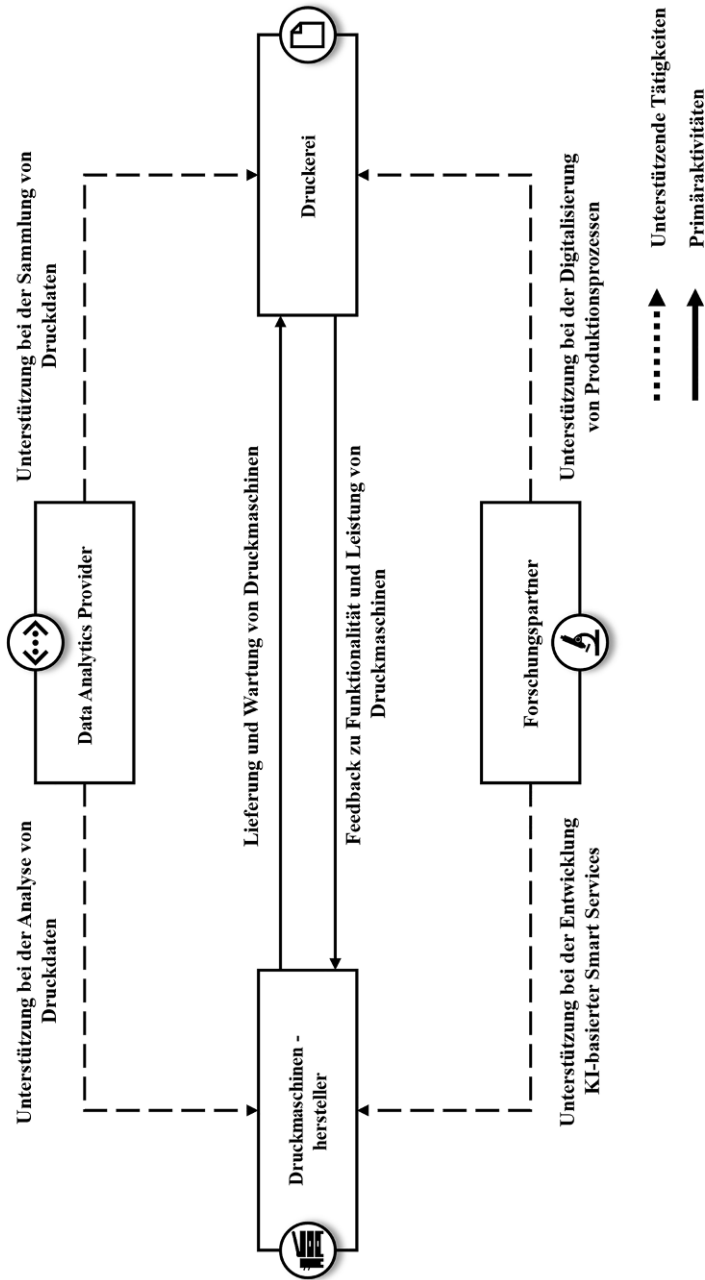


Abb. 1 Aktivitäten der Konsortialpartner im Konsortialprojekt

dustrie. Seit vielen Jahren unterstützt er Druckmaschinenhersteller und Druckereien bei der Erfassung und Auswertung von Daten, die in und an Druckmaschinen anfallen, um eine datengetriebene Optimierung von Druckprozessen zu ermöglichen. Im Projekt beschäftigte sich der Data Analytics Provider zunächst mit der Identifikation von Mustern, Trends und Zusammenhängen in großen und komplexen Daten. Ergänzend dazu war er mit der Auswahl und Umsetzung geeigneter Algorithmen sowie der Implementierung technischer Demonstratoren betraut.

Die *Druckerei* im Konsortium produziert für unterschiedliche Kundengruppen im regionalen und überregionalen Markt ein breites Sortiment an Printerzeugnissen. Hierfür werden durchschnittlich mehr als 10.000 kg Papier und 200 kg Farbe pro Tag benötigt. Vor dem Hintergrund steigender Energie- und Rohstoffpreise sowie der steigenden Anforderungen von Politik und Gesellschaft hin zu mehr Nachhaltigkeit sucht die Druckerei nach neuen Ansätzen, domänenspezifische Anforderungen und Restriktionen gleichermaßen abzudecken. Im Projekt fungierte die Druckerei als Expertin für die Funktionsweise von Druckprozessen und als zentrale Datenquelle für die Entwicklung und Evaluierung KI-basierter Smart Services.

Die *Forschungspartner* im Konsortium ergänzen das Portfolio durch Expertise in der strukturierten Entwicklung digitaler Innovationen im Kontext emergenter Technologien sowie der Konzeption digitaler Services. Im Projekt übernahmen die Forschungspartner durch ihre umfangreichen Erfahrungen in öffentlich geförderter Konsortialforschung die Projektleitung. Weiterhin waren sie für die Konzeption KI-basierter Smart Services und für die strukturierte Entwicklung digitaler Innovationen verantwortlich.

3 Vorgehensmodell zur Entwicklung KI-basierter Smart Services im Konsortialverbund

In Anlehnung an Österle und Otto (2010) umfasste das gewählte Vorgehen im Konsortialverbund vier sequenzielle Phasen, die von den beteiligten Konsortialpartnern gemeinsam im Zeitraum von Januar 2023 bis Dezember 2024 bearbeitet wurden. Die vier Phasen deckten die notwendigen technologischen, ökonomischen und ökologischen Aspekte des Projekts ab und sind in Abb. 2 dargestellt.

3.1 Phase 1: Analyse der Lösungsanforderungen und Vorbereitung der Datenerhebung

In der ersten Phase erfolgte eine strukturierte Erfassung der Anforderungen der Konsortialpartner an KI-basierte Smart Services unter Berücksichtigung domänenspezifischer Restriktionen. Hierfür wurde der Aufbau der notwendigen Dateninfrastruktur

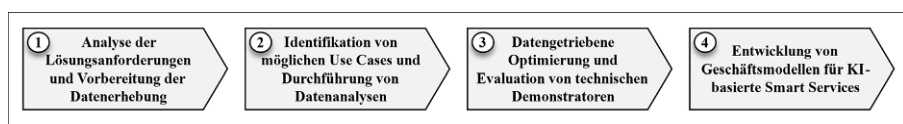


Abb. 2 Entwicklungsphasen zur Entwicklung KI-basierter Smart Services

für eine zielgerichtete Erhebung relevanter Produktions- und Maschinendaten (z. B. Prozessdaten, Qualitätsdaten, Servicedaten) sowie ressourcenbezogener Daten (z. B. Energie-, Farb- und Papierverbrauch) forciert. Da die Entwicklungen der ersten Phase die Grundvoraussetzungen zur Erreichung der Ziele in den nachfolgenden Phasen darstellen, wurde zunächst in Interviews und Workshops ein gemeinsames Problemverständnis formuliert und ein Lösungsraum für mögliche KI-Anwendungen in der Druckindustrie erarbeitet. Hierfür wurde domänenspezifisches Wissen (z. B. Funktionsweise einer Druckmaschine, Ablauf eines Druckprozesses) mit den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen (z. B. Anwendungsfelder von KI in Produktionsprozessen) kombiniert. Parallel dazu erfolgte der Aufbau der notwendigen Dateninfrastruktur, wobei in den Druckmaschinen der Druckerei zusätzliche Sensorik zur Messung relevanter Produktions- und Maschinendaten (z. B. Temperatursensoren, Feuchtigkeitssensoren) verbaut wurde. Für die Erfassung der Daten installierte der Maschinen- und Anlagenbauer zudem eine IoT-Box, um die Vernetzung und Kommunikation verschiedener Sensoren in einem gemeinsamen Netzwerk zu ermöglichen. Die Anforderungen an die Sensorik wurden dabei gemeinsam durch die Konsortialpartner erarbeitet, wobei sowohl der Druckmaschinenhersteller als auch die Druckerei ihre jeweils langjährige Expertise zu Mess- und Regelsystemen bei Druckprozessen einbrachten. Ergänzend wurde auch eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt, ob und welche zusätzliche Sensorik installiert werden sollte, wobei unter anderem auch Personalkosten für Einbau und Inbetriebnahme berücksichtigt wurden. Im Allgemeinen wurde darauf geachtet, dass die Dateninfrastruktur leicht auf weitere Maschinen ausweitbar und übertragbar ist. Durch den Ausbau bestehender Datenbanken und -systeme ermöglicht der Data Analytics Provider die Zusammenführung der erfassten Daten in einer übergreifenden Dateninfrastruktur. In der ersten Phase wurde somit im Konsortialverbund ein gemeinsames Verständnis für mögliche KI-Anwendungen in der Druckindustrie geschaffen und die dafür notwendige Dateninfrastruktur aufgebaut. Wie in Abb. 3 dargestellt, wurde der traditionelle Druckprozess durch die installierte Dateninfrastruktur und die interdisziplinäre Zusammenarbeit entlang der Wertschöpfungskette umfassend erweitert.

3.2 Phase 2: Identifikation von möglichen Use Cases und Durchführung von Datenanalysen

Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen bezüglich der Anforderungen an KI-Anwendungen und der technischen Bereitstellung von Daten, lag der Fokus der zweiten Phase auf einer strukturierten Identifikation wertstiftender Use Cases. Mittels Interviews und Workshops wurden dazu gemeinsam mögliche Use Cases sowohl technologiegetrieben als auch problemzentriert gesammelt und mit Hilfe eines Use Case Templates hinreichend konkretisiert. Auf diese Weise konnten insgesamt 17 Use Cases identifiziert werden, die in die vier übergreifenden Bereiche (1) Energie und Verbrauch, (2) Material und Rohstoff, (3) Wartung und Verschleiß sowie (4) Planung und Organisation gruppiert wurden. Da die Anzahl der identifizierten Use Cases den Projektrahmen überstieg, orientierte sich das Konsortium an einer multikriteriellen Bewertung in Anlehnung an Brenner et al. (2022). Zunächst wurden für die technische Umsetzbarkeit (*Feasibility*) der Use Cases die benötigten Kom-

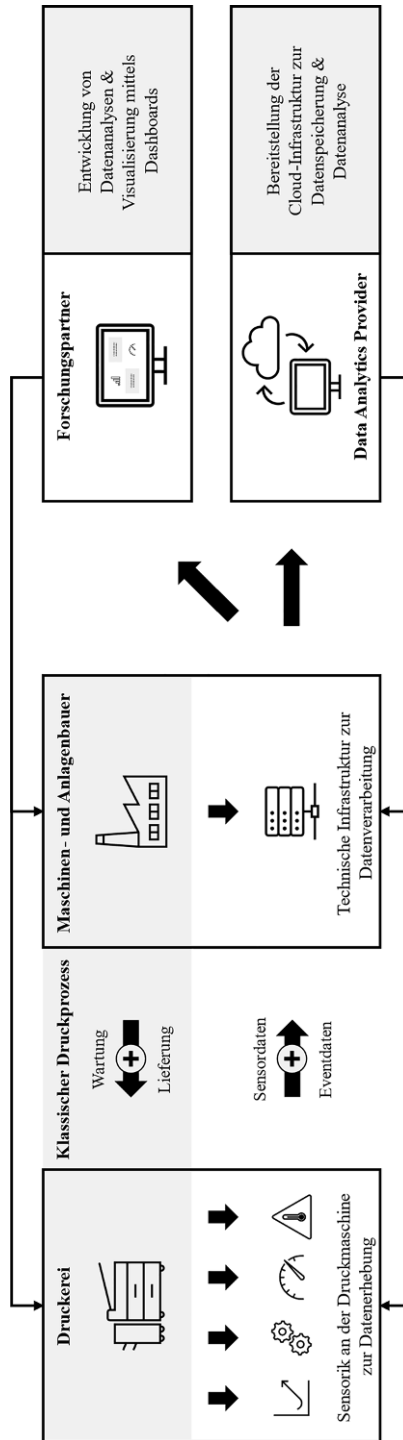


Abb. 3 Schematische Darstellung des erweiterten Druckprozess

petenzen mit den verfügbaren Ressourcen der Konsortialpartner verglichen und anschließend die Kompatibilität von Bedürfnissen und Interessen der beteiligten Konsortialpartner hinsichtlich der aktuellen Produkt- und Serviceportfolios analysiert (*Desirability*). Anschließend wurden der langfristige Mehrwert und die wirtschaftliche Anschlussfähigkeit der Use Cases über das Projekt hinaus evaluiert (*Viability*). Ergänzend wurde berücksichtigt, inwieweit der Use Case mit der verfügbaren und zugänglichen Quantität und Qualität an Daten technisch realisierbar ist (*Datability*). Als letztes Kriterium wurde bewertet, inwieweit der Use Case zu einer Steigerung der Nachhaltigkeit führt (*Sustainability*). Auf dieser Basis wurden im Konsortium die sieben vielversprechendsten Use Cases ausgewählt, die den Ausgangspunkt für die praktische Umsetzung darstellen. Tab. 1 beschreibt die identifizierten Use Cases inklusive der technischen Umsetzung im Rahmen des Konsortialprojektes. Für jeden der Use Cases wird die initiale Problematik (P), die erhobene Anforderung (A) sowie die umgesetzte Lösung (L) und der daraus resultierende Mehrwert (M) konkretisiert.

Tab. 1 Use Case Überblick

Detektion von Fremdkörpern	P	Walzenschäden durch Eindringen von Fremdkörpern (z. B. Kartonagen) in die Druckmaschine
	A	Vermeidung von Walzenschäden durch frühzeitiges Erkennen von Fremdkörpern in der Druckmaschine
	L	Überwachung von Walzenzuständen anhand von Grenzwerten für anomales Verhalten von Drehmoment- und Drehzahlsensoren
	M	Reduktion der Reparatur-, Organisations-, Personal- und Ersatzteilkosten sowie Makulatur
Analyse von Stromverbräuchen innerhalb eines Druckzyklus	P	Bedingte Transparenz über die Entwicklung der Stromverbräuche von Motoren einer Druckmaschine innerhalb eines Druckzyklus
	A	Visualisierung der Stromverbräuche von Motoren über mehrere Druckzyklen hinweg und Analyse der Abhängigkeit von gewählten Parametern (z. B. Druckgeschwindigkeit, Motorerwärmung)
	L	Analyse von Kovarianzen und bedingten Kausalitäten zwischen gewählten Parametern zur Interpretation der Entwicklung der Stromverbräuche
	M	Verlängerung der Lebensdauer der Motoren durch optimierte Wartungsintervalle und Austauschzyklen
Detektion von Verbrauchsanomalien bei identischen Aufträgen	P	Variationen von Ressourcenverbräuchen bei der Ausführung von Druckaufträgen bei identischen Maschineneinstellungen
	A	Frühzeitige Erkennung sich abzeichnender Trends und Entwicklungen von Ressourcenverbräuchen in Abhängigkeit von Umgebungsvariablen der Druckmaschinen
	L	Analyse wiederkehrender und identischer Druckaufträge zur Detektion von abweichenden Ressourcenverbräuchen in unterschiedlichen Umgebungen über einen längeren Zeitraum
	M	Reduktion von Ressourcenverbräuchen durch optimierte Maschinensteuerungen in Abhängigkeit verschiedener Umgebungsvariablen (z. B. Temperatur, Feuchtigkeit)

Tab. 1 (Fortsetzung)

Optimierung der Druckproduktion zur Reduzierung von Stromverbräuchen	P	Erhöhte Kosten von Druckprozessen durch gestiegene Energiepreise führen zu einer Reduktion der Wirtschaftlichkeit von Druckaufträgen
	A	Auswahl von Rahmenbedingungen für Druckaufträge zur Optimierung von Druckzeitpunkt und die Druckreihenfolge
	L	Analyse identischer Druckaufträge zur Vorhersage des Stromverbrauchs eines Druckauftrags in Abhängigkeit von Maschineneinstellungen
	M	Reduktion von Stromverbräuchen durch eine passgenaue Steuerung von Druckaufträgen (z. B. Produktion zu Niedrigstromtarifen mit reduziertem Personalaufwand)
Optimierung von Druckluftverbräuchen	P	Konstant hohe Druckluftzufuhr für alle Komponenten der Druckmaschine trotz des Bedarfs eines maximalen Luftdrucks nur in bestimmten Phasen
	A	Optimierung der Druckluftzufuhr basierend auf dem tatsächlichen Bedarf (z. B. im Betrieb vs. im Stand-By-Modus) und datenzentrische Evaluierung der Druckluftverbräuche für eine passgenaue Dimensionierung von Pufferspeichern
	L	Analyse des tatsächlichen Druckluftbedarfs für eine bedarfsgerechte Druckluftzufuhr und damit bewusste Druckluftreduzierung in Zeiten geringen Druckluftbedarfs
	M	Senkung des Druckluftverbrauchs durch eine bedarfsgerechte Anpassung kostenintensiver Druckluftzufuhr inklusive einer Kostenreduktion durch eine passgenaue Dimensionierung von Pufferspeichern
Optimierung der thermischen Energiezufuhr	P	Hoher Energieverbrauch durch eine konservative Dimensionierung von Aggregaten zur Kühlung oder Erwärmung der Peripherie einer Druckmaschine
	A	Optimierung der Energiezufuhr basierend auf der tatsächlich benötigten Kühl- und Wärmeleistung unter Berücksichtigung klimatischer Bedingungen
	L	Bedarfsgerechte Energiezufuhr durch eine Analyse des tatsächlichen Bedarfs an Kühl- und Wärmeleistung
	M	Optimierte Dimensionierung von Aggregaten sowie verbesserte Steuerung der Kühlung und Erwärmung der Peripherie einer Druckmaschine
Temperatur- und Vibrationsbasierte Zustandsüberwachung von Maschinenbauteilen	P	Unplanmäßige Bauteilausfälle in Druckmaschinen führen zu Produktionsstillständen und -verlusten
	A	Vermeidung von Produktionsstillständen und -verlusten durch die frühzeitige Erkennung von Defekten bei Bauteilen in Druckmaschinen
	L	Überwachung von Bauteilen wie Walzen, Motoren, Lager, Druckzylinder oder Farbwerke mittels Temperatur- und Vibrationssensoren anhand von Sollwerten
	M	Minimierung von Produktionsstillständen und -verlusten durch frühzeitige Erkennung von Bauteilausfällen

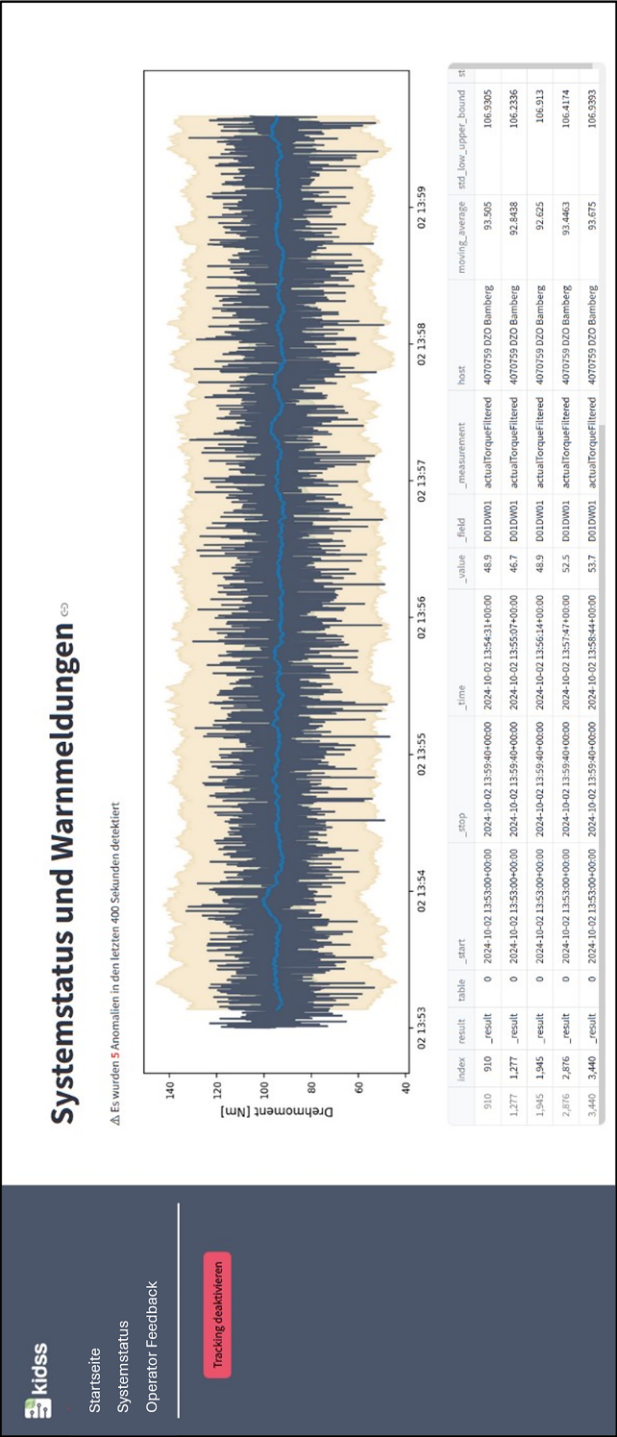
3.3 Phase 3: Datengetriebene Optimierung und Evaluation technischer Demonstratoren

In der dritten Phase wurden die konzeptionellen Use Cases in technische Demonstratoren überführt. Hierfür wurden zunächst die Anforderungen pro Use Case spezifiziert. Im Zuge dessen wurden für die Use Cases schematische *Wireframes* (d. h. einfache Darstellungen der Anordnung und Struktur einzelner Elemente der Benutzeroberfläche) und grafische *Mock-ups* (d. h. detailliertere Entwürfe zum Layout der

Benutzeroberfläche) erstellt, um die gewünschten Kernfunktionalitäten und -konzepte zu illustrieren. Dieses Vorgehen ermöglichte das frühzeitige Einbinden von Nutzerfeedback, Integrationsanforderungen und technischen Restriktionen. In einem zweiten Schritt wurden die erstellten Wireframes und Mock-ups in *Minimal Viable Products* (MVPs) überführt. Dazu wurden die in den Wireframes und Mock-ups definierten Anforderungen unter Berücksichtigung realer Sensordaten in der Front- und Backend-Entwicklung umgesetzt. Die MVPs stellten eine erste voll funktionsfähige Version einer praktischen Umsetzung der Use Cases in Form technischer Demonstratoren mit Kernfunktionalitäten dar. Durch die Bereitstellung von MVPs zum Testen in der realweltlichen Umgebung bei den beteiligten Konsortialpartner war es möglich, Anpassungs- und Erweiterungswünsche potenzieller späterer Nutzer frühzeitig zu sammeln und mithilfe derer eine (Vor-)Serienreife zu erreichen. In Abb. 4 ist exemplarisch die Umsetzung des MVPs für Use Case 1 dargestellt. Hierbei soll das Eindringen von Fremdkörpern (z. B. Kartonagen) in die Druckmaschine durch die Detektion von Fremdkörpern frühzeitig erkannt und Walzenschäden dadurch vermieden werden.

3.4 Phase 4: Entwicklung von Geschäftsmodellen für KI-basierte Smart Services

Die aus der praktischen Umsetzung der Use Cases in Form technischer Demonstratoren gewonnenen Erkenntnisse wurden schließlich in der vierten Phase in KI-basierte Smart Services als Basis für datengetriebene Geschäftsmodelle überführt. Auf diese Weise sollte einerseits die langfristige Nutzbarkeit der Use Cases sichergestellt und andererseits eine gezielte Anschlussfähigkeit zur wirtschaftlichen Verwertungsmöglichkeit für die Konsortialpartner geboten werden. Dazu wurden neben etablierten Konzepten zur Gestaltung von Geschäftsmodellen im Allgemeinen neueste wissenschaftliche Erkenntnisse zur Gestaltung digitaler und nachhaltiger sowie datengetriebener Geschäftsmodelle herangezogen. Anschließend wurde ein Canvas entwickelt, der die zentralen Komponenten von Geschäftsmodellen für KI-basierte Smart Services unter Berücksichtigung der aus der prototypischen Erprobung der technischen Demonstratoren gewonnenen Einblicke konkretisiert. Hierbei lag ein besonderer Fokus auf den synergetischen Hebelwirkungen zur Steigerung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit sowohl auf der Angebots- als auch auf der Nachfrageseite der KI-basierten Smart Services. Für die Druckerei führt die Einbindung der technischen Demonstratoren im Produktionsumfeld beispielsweise zu verkürzten Stillstandzeiten, einer nachhaltigeren Auftragsplanung und reduziertem Wartungsaufwand durch KI-basierte Frühwarnsysteme. Der Data Analytics Provider und der Druckmaschinenhersteller untersuchten für ihre Geschäftsmodelle die Generalisierbarkeit und Marktreife der technischen Demonstratoren, um zu evaluieren, inwieweit diese auf andere Druckereien, Wirtschaftssektoren oder -zweige (z. B. Textilindustrie) transferierbar sind. Auf Grundlage dessen wurden Szenarioanalysen für optimale Monetarisierungs- und Go-to-Market-Strategien erstellt, um zu eruieren, wie die Markteinführung KI-basierter Smart Services über die (Vor-)Serienreife hinaus effektiv gestaltet werden kann. Abschließend wurden potenzielle rechtliche und regulatorische Herausforderungen erörtert und Lösungsansätze entwickelt, um



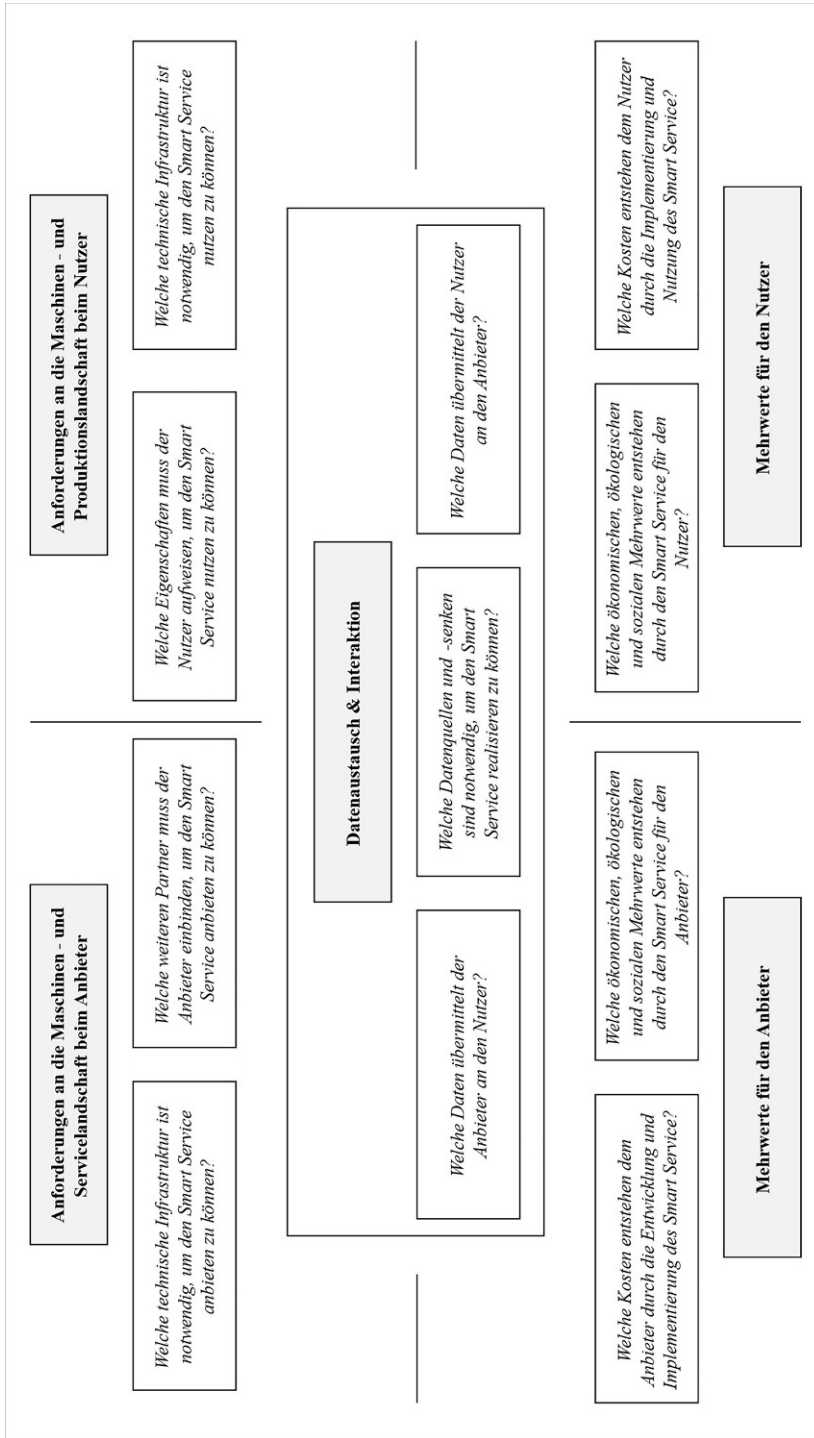


Abb. 5 Canvas zur Überführung der Use Cases in Geschäftsmodelle für KI-basierte Smart Services

die Compliance und Regulatorik der erarbeiteten Geschäftsmodelle sicherzustellen. In Abb. 5 ist der Canvas zur Überführung der Use Cases in Geschäftsmodelle für KI-basierte Smart Services schematisch dargestellt, welcher gemeinsam im Konsortium anhand der zugrundeliegenden Leitfragen pro Use Case konkretisiert wurde.

4 Handlungsempfehlungen zur Entwicklung KI-basierter Smart Services im Konsortialverbund

Der im vorliegenden Konsortialverbund angewandte vierphasige Ansatz zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen in der Druckindustrie mittels KI bildet die Grundlage für die Ableitung übergreifender Handlungsempfehlungen für Unternehmen vergleichbarer Branchen. Die fünf übergreifenden Handlungsempfehlungen sollen Unternehmen dabei unterstützen, KI-basierte Smart Services zu entwickeln, die zu einer simultanen Erhöhung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit beitragen.

Definition strategischer Ziele und Grenzen Es gibt eine Vielzahl möglicher Ansatzpunkte zur Erschließung der Nachhaltigkeitspotenziale mittels KI. Ein Konsortium sollte daher frühzeitig festlegen, auf welche spezifischen Bereiche sich die Bemühungen erstrecken sollen. Im vorliegenden Projekt wurde auf Basis vorhandener Erfahrungen der Konsortialpartner und einschlägiger Erkenntnisse aus der wissenschaftlichen Literatur bewusst eine Fokussierung auf den Druckprozess selbst (z. B. Energie- und Rohstoffverbrauch) gewählt und vor- und nachgelagerte Prozesse (z. B. Beschaffung, Logistik) ausgeklammert, um die Komplexität zu reduzieren und zunächst den Kern der Wertschöpfung in den Mittelpunkt zu stellen.

Multikriterielle Bewertung von Use Cases Bei der Auswahl möglicher Use Cases für die technische Umsetzung sollten die Dimensionen *Feasibility*, *Desirability*, *Viability*, *Datability* und *Sustainability* gleichermaßen berücksichtigt werden. Im vorliegenden Projekt zeigte sich, dass die Konsortialpartner zwar in der Lage sind, eine Vielzahl möglicher Use Cases zu identifizieren, aber nur eine begrenzte Anzahl davon tatsächlich realisierbar ist. Durch eine multikriterielle Bewertung der Use Cases kann sichergestellt werden, dass die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal genutzt werden.

Passgenauer Aufbau der technischen Infrastruktur Die Umsetzung der Use Cases erfordert häufig eine komplexe und zeitintensive Erweiterung der technischen Infrastruktur, die zu kritischen Verzögerungen führen kann. Im vorliegenden Projekt zeigte sich, dass die vorhandene technische Infrastruktur für die Umsetzung der Use Cases zunächst nicht ausreichend war. Ein Konsortium sollte daher frühzeitig erheben, welche spezifischen Daten für die Umsetzung der Use Cases benötigt werden und welche Anforderungen sich daraus an die technische Infrastruktur ergeben (z. B. Installation neuer Sensorik). Dabei sollten Investitionen in die technische Infrastruktur immer sorgfältig gegen den zu erwartenden Mehrwert abgewogen werden.

Iterative Entwicklung und kontinuierliche Abstimmung Klare Rollen und Verantwortlichkeiten können dazu beitragen, die unterschiedlichen Kompetenzen im Konsortium möglichst gewinnbringend einzusetzen. Im vorliegenden Projekt zeigte sich, dass eine agile Zusammenarbeit der Konsortialpartner durch Entwicklungssprints und Evaluationszyklen sehr zielführend ist, um Anpassungen dynamisch zu integrieren und die Gestaltung der technischen Demonstratoren schnell voranzutreiben. Darüber hinaus bieten regelmäßige Konsortialtreffen einen geeigneten Rahmen, um Status und Fortschritt zu verfolgen, neue Aufgaben zu verteilen und gemeinsam Lösungen für Probleme zu finden.

Konkretisierung langfristiger Mehrwerte Die technischen Demonstratoren stellen zwar voll funktionsfähige Lösungen dar, es bedarf aber weiterer Anstrengungen, um sie als KI-basierte Smart Services über das Konsortium hinaus zu verbreiten. Im vorliegenden Projekt wurden die technischen Demonstratoren zunächst dahingehend analysiert, ob und inwiefern der Mehrwert den Aufwand übersteigt, bevor finanzielle und personelle Ressourcen für die Weiterentwicklung zur (Vor-)Serienreife bereitgestellt wurden. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass die Lösung sowohl aktiv im Konsortium genutzt wird als auch die Use Cases zur Verbreitung im Sinne tragfähiger Geschäftsmodelle über das Konsortium hinaus geeignet sind.

Im Ergebnis liefert der vorliegende Beitrag einen Einblick, wie die Zusammenarbeit von Forschungseinrichtungen und Industrieunternehmen in einem interdisziplinären Konsortialverbund dazu beitragen kann, KI-basierte Smart Services zur simultanen Erhöhung der ökonomischen und ökologischen Nachhaltigkeit zu entwickeln. Die präsentierten Use Cases bieten dabei keinen abschließenden Überblick über die Möglichkeiten, die KI zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen bietet, wurden im vorliegenden Projekt aber von den beteiligten Konsortialpartnern als besonders vielversprechend für eine erste Analyse in der Druckindustrie identifiziert. Mit zunehmender Entwicklungsreife von Techniken und Methoden der KI (z. B. aktuelle Trends im Bereich generativer KI) werden sich zunehmend neue Möglichkeiten zur Erschließung von Nachhaltigkeitspotenzialen ergeben, die weiterführende Use Cases hervorbringen. Abschließend sei darauf hingewiesen, dass im vorliegenden Beitrag aufgrund von Förderrestriktionen eine quantitative Beschreibung der Ergebnisse nur teilweise möglich ist, diese jedoch im Abschlussbericht des Konsortialforschungsprojekts eingesehen werden können.

Danksagung Der vorliegende Beitrag ist Teil der wissenschaftlichen Verwertung der Ergebnisse, die im Konsortialforschungsprojekt „Künstliche Intelligenz und Data Analytics in Smart Services für eine nachhaltige Druckindustrie“ (Projekttakronym: KIDSS) erarbeitet wurden. Das Projekt wurde im Rahmen des Förderprogramms „Informations- und Kommunikationstechnik“ vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Landesentwicklung und Energie (StMWi) gefördert und von der VDI/VDE Innovation+Technik GmbH betreut.

Funding Open Access funding enabled and organized by Projekt DEAL.

Open Access Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen

vorgenommen wurden. Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen. Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

- Brenner B, Hartl B (2021) The perceived relationship between digitalization and ecological, economic, and social sustainability. *J Clean Prod* 315:128128. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128128>
- Brenner W, van Giffen B, Koehler J (2022) Management of artificial intelligence: feasibility, desirability and viability, S 15–36 https://doi.org/10.1007/978-3-030-84655-8_2
- Buck C, Kuch F, Lindenthal A, Merkle T, Oberländer AM, Tippel C, Wenninger A (2022) Initiierung von Smart Service Innovationen im produzierenden Gewerbe. *HMD* 59:1395–1410. <https://doi.org/10.1365/s40702-022-00900-w>
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2022) Bundesregierung unterstützt Initiative der EU-Kommission für nachhaltige Produkte. <https://www.bmuv.de/pressemitteilung/bundesregierung-unterstuetzt-initiative-der-eu-kommission-fuer-nachhaltige-produkte>
- Bundesverband Druck und Medien e. V. (2024) Die Druck- und Medienwirtschaft ist ein Hochleistungssektor. <https://www.bvdm-online.de/bvdm/branchenportal/druckindustrie>
- Crome C, Graf-Drasch V, Oberländer AM, Seidel S (2024) Integrating digital and Sustainability transformation through artificial intelligence: a framework for AI-enabled twin transformation. *Digit Sustain*. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61749-2_3
- drupa (2024) Eine unerwartete Renaissance: Wie die Digitalisierung die Druckindustrie transformiert. https://www.drupa.de/de/Media_News/drupa_blog/Digitalisierung/Eine_unerwartete_Renaissance_Wie_die_Digitalisierung_die_Druckindustrie_transformiert
- Häckel B, Huber R, Rieg M, Rösch C, Rövekamp P (2021) Das Service Design Framework zur strukturierten Entwicklung datenbasierter Services. *HMD* 58:611–627. <https://doi.org/10.1365/s40702-021-00725-z>
- Haenlein M, Kaplan A (2019) A brief history of artificial intelligence: on the past, present, and future of artificial intelligence. *Calif Manage Rev* 61:5–14. <https://doi.org/10.1177/0008125619864925>
- Hansen HF, Lillesund E, Mikalef P, Altwaijry N (2024) Understanding artificial intelligence diffusion through an AI capability maturity model. *Inf Syst Front* 26:2147–2163. <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10528-4>
- Hunke F, Heinz D, Satzger G (2022) Creating customer value from data: foundations and archetypes of analytics-based services. *Electron Markets* 32:503–521. <https://doi.org/10.1007/s12525-021-00506-y>
- Kar AK, Choudhary SK, Singh VK (2022) How can artificial intelligence impact sustainability: a systematic literature review. *J Clean Prod* 376:134120. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134120>
- Karlovits I (2017) Technologies for using big data in the paper and printing industry. *J Print Media Technol Res* 6:75–83. <https://doi.org/10.14622/JPMTR-1706>
- Link J, Harlacher M, Eisele O, Stowasser S (2024) Double transformation as the key to sustainability—methodology for evaluating an AI application in manufacturing companies. *Ind 40 Sci* 40:82–89. <https://doi.org/10.30844/I4SD.24.5.82>
- Malhotra A, Melville NP, Watson RT (2013) Spurring Impactful research on information systems and environmental sustainability. *MISQ* 37:1265–1274. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.4.3>
- Michel LP, Thiel C, Ziegler P (2020) Branchenanalyse Druckmaschinenindustrie: Branchen- und Strukturwandel, Zukunftsszenarien und Herausforderungen der Digitalisierung. Hans-Böckler-Stiftung
- Oberländer AM, Röglinger M, Rosemann M, Kees A (2018) Conceptualizing business-to-thing interactions—A sociomaterial perspective on the Internet of Things. *Eur J Inf Syst* 27:486–502. <https://doi.org/10.1080/0960085X.2017.1387714>
- Österle H, Otto B (2010) Consortium research. *Bus Inf Syst Eng* 2:283–293. <https://doi.org/10.1007/s12599-010-0119-3>

- Peretz-Andersson E, Tabares S, Mikalef P, Parida V (2024) Artificial intelligence implementation in manufacturing SMEs: a resource orchestration approach. *Int J Inf Manage* 77:102781. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2024.102781>
- Püschel LC, Roglinger M, Brandt R (2022) Unblackboxing smart things—A multilayer taxonomy and clusters of nontechnical smart thing characteristics. *IEEE Trans Eng Manag* 69:2129–2143. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.2988981>
- Safonov Y, Gutkevych S, Shenderivska L (2022) Peculiarities of management of enterprises in the printing industry. *Balt J Econ Stud* 8:174–184. <https://doi.org/10.30525/2256-0742/2022-8-3-174-184>
- Schoormann T, Strobel G, Möller F, Petrik D, Zschech P (2023) Artificial intelligence for sustainability—A systematic review of information systems literature. *CAIS* 52:199–237. <https://doi.org/10.17705/ICAIS.05209>
- Stahl B, Häckel B, Leuthe D, Ritter C (2023) Data or business first?—manufacturers' transformation toward data-driven business models. *Schmalenbach J Bus Res* 75:303–343. <https://doi.org/10.1007/s41471-023-00154-2>
- Statista (2024) Wie häufig lesen Sie gedruckte Presseerzeugnisse? <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1302428/umfrage/haeufigkeit-der-nutzung-von-printmedien-in-deutschland/>
- Stone P, Brooks R, Brynjolfsson E, Calo R, Etzioni O, Hager G, Hirschberg J, Kalyanakrishnan S, Kamar E, Kraus S, Leyton-Brown K, Parkes D, Press W, Saxenian A, Shah J, Tambe M, Teller A (2022) Artificial intelligence and life in 2030: the one hundred year study on artificial intelligence. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.06318>
- Varriale V, Cammarano A, Michelino F, Caputo M (2024) The role of digital technologies in production systems for achieving sustainable development goals. *Sustain Prod Consum* 47:87–104. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.035>
- Winkler S, Günther J, Pfennig R (2023) Nachhaltige Digitalisierung oder Nachhaltigkeit durch Digitalisierung? *HMD* 60:815–836. <https://doi.org/10.1365/s40702-023-00987-9>

Hinweis des Verlags Der Verlag bleibt in Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutsadressen neutral.