

Entwicklung eines soziotechnischen Digitalisierungs-KPI-Modells für Luftfahrtunternehmen

Wolfgang Kersten, Felix Krol, Birgit von See

Institut für Logistik und Unternehmensführung, Technische Universität Hamburg

1. Einleitung

Die globale Luftfahrtindustrie war in den vergangenen Jahren, insbesondere durch die steigende Nachfrage auf den asiatischen Märkten, durch ein starkes Marktwachstum gekennzeichnet (Stalnaker, Usman & Tylor, 2017, S. 57). Auch die deutsche Luftfahrtindustrie profitierte von diesem Wachstum: Über die letzten Jahre erzielte die Branche jährliche Wachstumsraten von über fünf Prozent (Initiative Supply Chain Excellence, 2017, S. 10). Gleichzeitig zwingt der globale Wettbewerbsdruck die Luftfahrtunternehmen, neue technologische Innovationen in ihre Produktionsprozesse zu implementieren (Esposito, Lazoi, Margarito & Quarta, 2019, S. 2). Dem gegenüber steht ein hoher Kostendruck, der insbesondere durch die wachsenden Schwellenländer getrieben wird (Santo et al., 2019, S. 4). Zusätzlich hat die Corona-Pandemie im ersten Halbjahr 2020 dazu geführt, dass die wirtschaftliche Lage der nahezu gesamten Zuliefererbetriebe geschwächt wurde. 63 % der Betriebe rechnen mit weitreichenden, 26 % sogar mit existenzbedrohenden Folgen (Santo & Wenzel, 2020, S. 7–8). Von einer Normalisierung des Produktionsniveaus wird erst ab 2023 ausgegangen, wodurch sich Herausforderungen vor allem in einem steigenden Preiskampf aufgrund von Überkapazitäten ergeben (Santo & Wenzel, 2020, S. 23).

Die deutsche Luftfahrt-Zuliefererstruktur ist durch einen hohen Anteil an kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) charakterisiert: 76 % der Zulieferer werden als KMU klassifiziert (Initiative Supply Chain Excellence, 2017, S. 9). Die Zulieferer, die überwiegend eine Tier-2- oder Tier-3-Rolle in der Supply Chain einnehmen, sind häufig hochspezialisiert und führen meist Fertigungsaufgaben durch (Initiative Supply Chain Excellence, 2017, S. 9–10 u. 13). Derzeit streben Luftfahrt-OEM (Original Equipment Manufacturer) an, die Anzahl ihrer Zulieferer

drastisch zu reduzieren und ihren Lieferantenstamm zu konsolidieren sowie für strategische Komponenten wieder Insourcing zu betreiben (Roland Berger, 2018, S. 10–13; Santo et al., 2019, S. 10). Dies erfolgt u. a. mit dem Ziel der Sicherung margenträchtiger Aftermarkt-Geschäfte strategischer Systemkomponenten und der gewinnbringenden Nutzung von systemgenerierten Daten (Santo et al., 2019, S. 10). Folglich werden in der Zukunft nur wenige, ausgewählte Tier-1-Zulieferer umfassendere Arbeitspakete übernehmen und ihre Sub-Supply Chains eigenständig verwalten (Initiative Supply Chain Excellence, 2017, S. 12; Santo et al., 2019, S. 10). Daher streben derzeit insbesondere Tier-2- und Tier-3-Zulieferer eine Weiterentwicklung zu einem höheren Tier-Level entlang der Wertschöpfungskette an (Initiative Supply Chain Excellence, 2017, S. 15).

Um durch die OEM zukünftig als potenzieller und attraktiver Luftfahrt-Zulieferer wahrgenommen zu werden, sind KMU angehalten, agile Produktionsprozesse zu etablieren und den Digitalisierungsgrad im Unternehmen auszubauen (Initiative Supply Chain Excellence, 2017, S. 27). Anders als beispielsweise in der Automobilindustrie, ist die Fertigung in der Luftfahrtindustrie durch kleinere Losgrößen (teilweise bis Losgröße 1) und einen niedrigeren Automatisierungsgrad gekennzeichnet (Guffarth, 2016, S. 130; Hansen, 2016). Demzufolge spielt die Interaktion zwischen Menschen und Technik insbesondere in dieser Branche eine bedeutende Rolle. Unternehmen sehen sich vor der Herausforderung einerseits neue ("Industrie 4.0"-) Technologien zu implementieren und ihre Geschäftsprozesse zu digitalisieren, verfügen andererseits jedoch nur über begrenzte (finanzielle) Ressourcen und Digitalisierungs-Fachwissen (Wrobel, Schildhauer & Preiß, 2017, S. 28–29). Obwohl bei 71 % der Luftfahrt-Zulieferer die Notwendigkeit einer digitalen Transformation präsent ist, haben erst 37 % der Zulieferer mit der Digitalisierung ihrer Prozesse und Funktionen begonnen (Santo et al., 2019, S. 21). Im Kreise der Luftfahrtzulieferer besteht Einigkeit darüber, dass die Kosten für KMU in einem tragbaren Rahmen bleiben müssen, damit eine stärkere Digitalisierung der Supply Chain gelingen kann (Stegkemper, 2016, S. 11).

Somit ist es in der aktuellen wirtschaftlichen Lage mehr denn je wichtig, dass als KMU klassifizierte Luftfahrtzulieferer ihren digitalen Reifegrad auf einer fundierten Basis, bspw. mithilfe von Key Performance Indikatoren (KPI), bestimmen können. Diese Bewertung der digitalen Reife ermöglicht eine zielgerichtete Priorisierung der nächsten Schritte sowie der damit verbundenen Investitionen. Um den digitalen Reifegrad bestimmen zu können, wird ein standardisiertes und strukturiertes Digitalisierungs-KPI-Modell benötigt (HAMBURG AVIATION e.V., 2020). Auf dieser Grundlage kann anschließend ein Digitalisierungs-Reifegradmodell entwickelt werden. Zwar existiert heute bereits eine Vielzahl an Digitalisierungs-Reifegradmodellen (Hölzle, Gerhardt & Petzolt, 2019, S. 14), jedoch sind

Reifegradmodelle häufig nicht-konfigurierbare und unflexible Systeme, die nur einen bestimmten Entwicklungspfad vorgeben sowie keine Handlungsleitlinien beinhalten (Kamprath, 2011, S. 98). Des Weiteren ist an bestehenden Reifegradmodellen zu kritisieren, dass diese zumeist auf subjektiven Bewertungen aufsetzen und somit eine Messbarkeit des Digitalisierungsgrads der Unternehmen nur eingeschränkt möglich ist (Reinhard, Rentz & Sommerfeld, 2020, S. 47). Durch die Entwicklung eines flexiblen Digitalisierungs-KPI-Modells wird ein Rahmenwerk geschaffen, mit dem die Luftfahrtindustrie auf einer messbaren Grundlage ein branchenindividuelles Reifegradmodell entwickeln kann. Daher beantwortet dieser Beitrag vor dem Hintergrund der Mensch-Technik-Interaktion die nachfolgenden Forschungsfragen (FF):

FF1: *Welche Dimensionen und Sub-Dimensionen mit Bezug zur Mensch-Technik-Interaktion sollte ein Digitalisierungs-KPI-Modell für Luftfahrtunternehmen umfassen?*

Basierend auf dem entwickelten KPI-Modell sind anschließend objektiv messbare Indikatoren zur Bestimmung des digitalen Reifegrads zu entwickeln. Somit lautet die zweite Forschungsfrage:

FF2: *Was sind geeignete KPI für die Entwicklung eines Digitalisierungs-Reifegradmodells?*

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wird im Folgenden zunächst auf die zugrundeliegenden Definitionen von der digitalen Transformation in Supply Chains sowie zu KPI-Modellen eingegangen. Anschließend wird das methodische Vorgehen auf dem Weg zur Entwicklung des KPI-Modells beschrieben. Das resultierende KPI-Modell wird im Ergebnisteil erläutert. Abschließend erfolgt eine Zusammenfassung der Kernerkenntnisse, in der sowohl die Implikationen und Limitationen als auch der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt wird.

2. Theoretischer Hintergrund

Zur Entwicklung eines Digitalisierungs-KPI-Modells für Luftfahrtunternehmen ist zunächst ein grundlegendes Verständnis über die Digitalisierung bzw. die digitale Transformation notwendig. Daher werden diese beiden Begriffe eingangs kurz definiert und anschließend die Begriffe KPI und KPI-Modelle erläutert.

2.1. Digitalisierung und digitale Transformation von Supply Chains

Die Begriffe "Digitalisierung" und "digitale Transformation" werden oftmals synonym verwendet. Eine Analyse unterschiedlicher Definitionen ermöglicht jedoch eine trennscharfe Abgrenzung (von See, 2019, S. 20–24), die als Grundlage für den folgenden Beitrag dient. Grundsätzlich wird insbesondere bei den aktuellen Bestrebungen in den Unternehmen mit beiden Konzepten das Ziel verfolgt, die Zukunftsvision der Industrie 4.0 zu erreichen, die sich durch Echtzeitfähigkeit, Selbststeuerung und konsequente Kundenorientierung über alle Wertschöpfungsstufen hinweg auszeichnet (von See, 2019, S. 24).

Der derzeit stark diskutierte Begriff "Digitalisierung" ist kein neues Phänomen, das Konzept hat jedoch mit der in 2013 kommunizierten Hightech-Strategie der Bundesregierung ein gesteigertes Interesse erfahren (von See, 2019, S. 23). Aus technischer Sicht beschreibt die Digitalisierung lediglich die Umwandlung von analogen in digitale Daten (Bitkom, 2016, S. 7; Wolf & Strohschen, 2018, S. 58). Analoge Daten können beispielsweise Temperaturen, Zustände, Sprache oder geschriebener Text sein, die von Computern oder technischen Geräten für die digitale Signalverarbeitung genutzt werden können (Wolf & Strohschen, 2018, S. 58). Aus wirtschaftlicher Sicht beschreibt die Digitalisierung den Einsatz und die Intensivierung der Nutzung von IT und digitalen Technologien in Unternehmen (Brennen & Kreiss, 2016, S. 556). Neben der reinen Computerisierung umfasst sie auch die Konnektivität und damit Vernetzung einzelner Komponenten (Schuh, Anderl, Gausemeier, ten Hompel & Wahlster, 2017, S. 15–16). Die Digitalisierung kann damit als Wegbereiter für die Industrie 4.0 bzw. effizientere Supply Chains verstanden werden (Kersten, von See & Indorf, 2018, S.103; von See, 2019, S. 23–24).

Die Verbesserung existierender und Einführung neuer digitaler Technologien erfordert Veränderungen von Wertschöpfungsprozessen auf Unternehmensebene (Kersten, Schröder & Indorf, 2017, S. 51). Darüber hinaus sind Anpassungen von Unternehmensstrategien basierend auf neuen, digitalen Geschäftsmodellen sowie die Aneignung der notwendigen Kompetenzen und Qualifikationen notwendig (Kersten et al., 2017, S. 51). Dieser zielgerichtete Wandlungsprozess, der sowohl die strategische als auch operative Ebene fokussiert und sich der Digitalisierung als Wegbereiter bedient mit dem Ziel, die Zukunftsvision einer Industrie 4.0 zu erreichen, wird mit dem Begriff der "digitalen Transformation" umschrieben (von See, 2019, S. 24). Bowersox, Closs und Drayer (2005, S. 22–23) heben bereits vor 15 Jahren unter dem Begriff "Digital Business Transformation" hervor, dass eine Anpassung der Geschäftsprozesse notwendig ist, um das Potenzial von digitalen Technologien entlang der gesamten Supply Chain ausschöpfen zu können. Die digitale

Transformation zielt darauf ab, die Flexibilität, Produktivität und Transparenz aller beteiligten Supply Chain Partner zu erhöhen und greift gleichzeitig das sich verändernde Kundenbedürfnis nach digitalen Produkten und Services auf (Kersten et al., 2017, S. 48 u. 51, 2017, S. 51). Eine digitalisierte Supply Chain wird durch die Implementierung von cyber-physischen Systemen (CPS) realisiert, die Software und Elektronik (z. B. Sensoren und Aktoren) in Objekten einbinden und diese mit dem Internet verbinden (Hausladen, 2016, S. 77). Dadurch können sowohl einzelne Maschinen als auch ganze Produktionssysteme mit ihrer Umgebung kommunizieren und somit die physische mit der virtuellen Welt verbinden (Hausladen, 2016, S. 77). Die Erfahrungen von vergangenen Digitalisierungs-Bestrebungen zeigen jedoch, dass rein technikzentrierte Ansätze bei weitem nicht ausreichen (Brödner, 2018, S. 238; Deuse, Weisner, Hengstebeck & Busch, 2015, S. 101–102). Vielmehr ist der Mensch - sowohl in seiner Funktion als Mitarbeiter als auch Kunde - ein zentraler Erfolgsfaktor bei der Umsetzung der digitalen Transformation (Deuse et al., 2015, S. 101; von See, 2019, S. 88 u. 164–165). Demnach erfordert eine digitale Transformation von Supply Chains die ganzheitliche Berücksichtigung der soziotechnischen Perspektive (Brödner, 2018, S. 247; Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013, S. 27–28) und damit der Dimensionen Mensch, Technik und Organisation (Deuse et al., 2015, S. 102; Dregger, Niehaus, Ittermann, Hirsch-Kreinsen & ten Hompel, 2016, S. 3; von See, 2019, S. 74).

Wie eingangs erläutert, sollten Luftfahrtunternehmen, welche die digitale Transformation durch die Einführung neuer Digitalisierungs-Technologien in ihrem Unternehmen weiter vorantreiben möchten, zunächst ihren digitalen Reifegrad bestimmen. Dazu wird ein standardisiertes Digitalisierungs-KPI-Modell benötigt. Daher werden im Folgenden die Begriffe KPI und KPI-Modelle definiert, bevor das entwickelte Modell einführt wird.

2.2. KPI und KPI-Modelle

Key Performance Indikatoren (KPI) sind nach Parmenter (2015, S. 7–8) “die Indikatoren, die sich auf diejenigen Aspekte der unternehmerischen Leistungsfähigkeit fokussieren, die für den gegenwärtigen und zukünftigen Erfolg des Unternehmens am kritischsten sind.” Grundsätzlich erfüllen Indikatoren drei Hauptfunktionen: Kontrolle, Kommunikation und Verbesserung (Franceschini, Galetto & Maisano, 2019, S. 9). Demnach können KPI zur Kontrolle und Kommunikation der Unternehmensperformance an interne und externe Stakeholder dienen sowie zur Identifizierung von Abweichungen zwischen der Ist- und Soll-Leistung genutzt werden. In der Konsequenz dienen KPI der Ableitung und Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen. Um die Leistungsfähigkeit eines Tätigkeitsbereichs, eines Geschäftsbereichs oder eines Unternehmens zu bestimmen, ist ein Grundgerüst an

KPI bzw. ein KPI-Modell erforderlich. In der Literatur werden KPI-Modelle häufig als Leistungsmessungs-Systeme (performance measurement systems) bezeichnet, die ein "Grundgerüst an Kennzahlen zur Quantifizierung der Effizienz und Effektivität von Maßnahmen bereitstellen" (Neely, Gregory & Platts, 1995, S. 80–81).

KPI werden regelmäßig ermittelt und haben einen maßgeblichen Einfluss auf die kritischen Erfolgsfaktoren eines Unternehmens (Parmenter, 2019, S. 15). Daher muss ein Unternehmen basierend auf seiner Unternehmensstrategie und deren Zielen selbst festlegen, ob ein Indikator als Key Performance Indikator definiert wird. Indikatoren, die weniger häufig gemessen werden (z. B. monatlich, viertel- oder halbjährlich) und nicht zentral für den Unternehmenserfolg sind, werden als Performance Indikatoren (PI) bezeichnet (Parmenter, 2019, S. 13). PI komplementieren KPI und sind somit wichtig für den Geschäftsbetrieb. Die Auswahl der relevanten Indikatoren und die Festlegung, ob der Indikator als PI oder als KPI definiert wird, ist ein komplexer Prozess und muss vom Unternehmen individuell festgelegt werden (Franceschini et al., 2019, S. 85). Daher unterscheidet dieser Beitrag nicht zwischen PI und KPI, sondern präsentiert ein umfassendes Modell an Indikatoren (im weiteren Verlauf als KPI bezeichnet). Die finale Auswahl der relevanten (Key) Performance Indikatoren obliegt den zukünftigen Anwendern.

3. Methodisches Vorgehen

Das entwickelte KPI-Modell basiert auf der Kombination aus einem Top-down- und einem Bottom-up-Ansatz (siehe Abbildung 1). Mithilfe eines Top-down-Ansatzes werden relevante Dimensionen und Sub-Dimensionen identifiziert, welche die Struktur des KPI-Modells bilden. Das KPI-Modell wird dabei im Rahmen einer Literaturrecherche zunächst generisch abgeleitet, eine spätere Fokussierung auf die Mensch-Technik-Interaktion erfolgt durch die abschließende Auswahl einzelner relevanter Dimensionen. In der Literaturrecherche finden sowohl wissenschaftliche Literatur als auch internationale Normen und Richtlinien sowie praxisorientierte Branchenberichte und -fachliteratur Berücksichtigung. Es können 42 KPI-Modelle/Reifegradmodelle identifiziert werden. Eine anschließende Analyse der KPI-Modelle hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Bestimmung der digitalen Reife von Luftfahrtunternehmen führt final zu 19 berücksichtigten KPI-Modellen. Eine Detailanalyse dieser Modelle auf ihre Themenschwerpunkte liefert neun Dimensionen und 30 darunterliegende Sub-Dimensionen.

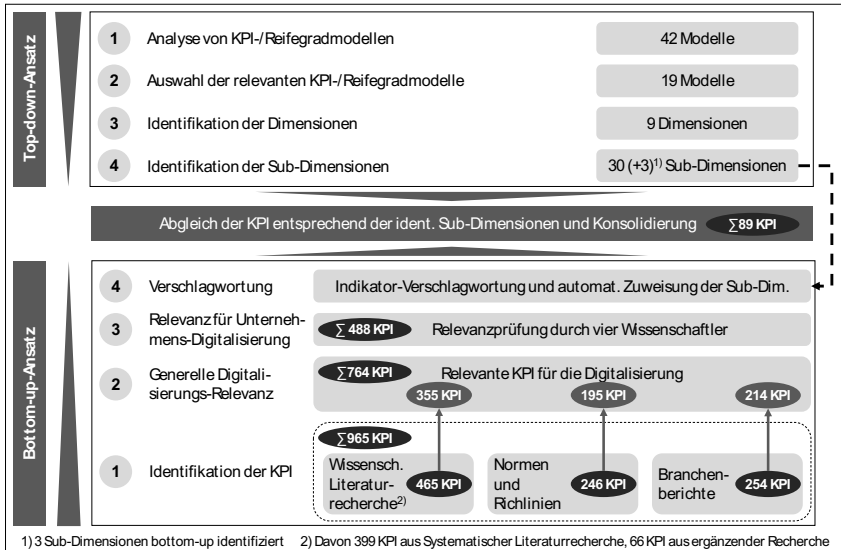


Abbildung 1: Entwicklungsansatz des Digitalisierungs-KPI-Modells

Mit Hilfe eines Bottom-up-Ansatzes werden relevante KPI für die Messung des aktuellen Digitalisierungs-Reifegrads identifiziert. Dieser Ansatz beruht auf einer Systematischen Literaturrecherche (SLR) in Anlehnung an Fink (2014), durch die 399 KPI identifiziert werden können. Der Suchstring sowie die genutzten Datenbanken für die SLR sind der Abbildung 2 zu entnehmen. Das detaillierte Vorgehen der SLR ist in Abbildung 3 dargestellt. Ergänzend werden durch eine zweite wissenschaftliche Literaturrecherche nach dem Schneeballverfahren 66 weitere KPI ermittelt. Somit liefert die Analyse insgesamt 465 KPI aus der wissenschaftlichen Literatur. Neben der wissenschaftlichen Literatur werden, wie auch im Top-down-Ansatz, internationale Normen und Richtlinien sowie Branchenberichte (z. B. Whitepaper von Managementberatungen) einbezogen. Die Analyse dieser Dokumente liefert 246 KPI aus den Normen und Richtlinien sowie 254 KPI aus den Branchenberichten. Somit können insgesamt 965 KPI aus der Literatur abgeleitet werden (vgl. Abbildung 1).

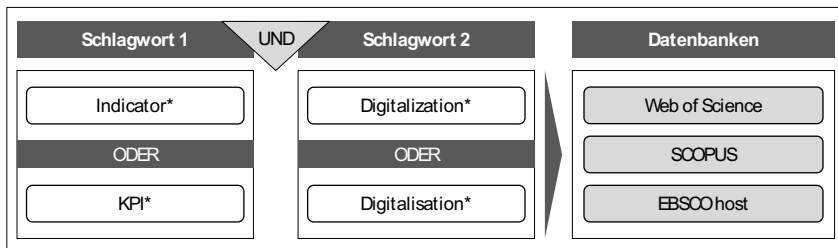


Abbildung 2: Suchstring und Quellen der Systematischen Literaturrecherche

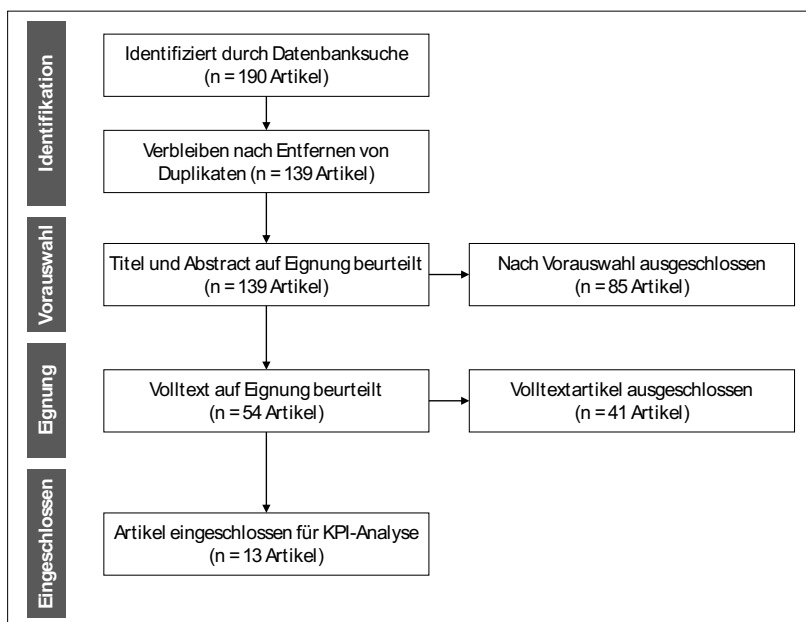


Abbildung 3: Flowchart der Systematischen Literaturrecherche

Im zweiten Schritt werden die KPI auf ihre generelle Relevanz für die Digitalisierung hin untersucht, was zum Ausschluss von 201 nicht relevanten KPI führt (vgl. Abbildung 1). Anschließend wird für die verbleibenden 764 KPI drittens eine Relevanzprüfung durch vier Wissenschaftler unabhängig voneinander durchgeführt. Jeder Indikator wird basierend auf der Frage "Ist der KPI für die digitale Transformation in der Luftfahrtindustrie relevant?" einzeln geprüft. Ein Indikator wird in das KPI-Modell inkludiert, wenn mindestens eine Dreiviertelmehrheit erreicht wird. Die verbleibenden Indikatoren, die keinen Konsens erzielen, werden in zwei

Workshops von den Wissenschaftlern diskutiert. Basierend auf dieser Prüfung werden 488 KPI in die finale Auswahl zur Entwicklung des KPI-Modells eingeschlossen.

Der Bottom-up-Ansatz wird viertens durch eine Schlagwort-Zuordnungsmethodik mit dem Top-Down-Ansatz verknüpft (siehe Abbildung 4). Basierend auf ihrem Text werden allen 488 KPI aus dem Bottom-Up-Ansatz drei Schlagwörter zugewiesen. Gleichzeitig werden alle 33 Sub-Dimensionen aus dem Top-Down-Ansatz entsprechend ihrer Definition mit Schlagwörtern in einer Zuordnungsmatrix versehen. Mithilfe eines Excel-basierten Makros werden den KPI basierend auf ihren zugeordneten drei Schlagwörtern automatisch die entsprechende Sub-Dimension zugewiesen. Durch diese Methodik können 446 KPI vollautomatisch klassifiziert werden. 42 KPI, die basierend auf ihren Schlagworten keine eindeutige Sub-Dimensionen erhalten, werden anschließend manuell klassifiziert. Alle zugewiesenen Sub-Dimensionen werden zudem einzeln durch zwei Wissenschaftler geprüft und gegebenenfalls angepasst. Zuletzt werden inhaltlich verwandte KPI in jeder Sub-Dimension gruppiert und zu 89 aussagekräftigen, messbaren KPI entwickelt.

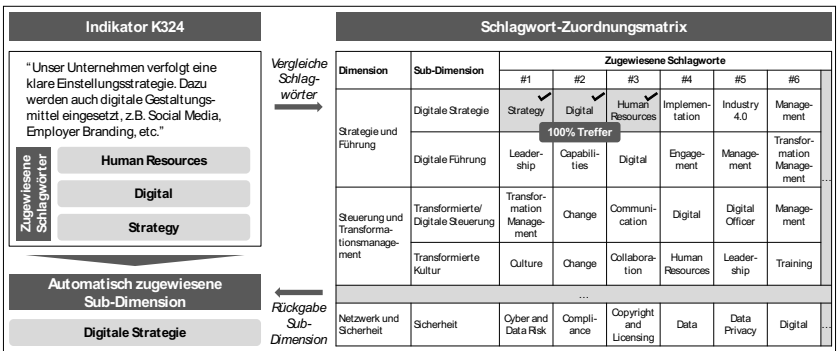


Abbildung 4: Schlagwort-Zuordnungsmethodik (Beispiel für Indikator K324)

Darüber hinaus können durch den Bottom-up-Ansatz drei weitere Sub-Dimensionen identifiziert werden, die nicht durch die 19 analysierten KPI- bzw. Reifegradmodelle abgedeckt werden. Daher werden diese Sub-Dimensionen zu den 30 Sub-Dimensionen hinzugefügt.

4. Ergebnisse

Im Rahmen der ersten Forschungsfrage konnte ein strukturiertes Digitalisierungs-KPI-Modell für Luftfahrtunternehmen entwickelt werden, welches in seiner übergeordneten Strukturierung in Krol, Saeed und Kersten (im Druck) vorgestellt

wird. Es umfasst die identifizierten Dimensionen Strategie und Führung, Steuerung und Transformationsmanagement, Digitalkompetenzen/Humankapital, intelligente Produkte, digitaler Kundenfokus, intelligente Prozesse, digitale Technologien, Finanzen sowie Netzwerk und Sicherheit. Gemäß der Prämisse, sowohl humane als auch technische Aspekte bei der digitalen Transformation in der Organisation zu berücksichtigen (Deuse et al., 2015, S. 102), erfolgt in diesem Beitrag eine Fokussierung auf diejenigen Dimensionen, die einen klaren Bezug zur Mensch-Technik-Interaktion haben (siehe Abbildung 5). Dementsprechend werden von den insgesamt neun identifizierten Dimensionen des Digitalisierungs-KPI-Modells die Folgenden erläutert:

- Dimension 1: Strategie und Führung
- Dimension 3: Digitalkompetenzen/Humankapital
- Dimension 6: Intelligente Prozesse

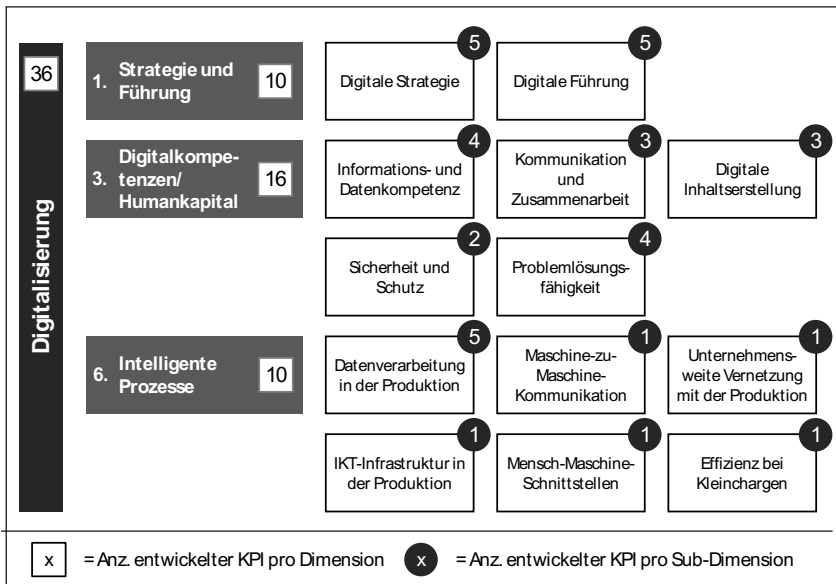


Abbildung 5: Struktur des Digitalisierungs-KPI-Modells

Im Folgenden werden die jeweiligen Dimensionen und darunterliegenden Sub-Dimensionen kurz erläutert. Basierend auf der zweiten Forschungsfrage werden jeweils im Anschluss daran die entwickelten 36 KPI vorgestellt.

Dimension 1: Strategie und Führung

Die Dimension "Strategie und Führung" beschreibt die Fähigkeit eines Unternehmens, neue Geschäftsmodelle zu entwickeln und zu implementieren (Lichtblau et al., 2015, S. 29), um das Unternehmen strategisch auf die Herausforderungen der Digitalisierung auszurichten (Berghaus, Back & Kaltenrieder, 2017, S. 29). Daher sind die zielgerichtete Allokation und Ausrichtung der geeigneten digitalen Kompetenzen und Ressourcen von hoher Bedeutung.

Sub-Dimension 1.1: Digitale Strategie

Eine digitale Strategie verknüpft Informationssysteme mit Managementstrategien und Geschäftsmodellen, um disruptiven technologischen Entwicklungen und Veränderungen im Kundenverhalten gerecht zu werden (Azhari, Faraby, Rossmann, Steimel & Wichman, 2014, S. 39; Deloitte, 2018, S. 10; Wasposito, Ratnawati & Halifi, 2018, S. 1). Daher sollte eine digitale Strategie transparent, leicht verständlich sein und im gesamten Unternehmen klar kommuniziert werden (Azhari et al., 2014, S. 39; KPMG, 2016). Digitale Strategien verfolgen das Ziel, neue digitale Technologien einzuführen, um nachhaltige Leistungssteigerungen und höhere Wettbewerbsfähigkeit zu generieren (Berghaus et al., 2017, S. 27; BSP Business School Berlin, 2016, S. 8). In Tabelle 1 sind die relevanten KPI für die Sub-Dimension "Digitale Strategie" zu finden.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D1.1.1	Ist Ihre digitale Strategie dokumentiert, regelmäßig aktualisiert und wird sie allen Mitarbeitern transparent kommuniziert?	[2]; [17]
D1.1.2	Ist eine strategische Roadmap bzw. ein Strategieprozess für die digitale Transformation Teil der Unternehmensstrategie?	[2]; [3]; [17]; [22]
D1.1.3	Wird der Umsetzungsstand Ihrer digitalen Strategie in regelmäßigen Abständen gemessen und verfolgt (z. B. durch Indikatoren)?	[2]; [15]; [18]
D1.1.4	Hat Ihr Unternehmen ausreichende Mittel (z. B. finanzielle Mittel, Personal) und eine klare Einstellungs-Strategie, um die digitale Strategie umzusetzen?	[2]; [16]; [19]
D1.1.5	Ist die digitale Kompetenz ein zentraler Bestandteil in Ihrer Personalentwicklungsstrategie?	[2]; [3]

Tabelle 1: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Digitale Strategie“

Sub-Dimension 1.2: Digitale Führung

Digitale Führung integriert den digitalen Wandel in bestehende Führungskonzepte (Buhse, 2014, S. 230). Das mittlere und Top-Management sollte den Umgang mit neuen Technologien erlernen und eine Unternehmenskultur fördern, die Mitarbeiter zur Einbringung neuer Ideen, Innovationen und Organisationsentwicklung ermutigt (Azhari et al., 2014, S. 39; EFQM, 2012, S. 6). Um die Mitarbeiter von der Notwendigkeit des digitalen Wandels zu überzeugen, sollte das Ma-

nagement selbst eine Vorbildfunktion und Vorreiterrolle übernehmen (BSP Business School Berlin, 2016, S. 7; EFQM, 2012, S. 6; Stowasser & Peschl, 2019, S. 147). Die relevanten KPI für die Sub-Dimension "Digitale Führung" sind in Tabelle 2 zu finden.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D1.2.1	Besitzt Ihr Unternehmen die Fähigkeit, mögliche Lücken im Bereich der Digitalkompetenz aufzudecken und zu schließen?	[17]; [24]
D1.2.2	Betreibt Ihr Unternehmen eine konsistente kanalübergreifende (online und offline) operative Führung mit externen Stakeholdern?	[3]; [11]
D1.2.3	Entwickelt Ihr Unternehmen seine Führungskultur kontinuierlich weiter und werden diese Entwicklungen sowohl dokumentiert als auch kommuniziert?	[2]; [16]
D1.2.4	Arbeitet Ihr oberes Management an einer Verbesserung des Managementsystems und dessen Performance und steuert diesen Wandel effektiv?	[3]; [11]; [20]
D1.2.5	Entwickelt Ihr mittleres Management die Mission, Vision, Werte sowie das Leitbild und agiert als Vorbild für seine Mitarbeiter?	[3]; [11]; [22]

Tabelle 2: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Digitale Führung“

Dimension 3: Digitalkompetenzen/Humankapital

Die Digitalkompetenzen bzw. das Humankapital sind der zentrale Bestandteil für den Erfolg der digitalen Transformation eines Unternehmens (BSP Business School Berlin, 2016, S. 7; Geissbauer, Vedso & Schrauf, 2016, S. 9). Dafür müssen Mitarbeiter über relevante Kenntnisse in der Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) verfügen, aber auch die Bereitschaft zum lebenslangen Lernen, Offenheit für neue Technologien und interdisziplinäres Denken mitbringen (BSP Business School Berlin, 2016, S. 7; Dombrowski, Wullbrandt & Fochler, 2019, S. 22; European Commission, 2019; Kotarba, 2017, S. 127; Lichtblau et al., 2015, S. 52; Schumacher, Erol & Sihm, 2016, S. 164). Unternehmen müssen spezifische Fort- und Weiterbildungsmaßnahmen sowie Gestaltungsfreiheiten und Autonomie ermöglichen, um Mitarbeiter zu entwickeln und fördern, aber auch um neue Mitarbeiter zu gewinnen (Azhari et al., 2014, S. 39; Geissbauer et al., 2016, S. 9; KPMG, 2016, S. 4; Lichtblau et al., 2015, S. 52; Schumacher et al., 2016, S. 164).

Sub-Dimension 3.1: Informations- und Datenkompetenz

Informations- und Datenkompetenz umfasst die Fähigkeit, digitale Daten, Informationen und Inhalte abzurufen und zu analysieren (Carretero, Vuorikari & Punie, 2017, S. 19). Somit umfassen diese Fähigkeiten die grundlegenden IT-Fähigkeiten, z. B. Internetnutzung, die für das Arbeiten in einer digitalisierten Umgebung notwendig sind. Die KPI für die Sub-Dimension "Informations- und Datenkompetenz" sind in Tabelle 3 dargestellt.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D3.1.1	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die am Arbeitsplatz einen Computer nutzen (inkl. Tablets und Smartphones)	[6]; [10]; [15]; [17]; [19]; [26]
D3.1.2	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die das Internet nutzen	[5]; [13]; [15]; [17]; [25]
D3.1.3	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die über grundlegende Digitalkompetenzen verfügen (z. B. Internetnutzung, Dateien und Ordner kopieren und durchsuchen, Daten suchen und bewerten, Formeln in Tabellenkalkulationen verwenden)	[4]; [9]; [12]; [15]; [17]; [24]
D3.1.4	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern im IKT-Sektor (inkl. Software, Hardware, Telekommunikation, verbundene Dienstleistungen)	[7]

Tabelle 3: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Informations- und Datenkompetenz“

Sub-Dimension 3.2: Kommunikation und Zusammenarbeit

Kommunikations- und Kollaborationsfähigkeiten umfassen die Fähigkeit, mit Hilfe digitaler Technologien zu kommunizieren und zusammenzuarbeiten (Berghaus et al., 2017, S. 33; Carretero et al., 2017, S. 11; IBF Intranet Benchmarking Forum, 2010, S. 11). Diese Fähigkeiten unterstützen flexible Arbeitsformen, die Suche nach Wissen und den Austausch von Ideen mit anderen Mitarbeitern sowie in der gesamten Wertschöpfungskette (Berghaus et al., 2017, S. 33; IBF Intranet Benchmarking Forum, 2010, S. 11; Nabitz, Klazinga & Walburg, 2000, S. 13). In Tabelle 4 sind die relevanten KPI für die Sub-Dimension "Kommunikation und Zusammenarbeit" zu finden.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D3.2.1	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die mittels Digitaltechnologien zusammenarbeiten, z. B. durch Interaktion und Teilen von Daten auf digitalen Kollaborationsplattformen	[3]; [14]; [22]; [24]
D3.2.2	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die digitale Kommunikationstools nutzen, z.B. Videoanrufe und soziale Netzwerke	[17]; [22]
D3.2.3	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die das Internet zur Kommunikation nutzen, z. B. Senden/Empfangen von Emails, Videoanrufe, Messenger Dienste, soziale Netzwerke	[12]

Tabelle 4: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Kommunikation und Zusammenarbeit“

Sub-Dimension 3.3: Digitale Inhaltserstellung

Die Sub-Dimension "Digitale Inhaltserstellung" umfasst Fähigkeiten, um digitale Informationen und Inhalte zu erstellen, zu bearbeiten und in die Geschäftsprozesse zu integrieren (Carretero et al., 2017, S. 11 u. 33). Diese Fähigkeiten umfassen auch die Wertschöpfung aus Daten durch die Anwendung von Datenanalyse-

Technologie (Geissbauer et al., 2016, S. 17; Lichtblau et al., 2015, S. 54). Die relevanten KPI für die Sub-Dimension "Digitale Inhaltserstellung" sind in Tabelle 5 dargestellt.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D3.3.1	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die Werkzeuge zum Analysieren und Entwickeln von digitalen Inhalten verwenden, um das Tagesgeschäft zu unterstützen	[2]; [17]; [24]
D3.3.2	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern mit besonderer Digitalkompetenz (z. B. IKT-Spezialisten, MINT-Absolventen, Programmierer)	[2]; [3]; [9]; [17]; [21]; [22]; [24]
D3.3.3	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die aus Daten wertvolle Erkenntnisse gewinnen können, z. B. durch Verbindung und Neuauswertung von digitalen Inhalten	[20]; [24]

Tabelle 5: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Digitale Inhaltserstellung“

Sub-Dimension 3.4: Sicherheit und Schutz

Sicherheitskompetenzen in einem digitalisierten Humanressourcenkontext beziehen sich auf den Schutz der physischen und psychischen Gesundheit der Mitarbeiter in der veränderten Arbeitsumgebung (Carretero et al., 2017, S. 11 u. 38; EFQM, 2012, S. 13). Die Mitarbeiter müssen sich der Auswirkungen der digitalen Technologien auf das soziale Wohlbefinden bewusst sein (Vuorikari, R., Punie, Y., Carretero Gomez S. & Van den Brande, G., 2016, S. 9) und eine Kultur der gegenseitigen Unterstützung und Vielfalt respektieren und unterstützen (EFQM, 2012, S. 13). In Tabelle 6 sind die relevanten KPI für die Sub-Dimension "Sicherheit und Schutz" abgebildet.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D3.4.1	Sind Ihren Mitarbeitern wichtige IT-Sicherheitsvorschriften (z. B. Privatsphäre und Schutz personenbezogener Daten, Verwaltung digitaler Identitäten, Netiquette) bekannt und werden diese regelmäßig evaluiert (z. B. durch externe Audits)?	[3]; [20]; [24]
D3.4.2	Hat Ihr Unternehmen definierte Regeln und Handlungsempfehlungen, um das Wohlbefinden und die Gesundheit der Mitarbeiter zu gewährleisten?	[24]

Tabelle 6: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Sicherheit und Schutz“

Sub-Dimension 3.5: Problemlösefähigkeit

Mithilfe dieser Fähigkeiten können Mitarbeiter Probleme in einer digitalen Umgebung selbstständig lösen (Carretero et al., 2017, S. 11 u. 40). Diese Fähigkeiten umfassen neben technischem Wissen auch Systemdenken und Prozessverständnis (Lichtblau et al., 2015, S. 54). Um Problemlösefähigkeiten zu entwickeln und

auf dem neuesten Stand zu bleiben, sind kontinuierliche Ausbildung und Schulung erforderlich (Lichtblau et al., 2015, S. 52). Die relevanten KPI für die Sub-Dimension "Problemlösefähigkeit" sind in Tabelle 7 dargestellt.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D3.5.1	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die Online-Kurse belegen und das Internet für Trainings- oder Bildungszwecke nutzen	[1]; [12]; [17]
D3.5.2	Bietet Ihr Unternehmen seinen Mitarbeitern kontinuierliche Weiterbildungsmaßnahmen zur Entwicklung der Digitalkompetenzen an?	[2]; [16]; [25]
D3.5.3	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern, die eine industriespezifische Weiterbildung für die entsprechenden digitalen Anforderungen durchlaufen (z. B. IT-Infrastruktur, Automatisierungstechnologie, Datenanalyse, Datensicherheit/Kommunikationssicherheit, Entwicklung und Anwendung von Assistenzsystemen, Kollaborationssoftware, Prozessverständnis)	[2]; [10]; [18]
D3.5.4	Prozentualer Anteil an Mitarbeitern mit IKT-Problemlösungsfähigkeiten (z. B. Verbindung und Einrichtung neuer IKT-Geräte)	[12]; [24]

Tabelle 7: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Problemlösefähigkeit“

Dimension 6: Intelligente Prozesse

Intelligente Prozesse sind die Voraussetzung für die Vernetzung der horizontalen und vertikalen Lieferkette (Lichtblau et al., 2015, S. 39 u. 68). Prozesse sollten automatisiert, dezentralisiert und durchgängig gestaltet werden, wobei alle Systeme integriert und alle Komponenten zu berücksichtigen sind (Berghaus et al., 2017, S. 31; EFQM, 2012, S. 16; Lichtblau et al., 2015, S. 39 u. 66-67; Schumacher et al., 2016, S. 164). Daher ist es entscheidend, Prozesse nicht nur innerhalb des eigenen Unternehmens, sondern entlang der gesamten Wertschöpfungskette vom Lieferanten bis zum Kunden zu vernetzen (Lichtblau et al., 2015, S. 39).

Sub-Dimension 6.1: Datenverarbeitung in der Produktion

Datenverarbeitung in der Produktion ist erforderlich, um die physische Produktionsausrüstung der Fabrik mit der virtuellen Welt zu verbinden (Lichtblau et al., 2015, S. 13). Daten aus der Produktion werden für die autonome Planung und Steuerung des Produktionsprozesses gesammelt, gespeichert und verarbeitet. (IHK München und Oberbayern, 2015; Lichtblau et al., 2015, S. 13; VDMA, 2016, S. 16). Die KPI für die Sub-Dimension "Datenverarbeitung in der Produktion" sind in Tabelle 8 enthalten.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.1.1	Nutzt Ihr Unternehmen Erkenntnisse aus Daten und Informationen, die in der Produktion generiert werden können?	[3]; [8]; [16]; [18]; [22]; [23]

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.1.2	Reagieren Produktionsprozesse in Ihrem Unternehmen schnell bzw. automatisch in Echtzeit?	[16]; [18]
D6.1.3	Haben Sie Anwendungsfälle in Ihrer Produktion, in denen sich Werkstücke autonom selbst leiten?	[18]
D6.1.4	Beruht der Einkauf in Ihrem Unternehmen auf hochwertigen Stammdaten?	[16]
D6.1.5	Stellt Ihr Unternehmen die Kontrolle und Konsistenz aller Materialstammdaten sicher?	[16]

Tabelle 8: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Datenverarbeitung in der Produktion“

Sub-Dimension 6.2: Maschine-zu-Maschine-Kommunikation

Die Maschine-Maschine-Kommunikation wird durch Datenschnittstellen, z. B. Feldbus-, Ethernet- und Web-Schnittstellen, ermöglicht, was den autonomen Informationsaustausch erleichtert (VDMA, 2016, S. 15). Auf diese Weise können Information und Standort voneinander getrennt werden, wodurch es möglich wird, Verknüpfungen der Produktionen zwischen Unternehmen in der Wertschöpfungskette herzustellen (IHK München und Oberbayern, 2015; VDMA, 2016, S. 15). In Tabelle 9 ist die KPI für die Sub-Dimension "Maschine-zu-Maschine-Kommunikation" enthalten.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.2.1	Verwendet Ihr Unternehmen die Maschine-zu-Maschine (M2M)-Kommunikation in der Produktionsumgebung?	[16]; [18]; [23]

Tabelle 9: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Maschine-zu-Maschine-Kommunikation“

Sub-Dimension 6.3: Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion

Um effiziente und standardisierte Arbeitsabläufe zu entwickeln, sind Vernetzung und Datenaustausch nicht nur innerhalb der Produktion, sondern auch zwischen der Produktion und anderen Unternehmensfunktionen erforderlich (Dombrowski et al., 2019, S. 27; VDMA, 2016, S. 15). Durch die Verwendung konsistenter Dateiformate und einheitlicher IT-Lösungen können Geschäftseinheiten wie die Beschaffung oder der Vertrieb Produktionsdaten mit ihren Informationen und Daten verknüpfen (IHK München und Oberbayern, 2015; VDMA, 2016, S. 15). Tabelle 10 enthält die KPI für die Sub-Dimension "Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion".

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.3.1	Teilt Ihre Produktion Informationen mit anderen Geschäfts- oder Zentralbereichen?	[16]; [18]; [23]

Tabelle 10: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion“

Sub-Dimension 6.4: IKT-Infrastruktur in der Produktion

Der Austausch von Produktionsdaten zwischen Partnern innerhalb der Wertschöpfungskette erfordert eine zuverlässige und konsistente Informations- und Telekommunikationsinfrastruktur in der Produktion (IHK München und Oberbayern, 2015; VDMA, 2016, S. 15). Die IKT-Infrastruktur in der Produktion ist eine zentrale Voraussetzung für die Implementierung von Anwendungen, die auf technische und organisatorische Prozessverbesserungen abzielen (VDMA, 2016, S. 15). Die identifizierte KPI für die Sub-Dimension „IKT-Infrastruktur in der Produktion“ ist in Tabelle 11 abgebildet.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.4.1	Wie fortgeschritten entwickelt ist die IKT-Infrastruktur Ihrer Produktionsausstattung?	[3]; [16]; [17]; [22]; [23]

Tabelle 11: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „IKT-Infrastruktur in der Produktion“

Sub-Dimension 6.5: Mensch-Maschine-Schnittstellen

Innovative Mensch-Maschine-Schnittstellen ermöglichen es den Mitarbeitern, die relevanten Informationen der Produktionseinheiten zur richtigen Zeit am richtigen Ort zu erhalten (IHK München und Oberbayern, 2015; VDMA, 2016, S. 15). Daher sollten Unternehmen mobile Endgeräte wie Tablets oder Datenbrillen bereitstellen, die die betrieblichen Abläufe vereinfachen und die Produktionseffizienz steigern (IHK München und Oberbayern, 2015). In Tabelle 12 ist die KPI für die Sub-Dimension "Mensch-Maschine-Schnittstellen" abgebildet.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.5.1	Verwendet Ihr Unternehmen Mensch-Maschine-Schnittstellen in der Produktionsumgebung?	[8]; [16]; [23]

Tabelle 12: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Mensch-Maschine-Schnittstellen“

Sub-Dimension 6.6: Effizienz bei Kleinchargen

Die Kundenanforderung nach hochgradig individualisierten Waren führt zu kleinen Losgrößen, die eine höhere Komplexität der Produktionsprozesse implizieren (VDMA, 2016, S. 15). Dies gilt insbesondere für Luftfahrtunternehmen, in der heute noch häufig in Einzelfertigung produziert wird (Hansen, 2016). Somit wird eine hohe Effizienz bei kleinen Chargen, bzw. niedrigen Losgrößen entscheidend für die Wettbewerbsfähigkeit von produzierenden Luftfahrtunternehmen. Der Produktionsprozess muss daher flexibel und modular gestaltet werden, wobei die Produktionsplanung eng mit der Auftragsplanung und -abwicklung verknüpft werden muss (IHK München und Oberbayern, 2015). Die KPI der Sub-Dimension "Effizienz bei Kleinchargen" ist in Tabelle 13 enthalten.

Nr.	Key Performance Indikator (KPI)	Quellen
D6.6.1	Nutzt Ihr Unternehmen flexible Produktionssysteme, um selbst Kleinchargen effizient herzustellen?	[16]; [23]

Tabelle 13: Identifizierte KPI für die Sub-Dimension „Effizienz bei Kleinchargen“

5. Zusammenfassung

Abschließend werden Implikationen der erzielten Forschungsergebnisse betrachtet. Darüber hinaus werden Einschränkungen dargestellt, die mit dem gewählten Forschungsdesign einhergehen, und weitere Forschungsmöglichkeiten und mögliche Weiterentwicklungen des Digitalisierungs-KPI-Modells skizziert.

5.1. Implikationen

Dieser Beitrag stellt ein wissenschaftlich fundiertes Digitalisierungs-KPI-Modell vor, welches für alle Partner in den Lieferketten der Luftfahrtindustrie anwendbar ist. Er leistet einen Beitrag zur bestehenden Theorie, indem ein bereichsübergreifendes Digitalisierungs-KPI-Modell bereitgestellt wird, das sich insbesondere auf die soziotechnischen Dimensionen der digitalen Transformation fokussiert. Auf diese Weise finden sowohl technologische, sicherheits- und strategiebezogene als auch organisatorische und humanbezogene Aspekte in ihrem Wirkgeflecht Berücksichtigung. Somit wird Anwendern aus Praxis und Wissenschaft eine ganzheitliche Grundlage für die Bewertung der digitalen Reife von Unternehmen geboten. Diese fußt auf dezidierten quantitativen sowie qualitativen KPI, welche nicht nur eine einmalige Status Quo-Bewertung in den Unternehmen ermögli-

chen, sondern auch ein handlungsleitendes, nachhaltiges Vorschreiten der digitalen Transformation in den Unternehmen unterstützen (Reinhard et al., 2020, S. 50). Die vorgestellten soziotechnischen Dimensionen des Digitalisierungs-KPI-Modells inklusive der zugehörigen KPI können in bestehende oder neue Reifegradmodelle integriert werden und diese um Digitalisierungsaspekte erweitern. Auf diese Weise sind Luftfahrtunternehmen sowohl bei der Einführung neuer Technologien als auch der Anpassung bestehender Geschäftsprozesse in der Lage soziotechnische Aspekte der digitalen Transformation strukturiert zu berücksichtigen. Somit schafft das entwickelte Modell eine essenzielle Grundlage für die Wettbewerbsfähigkeit und den Fortbestand ihrer Anwender.

Zwar erfolgte bei der Auswahl sowohl der analysierten existierenden Reifegradmodelle als auch der Indikatoren eine Berücksichtigung, ob diese für die Luftfahrtindustrie von Relevanz sind, dies führte jedoch nicht zu einem Digitalisierungs-KPI-Modell, welches ausschließlich von Luftfahrtunternehmen angewendet werden kann. Während einige Dimensionen einen eindeutigen branchenübergreifenden Charakter aufweisen (bspw. Digitale Führung oder Digitale Inhalterstellung), wird bei anderen der Luftfahrtindustriebezug deutlicher (bspw. Effizienz bei Kleinchargen). Mit Einschränkungen ist das Modell somit branchenübergreifend einsetzbar sowie erweiterbar.

Reifegradmodelle können des Weiteren für einen standardisierten Benchmarking-Prozess genutzt werden. So können Manager die digitale Reife ihres eigenen Unternehmens bewerten, aber auch die Ergebnisse mit Peer-Gruppen oder vor- und nachgelagerten Supply Chain Partnern vergleichen. Gerade vor dem Hintergrund der fortschreitenden Konsolidierung der Lieferketten in der Luftfahrtindustrie und des zunehmenden Drucks auf Tier-2- und Tier-3-Zulieferer könnte eine ausgeprägte digitale Reife in Zukunft ein wichtiges Auswahlkriterium für Luftfahrt-OEM und damit ein Wettbewerbsvorteil für KMU werden. Zudem ebnet eine hohe digitale Reife über alle Supply Chain Partner hinweg den Weg zur transparenten, vernetzten Wertschöpfungskette (Kersten, Seiter, von See, Hackius & Maurer, 2017, S. 39).

5.2. Limitationen und weiterer Forschungsbedarf

Auch wenn die Forschungsarbeit auf einer definierten Methodik fundiert, ist dieser Beitrag mit einigen Einschränkungen verbunden. Erstens ist die verfügbare wissenschaftliche Literatur aufgrund der Aktualität und Neuartigkeit des Themas derzeit noch begrenzt. Um ein umfassendes Digitalisierungs-KPI-Modell zu entwickeln, war es dringend erforderlich, graue Literatur wie Firmenberichte sowie Branchenrichtlinien und -studien einzubeziehen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Kombination von wissenschaftlicher und grauer Literatur zu einer Erhö-

hung der Qualität des KPI-Modells und Steigerung der Anwendbarkeit für potenzielle Nutzer beigetragen hat. Zweitens wurde das entwickelte Digitalisierungs-KPI-Modell in der Praxis trotz Diskussion in einer Fokusgruppe noch nicht hinreichend validiert. Daher können nur bedingt Aussagen über die Anwendbarkeit oder praktische Messbarkeit des entwickelten Modells getroffen werden. Drittens wird in diesem Beitrag davon ausgegangen, dass alle Indikatoren KPI sind. Wie im Abschnitt 2.2 dargelegt wurde, können einige Indikatoren auch als PI betrachtet werden, was jedoch für den Benutzer sehr individuell ist. Schließlich wird in diesem Beitrag ein soziotechnisches Digitalisierungs-KPI-Modell vorgestellt, wobei die (Sub-) Dimensionen möglicherweise nicht klar voneinander abgegrenzt sind, sondern sich in ihrer Bedeutung überschneiden. Dies ist in Nachfolgearbeiten zu berücksichtigen.

Grundsätzlich ist, wie bereits in Abschnitt 5.1 erläutert, festzuhalten, dass das entwickelte Digitalisierungs-KPI-Modell noch keinen eindeutigen Branchenbezug zur Luftfahrtindustrie aufweist. Jedoch bietet das Modell eine wissenschaftliche Grundlage für die Entwicklung eines Digitalisierungs-Reifegradmodells für produzierende Luftfahrtunternehmen. Basierend auf einem einzelnen KPI oder einer Teilmenge von KPI können in Zusammenarbeit mit Luftfahrtexperten luftfahrt-spezifische digitale Reifegrade entwickelt werden. Dementsprechend bilden Workshops oder Fokusgruppen eine geeignete Methodik zur Weiterentwicklung des Modells. Darüber hinaus haben die Diskussionen während der Fokusgruppe gezeigt, dass die Bedeutung der verschiedenen Dimensionen unterschiedlich wahrgenommen wird. Es erscheint deshalb empfehlenswert, bei der Entwicklung eines zukünftigen Reifegradmodells einen Gewichtungsvektor/Ansatz zu bestimmen, z. B. auf der Grundlage eines paarweisen Vergleichs jeder (Sub-) Dimension. Eine weitere Forschungsmöglichkeit ist die erneute Überprüfung der wahrgenommenen Bedeutung von KPI, z. B. in einer quantitativen, groß angelegten Studie mit Luftfahrtexperten. Neben einer höheren Validität der bewerteten Bedeutung könnte diese Studie auch Hinweise darauf liefern, ob es sich bei den Indikatoren um KPI oder PI handelt.

Da die hier dargestellten Ergebnisse auf Literaturanalysen basieren, ist geplant, das entwickelte Digitalisierungs-KPI-Modell gemeinsam mit Experten aus der Luftfahrtindustrie zu diskutieren und gegebenenfalls zu verfeinern, um eine bessere praktische Anwendbarkeit und Messbarkeit zu gewährleisten.

Danksagung

Das vorgestellte Digitalisierungs-KPI-Modell ist Bestandteil des deutsch-kanadischen Forschungsprojektes DIMLA (Digitalization and Internationalization Maturity Level in Aerospace). Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Projektträger Jülich (PtJ) herzlich für die Projektförderung.

Literaturverzeichnis

- Azhari, P., Faraby, N., Rossmann, A., Steimel, B. & Wichman, K. S. (2014). Digital Transformation Report (neuland digital vision & transformation, Hrsg.). Köln. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://www.wiwo.de/downloads/10773004/1/DTA_Report_neu.pdf
- Berghaus, S., Back, A. & Kaltenrieder, B. (2017). Digital Maturity & Transformation Report 2017 (Institut für Wirtschaftsinformatik (IWI-HSG), Universität St.Gallen, Hrsg.). St. Gallen. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://crosswalk.ch/digital-maturity-and-transformation-report>
- Bitkom (Hrsg.). (2016). Industrie 4.0 – Status und Perspektiven. Berlin. Zugriff am 20.02.2020. Verfügbar unter <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/160421-LF-Industrie-40-Status-und-Perspektiven.pdf>
- Bowersox, D. J., Closs, D. J. & Drayer, R. W. (2005). The Digital Transformation: Technology and Beyond. Supply Chain Management Review, 9(1), 22–29.
- Brennen, J. S. & Kreiss, D. (2016). Digitalization. In K. Jensen, R. T. Craig, J. Pooley & E. W. Rothenbuhler (Hrsg.), The international encyclopedia of communication theory and philosophy (The Wiley Blackwell-ICA international encyclopedias of communication, S. 556–566). Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc.
- Brödnér, P. (2018). Industrie 4.0 und Big Data – wirklich ein neuer Technologieschub? In H. Hirsch-Kreinsen, P. Ittermann & J. Niehaus (Hrsg.), Digitalisierung industrieller Arbeit (S. 323–346). Nomos Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG. <https://doi.org/10.5771/9783845283340-322>
- BSP Business School Berlin. (2016). Mittelstand im Wandel - Wie ein Unternehmen seinen digitalen Reifegrad ermitteln kann. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter http://kommunikation-mittelstand.digital/content/uploads/2017/01/Leitfaden_Ermittlung-digitaler-Reifegrad.pdf
- Buhse, W. (2014). Management by Internet. Neue Führungsmodelle für Unternehmen in Zeiten der digitalen Transformation; Unternehmen im Wandel, digitale Medien als Werkzeugkoffer für Veränderer, Vernetzung, Offenheit, Partizipation und Agilität als Werte einer neuen Unternehmenskultur. Kulmbach: Plassen.
- Carretero, S., Vuorikari, R. & Punie, Y. (2017). DigComp 2.1. The digital competence framework for citizens with eight proficiency levels and examples of use (EUR, Scientific and technical research series, Bd. 28558). Luxembourg: Publications Office.

- Deloitte. (2018). Digital Maturity Model. Achieving digital maturity to drive growth. Deloitte. Zugriff am 16.11.2018. Verfügbar unter <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Technology-Media-Telecommunications/deloitte-digital-maturity-model.pdf>
- Deuse, J., Weisner, K., Hengstebeck, A. & Busch, F. (2015). Gestaltung von Produktionssystemen im Kontext von Industrie 4.0. In A. Borthof & E. Hartmann (Hrsg.), *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (Bd. 108, S. 99–109). Berlin: Springer Vieweg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-45915-7_11
- Dombrowski, U., Wullbrandt, J. & Fochler, S. (2019). Kompetenzentwicklung in der digitalen Transformation: dezentrales und lebenslanges Lernen im Arbeitsprozess. In D. Spath & B. Spanner-Ulmer (Hrsg.), *Digitale Transformation – Gutes Arbeiten und Qualifizierung aktiv gestalten* (Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation, S. 21–50). Berlin: GITO Verlag.
- Dregger, J., Niehaus, J., Ittermann, P., Hirsch-Kreinsen, H. & ten Hompel, M. (2016). The digitization of manufacturing and its societal challenges: a framework for the future of industrial labor. In ETHICS (ed.), *IEEE International Symposium on Ethics in Engineering, Science and Technology (ETHICS)*. May 13–14, 2016, Vancouver, BC, Canada (S. 1–3). Piscataway, NJ: IEEE.
- EFQM. (2012). EFQM Excellence Modell. Brussels: European Foundation for Quality Management.
- Esposito, M., Lazoi, M., Margarito, A. & Quarta, L. (2019). Innovating the Maintenance Repair and Overhaul Phase through Digitalization. *Aerospace*, 6(53), 1–14. <https://doi.org/10.3390/aerospace6050053>
- European Commission. (2019). The Digital Economy and Society Index (DESI). Integration of Digital Technology. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=59979
- Fink, A. (2014). *Conducting research literature reviews. From the internet to paper* (Fourth edition). Thousand Oaks, California: SAGE.
- Franceschini, F., Galetto, M. & Maisano, D. (2019). *Designing Performance Measurement Systems. Theory and Practice of Key Performance Indicators* (Management for professionals). Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-01192-5>
- Geissbauer, R., Vedso, J. & Schrauf, S. (2016). *Industry 4.0: Building the digital enterprise* (pwc, Hrsg.). Zugriff am 20.11.2018. Verfügbar unter <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>
- Guffarth, D. (2016). *Ambidextrie in Netzwerken komplexer Produkte. Exploration und Exploitation in der Luftfahrtindustrie* (1. Auflage). Wiesbaden: Springer Gabler.
- HAMBURG AVIATION e.V. (Hrsg.). (2020). Kanada-Kooperation. Die Luftfahrtstandorte Hamburg und Montréal haben eine offizielle Kooperation gestartet. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://www.hamburg-aviation.de/kanada-kooperation.html>
- Hansen, S. (MTU Aero Engines AG, Hrsg.). (2016). *Industrie 4.0 in der Luftfahrt. Intelligente Fabrikation in der Luftfahrtindustrie*. MTU AEROREPORT. Zugriff am 17.06.2020. Verfügbar unter <https://aeroreport.de/de/innovation/industrie-4-0-in-der-luftfahrt>
- Hausladen, I. (2016). *IT-gestützte Logistik. Systeme - Prozesse - Anwendungen* (3., aktualisierte und erweiterte Auflage). Wiesbaden: Springer Gabler.

- Hölzle, K., Gerhardt, F. & Petzolt, S. (2019). Reifegradmessung zur digitalen Transformation von KMU. Potsdam. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28402.66242>
- IBF Intranet Benchmarking Forum. (2010). Digital Workplace Maturity Model. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://www.scribd.com/document/293841194/Digital-Workplace-Maturity-Model>
- IHK München und Oberbayern. (2015). Selbstcheck - Industrie 4.0 München. Zugriff am 18.05.2020. Verfügbar unter <https://ihk-industrie40.de/selbstcheck/>
- Initiative Supply Chain Excellence (Hrsg.). (2017). Supply Chain Excellence in der deutschen Luftfahrtindustrie. Status Quo und Perspektiven für den Luftfahrtstandort Deutschland. Zugriff am 23.01.2020. Verfügbar unter https://www.german-aerospace.de/wp-content/uploads/2017/07/240606_Studie-SCE-in-Deutschland.pdf
- Kagermann, H., Wahlster, W. & Helbig, J. (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V. Zugriff am 18.10.2018. Verfügbar unter https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf
- Kamprath, N. (2011). Einsatz von Reifegradmodellen im Prozessmanagement. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 48(6), 93–102. <https://doi.org/10.1007/BF03340648>
- Kersten, W., Schröder, M. & Indorf, M. (2017). Potenziale der Digitalisierung für das Supply Chain Risikomanagement: Eine empirische Analyse. In M. Seiter, L. Grünert & S. Berlin (Hrsg.), Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0 (S. 47–74). Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kersten, W., Seiter, M., von See, B., Hackius, N. & Maurer, T. (2017). Trends and Strategies in Logistics and Supply Chain Management. Digital Transformation Opportunities. Hamburg: DVV Media Group GmbH.
- Kersten, W., von See, B. & Indorf, M. (2018). Digitalisierung als Wegbereiter für effizientere Wertschöpfungsnetzwerke. In A. Khare, D. Kessler & J. Wirsam (Hrsg.), Marktorientiertes Produkt- und Produktionsmanagement in digitalen Umwelten (S. 101–117). Wiesbaden: Springer Gabler. https://doi.org/10.1007/978-3-658-21637-5_8
- Kotarba, M. (2017). Measuring Digitalization - Key Metrics. Foundations of Management, 9, 123–138. <https://doi.org/10.1515/fman-2017-0010>
- KPMG. (2016). Digital Readiness Assessment. KPMG. Zugriff am 14.04.2020. Verfügbar unter <https://atlas.kpmg.de/business-assessments/digital-readiness-assessment.html>
- Krol, F., Saeed, M. A. & Kersten, W. (im Druck). Developing a Holistic Digitalization KPI Framework for the Aerospace Industry. In W. Kersten, T. Blecker & C. M. Ringle (Hrsg.), HICL 2020 - New Ways of Creating Value in Supply Chains and Logistics (Bd. 14, 1. Aufl., Bd. 20). Berlin: epubli GmbH.
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millac, A. et al. (2015). Industrie 4.0 Readiness. Aachen, Cologne: VDMA's IMPULS-Stiftung. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8

- Nabitz, U., Klazinga, N. & Walburg, J. (2000). The EFQM excellence model: European and Dutch experiences with the EFQM approach in health care. *International Journal for Quality in Health Care*, 12(3), 191–202. <https://doi.org/10.1093/intqhc/12.3.191>
- Neely, A., Gregory, M. & Platts, K. (1995). Performance measurement system design. *International Journal of Operations & Production Management*, 15(4), 80–116. <https://doi.org/10.1108/01443579510083622>
- Parmenter, D. (2015). *Key performance indicators. Developing, implementing, and using winning KPIs* (Third edition). Hoboken: Wiley.
- Parmenter, D. (2019). *Key Performance Indicators*: Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119620785>
- Reinhard, H., Rentz, R. & Sommerfeld, T. (2020). Digitalisierung steuerbar machen. *Controlling & Management Review*, 64(2), 46–51. <https://doi.org/10.1007/s12176-019-0083-9>
- Roland Berger (Hrsg.). (2018). *Aerospace & Defense Radar 2018: disruption as a threat to traditional business models*. München. Zugriff am 02.06.2020. Verfügbar unter <https://www.rolandberger.com/en/Publications/Aerospace-defense-disruption-as-a-threat-to-traditional-business-models.html>
- Santo, M., Maire, S., Schmid, J., Maisonneuve, F., Wenzel, S., Dintrans, O. et al. (2019). Competitiveness of European Aerospace Suppliers. A Joint Analysis of France and Germany (h&z Unternehmensberatung AG, Hrsg.). Zugriff am 20.02.2020. Verfügbar unter https://huz.de/wp-content/uploads/2019/03/20180425-hz_KeaPartners-Aerospace-supplier-study-_released-final-small8061.pdf
- Santo, M. & Wenzel, S. (2020). Studie: Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die deutsche mittelständische Luftfahrtzulieferindustrie (h&z Unternehmensberatung AG, Hrsg.). Berlin/München. Zugriff am 02.06.2020. Verfügbar unter https://www.bavaria.net/fileadmin/Redaktion/Anlagen___Downloads/Corona/20200417_BDLI_Studie_Covid-19_Luftfahrtzulieferindustrie_-_h_z_lang.pdf
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M. & Wahlster, W. (Hrsg.). (2017). *Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten* (acatech STUDIE). Zugriff am 18.10.2018. Verfügbar unter <http://www.acatech.de/de/publikationen/empfehlungen/acatech/detail/artikel/industrie-40-maturity-index-die-digitale-transformation-von-unternehmen-gestalten.html>
- Schumacher, A., Erol, S. & Sihni, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161–166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Stalnaker, T., Usman, K. & Tylor, A. (2017). *Airline Economic Analysis. 2016-2017 Edition* (Oliver Wyman, Hrsg.). New York. Zugriff am 17.07.2020. Verfügbar unter https://www.oliverwyman.com/content/dam/oliver-wyman/v2/publications/2017/jan/aea/NEW_NYC-MKT59202-002_AirlineEconomicAnalysis_2016-17_web.pdf
- Stegkemper. (2016). Digitalisierung der Aerospace Supply Chain – Komplexe Aerospace-Supply-Chain-Netzwerke erfolgreich steuern. Zugriff am 02.06.2020. Verfügbar unter https://www.supplylyon.com/img/Studie_Digitalisierung_Aerospace-Supply-Chain_2016_DE.pdf
- Stowasser, S. & Peschl, A. (2019). Arbeitswelt im Wandel: Qualifizierung zu resilienzfördernder Führung. In D. Spath & B. Spanner-Ulmer (Hrsg.), *Digitale Transformation – Gutes Arbeiten und*

- Qualifizierung aktiv gestalten (Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation, S. 143–162). Berlin: GITO Verlag.
- VDMA. (2016). Guideline Industrie 4.0. Guiding principles for the implementation of industrie 4.0 in small and medium sized businesses. VDMA, DIK, WBK. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/vdma-guide-line-industrie-40.pdf>
- Von See, B. (2019). Ein Handlungsrahmen für die digitale Transformation in Wertschöpfungsnetzwerken. Dissertation. TUHH, Hamburg. <https://doi.org/10.15480/882.2513>
- Vuorikari, R., Punie, Y., Carretero Gomez S. & Van den Brande, G. (2016). DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. The Conceptual Reference Model (EUR 27948 EN). Luxembourg Publication Office of the European Union. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101254/jrc101254_digcomp%202.0%20the%20digital%20competence%20framework%20for%20citizens.%20update%20phase%201.pdf <https://doi.org/10.2791/11517>
- Waspodo, B., Ratnawati, S. & Halifi, R. (2018). Building Digital Strategy Plan at CV Anugrah Prima, an Information Technology Service Company. In The 6th International Conference on Cyber and IT Service Management (CITSM 2018) (S. 1–4). <https://doi.org/10.1109/CITSM.2018.8674281>
- Wolf, T. & Strohschen, J.-H. (2018). Digitalisierung: Definition und Reife. Informatik-Spektrum, 41(1), 56–64.
- Wrobel, M., Schildhauer, T. & Preiß, K. (2017). Kooperation zwischen Startups und Mittelstand. Learn. Match. Partner (Alexander von Humboldt Institut für Internet und Gesellschaft (HIIG), Hrsg.). Berlin. Zugriff am 17.07.2020. Verfügbar unter https://www.hiig.de/wp-content/uploads/2017/11/Kooperationen_Startups_Mittelstand_small.pdf

Literaturverzeichnis KPI-Tabellen

- [1] Andersen, K. V., Beck, R., Wigand, R. T., Bjørn-Andersen, N. & Brousseau, E. (2004). European e-commerce policies in the pioneering days, the gold rush and the post-hype era. *Information Polity: The International Journal of Government & Democracy in the Information Age*, 9(3/4), 217–232. Zugriff am 18.05.2020. Verfügbar unter <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=17109068&lang=de&site=ehost-live>
- [2] Azhari, P., Faraby, N., Rossmann, A., Steimel, B. & Wichman, K. S. (2014). *Digital Transformation Report (neuland digital vision & transformation, Hrsg.)*. Köln. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://www.wiwo.de/downloads/10773004/1/DTA_Report_neu.pdf
- [3] Berghaus, S., Back, A. & Kaltenrieder, B. (2017). *Digital Maturity & Transformation Report 2017 (Institut für Wirtschaftsinformatik (IWI-HSG), Universität St.Gallen, Hrsg.)*. St. Gallen. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://crosswalk.ch/digital-maturity-and-transformation-report>
- [4] Bumbac, R. & Vasilcovschi, A. (2016). *Digitalization Progresses in European Catching-up Countries - The Case of Romania*. *Basiq International Conference: New Trends in Sustainable Business and Consumption 2016*, 40–49. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter http://conference.ase.ro/wp-content/uploads/2018/01/BASIQ_Volume2016.pdf
- [5] Cámara, N. & Tuesta, D. (2016). *DiGiX: The Digitization Index*. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://www.bbvaresearch.com/en/publicaciones/digix-the-digitization-index/>
- [6] Colecchia, A. (2000). *Defining and Measuring Electronic Commerce. Towards the development of an OECD methodology*. OECD, Paris. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://docplayer.net/12163491-Defining-and-measuring-electronic-commerce-towards-the-development-of-an-oecd-methodology.html>
- [7] Corrocher, N. & Ordanini, A. (2002). Measuring the digital divide: a framework for the analysis of cross-country differences. *JOURNAL OF INFORMATION TECHNOLOGY*, 17(1), 9–19. <https://doi.org/10.1080/02683960210132061>
- [8] *Digital in NRW - Kompetenzen für den Mittelstand. (o.D.). Quick Check Industrie 4.0 Reifegrad*. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://indivsurvey.de/umfrage/53106/uHW7XM>
- [9] Dobrolyubova, E., Alexandrov, O. & Yefremov, A. (2017). Is Russia Ready for Digital Transformation? *Communications in Computer and Information Science*, (745), 431–444. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-69784-0>
- [10] Dudzeviciute, G., Simelyte, A. & Liucvaitiene, A. (2017). The Application of Smart Cities Concept for Citizens of Lithuania and Sweden: Comparative Analysis. *Independent Journal of Management & Production (IJM&P)*, 8(4), 1433–1450. <https://doi.org/10.14807/ijmp.v8i4.659>
- [11] EFQM. (2012). *EFQM Excellence Modell*. Brussels: European Foundation for Quality Management.
- [12] Evangelista, R., Guerrieri, P. & Meliciani, V. (2014). The economic impact of digital technologies in Europe. *Economics of Innovation & New Technology*, 23(8), 802–824. <https://doi.org/10.1080/10438599.2014.918438>

- [13] Falk, M. & Biagi, F. (2017). Relative demand for highly skilled workers and use of different ICT technologies. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983080851&doi=10.1080%2f00036846.2016.1208357&partne-rID=40&md5=7715e4943a344adc041e5a5eddb21de6>
- [14] Forrester. (o.D.). Digital Transformation Assessment. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://forrester.co1.qualtrics.com/jfe/form/SV_7WZBAU12u0dJbWl?Q_JFE=qdg
- [15] Hanafizadeh, P., Hanafizadeh, M. R. & Khodabakhshi, M. (2009). Extracting core ICT indicators using entropy method. Zugriff am 10.04.2020. Verfügbar unter <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70449640053&doi=10.1080%2f01972240903028490&partne-rID=40&md5=2fc0e6e47f84654826d46756d957d4c3>
- [16] IHK München und Oberbayern. (2015). Digitalisierung im Mittelstand - Leitfaden Industrie 4.0. Zugriff am 18.05.2020. Verfügbar unter <https://ihk-industrie40.de/selbstcheck/>
- [17] Kotarba, M. (2017). Measuring Digitalization - Key Metrics. Foundations of Management, 9, 123–138. <https://doi.org/10.1515/fman-2017-0010>
- [18] Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millac, A. et al. (2015). Industrie 4.0 Readiness. Aachen, Cologne: VDMA's IMPULS-Stiftung. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/26342484/Industrie_40_Readiness_Study_1529498007918.pdf/0b5fd521-9ee2-2de0-f377-93bdd01ed1c8
- [19] McConnell International and Witsa. (2001). Ready? Net. Go! Partnerships Leading the Global Economy. McConnell International and Witsa. Zugriff am 24.11.2018. Verfügbar unter <http://www.mcconnellinternational.com/ereadiness/ereadiness2.pdf>
- [20] Pwc. (o.D.). Industry 4.0 - Enabling Digital Operations Self Assessment. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/>
- [21] Soldatos, J., Gusmeroli, S., Malo, P., and Di Orio, G. (2016). Digitising the Industry – Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds. In P. Friess (Hrsg.), Digitising the industry: internet of things connecting the physical, digital and virtual worlds.. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/305033020_Internet_of_ThingsApplications_in_Future_Manufacturing
- [22] Strategy & Transformation Consulting. (o.D.). Digital Maturity Assessment (DMA) . Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://www.strategy-transformation.com/digital-maturity-assessment/>
- [23] VDMA. (2016). Guideline Industrie 4.0. Guiding principles for the implementation of industrie 4.0 in small and medium sized businesses. VDMA, DIK, WBK. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/vdma-guideline-industrie-40.pdf>
- [24] Vuorikari, R., Punie, Y., Carretero Gomez S. & Van den Brande, G. (2016). DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens. The Conceptual Reference Model (EUR 27948 EN). Luxembourg Publication Office of the European Union. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC101254/jrc101254_digcomp%202.0%20the%20digital%20competence%20framework%20for%20citizens.%20update%20phase%201.pdf <https://doi.org/10.2791/11517>

- [25] World Economic Forum, INSEAD (Baller, S., Dutta, S. & Lanvin, B., Hrsg.). (2016). The Global Information Technology Report 2016. Innovating in the Digital Economy. Zugriff am 18.05.2020. Verfügbar unter http://www3.weforum.org/docs/GITR2016/WEF_GITR_Full_Report.pdf
- [26] Žwaková, M. (2018). The conditions for digitalization and industry 4.0 development in selected European states. S. 484 - 497. Zugriff am 08.04.2020. Verfügbar unter <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85051421329&partnerID=40&md5=46f8211014869c32a756ca1a370ac938>