

Entwicklung und Konzeption eines technologieorientierten Reifegradmodells zur Entscheidungsunterstützung im Supply Chain Management

Aleksandr Konviser, Prof. Dr.-Ing. Bernd Noche, Dr.-Ing. Alexander Goudz

Universität Duisburg-Essen

Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Lehrstuhl Transportsysteme und -logistik

Abstract – Aus Sicht des Supply Chain Managements (SCM) ist ein wesentliches Ziel, durch die organisatorische und informationstechnologische Vernetzung von Objekten und Daten, Entscheidungen in einer günstigeren Weise, sowohl in finanzieller, zeitlicher und qualitativer Hinsicht, zu treffen. Um das Risiko für Fehlentscheidungen aufgrund einer schlechten Informationsqualität oder der mangelnden Verarbeitung von Daten für den entsprechenden Kontext zu vermindern, gilt es insbesondere den Einsatz von sogenannten „Decision Support Systemen“ für das SCM grundlegend zu prüfen. Gerade der Einsatz von digitalen Technologien, die das Potenzial für disruptive Veränderungen mit sich bringen, wurde zwar ausgiebig für Produktionszwecke erforscht, die Behandlung der Transformation für das SCM hingegen weist jedoch weiterhin Lücken auf.

Nach Eingrenzung auf Grundlage der Ein- und Ausschlusskriterien und der Sichtung der wesentlichen Elemente bestehender Arbeiten wurden im Rahmen dieser Studie eine Anzahl von 146 Artikeln näher behandelt und einer systematisch-quantitativen als auch qualitativen Analyse unterzogen.

Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse wird ein auf wissenschaftlicher und praxisorientierter Literatur gestütztes Reifegradmodell erarbeitet, das Potenzial bietet bei der digitalen Transformation im SCM zu unterstützen, indem es eine übergeordnete Sicht auf die Gesamtsituation und entsprechend eine einfache und verständliche Charakterisierung mit der Chance für direkte geschäftsbezogene Implikationen erlaubt.

Schlagwörter – Decision Support, Design Science, Disruptive Technologien, Literaturübersicht, Supply Chain Management, Reifegradmodell

1 Einleitung

Getrieben durch die Veränderungen der letzten Jahrzehnte, die verstärkt zur Globalisierung und zum heutigen Informationswettbewerb führen, findet größtenteils der Wettbewerb nicht mehr zwischen einzelnen Unternehmen, sondern vielmehr bereits zwischen ganzen Wertschöpfungsketten statt. [1] Der stetig zunehmenden Komplexität von Wertschöpfungsnetzwerken steht derzeit jedoch kein proportionaler bzw. zielgerechter Zuwachs an Systemen und Technologien für einen adäquaten Umgang mit dynamischen Problemen gegenüber. In der heutigen Geschäftswelt wird sich noch immer stark auf Intuitionen und Erfahrung verlassen, statt sich auf Daten und Fakten zu konzentrieren. Dies wird besonders deutlich bei wichtigen Entscheidungen, wo Unternehmen sich auffällig häufig auf die Meinung der bestbezahlten Person stützen. [2] Dabei sind es oft diese Entscheidungsmomente, die von Interdependenzen gekennzeichnet sind, wo sich Strategien, wie Analogieschlüsse oder das Versuch und Irrtum Prinzip nicht zielführend und effektiv herausstellen. Stattdessen bedarf es eine mehrdimensionale Betrachtung der jeweiligen Problemfelder im SCM, die gerade heute von rasant veränderten Bedingungen und vielfältigen Interessenkonflikten gekennzeichnet sind. [3][4] Um das Risiko für Fehlentscheidungen, aufgrund einer schlechten Informationsqualität oder der mangelnden Verarbeitung von Daten für den entsprechenden Kontext zu vermindern, gilt es insbesondere den Einsatz von sogenannten „Decision Support Systemen“ (DSS), zu Deutsch

„Entscheidungsunterstützungssysteme“, für das SCM grundlegend zu prüfen. Während hierzu bereits erste Erkenntnisse aus Forschungen zum Thema DSS für einige konkrete Aufgaben im Zusammenhang mit dem Netzwerkdesign, wie der Touren- bzw. Standortplanung oder der Lieferantenauswahl existieren (u.a. [5][6][7][8]), besteht durchaus Forschungsbedarf zum Potenzial von DSS aus der ganzheitlichen Perspektive mit Berücksichtigung der wesentlichen vorgelagerten als auch nachgelagerten Prozesse im Rahmen der Wertschöpfungskette. [9][10]

1.1 Ziel der Arbeit

In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, wie sich die großen Datenmengen, die entlang der Wertschöpfungsnetzwerke entstehen, zweckgemäß verarbeitet werden können, um so die Entscheidungsgrundlage zu verbessern. Dabei sollen unterschiedliche Technologien betrachtet werden, die als Decision Support (DS) in Frage kommen und kritisch hinsichtlich ihrer Eignung für einen effizienteren und effektiveren Entscheidungsprozess bewertet werden.

Die primäre Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit wird wie folgt definiert:

- Wie lassen sich die im Rahmen der Wertschöpfungskette entstehenden Datenmengen verarbeiten, um die Entscheidungsqualität im SCM zu steigern?

Der Schwerpunkt der Untersuchung liegt in der Bewertung der Forschung zu intelligenten DSS durch die jüngsten Fortschritte im Rahmen der Digitalisierung von Lieferketten, um darauf aufbauend einen Richtungsplan zu entwickeln, der Entscheidungsträgern erlaubt Handlungsempfehlungen in unterschiedlichen, für das SCM typischen Szenarien abzuleiten.

Zur umfassenden Behandlung des Themenschwerpunkts werden die folgenden Unterfragen aufgestellt:

- Was sind Einflussfaktoren bzw. kritische Parameter für den Entscheidungsprozess?
- Wie lässt sich die Qualität von Entscheidungen messen?

- Was sind die Anforderungen, Treiber und Herausforderungen bei der Einführung von Technologien zur Verbesserung der Transparenz der Lieferkette?
- Welche betrieblichen Aktivitäten lassen sich mittels DSS im Rahmen des SCM abwickeln bzw. unterstützen?

1.2 Vorgehensweise

Zur systematischen Beantwortung der Forschungsfrage wird als Forschungsmethode die gestaltungsorientierte Forschung im Rahmen der Wirtschaftswissenschaften gewählt mit einem besonderen Fokus auf der Wirtschaftsinformatik. Anhand der Designtheorie soll aufgezeigt werden, wie die Anwendung bestimmter Methoden, Techniken oder Gestaltungsprinzipien eine bestimmte Klasse von Problemen lösen kann. [11]

Im ersten Schritt sollen zunächst die Grundlagen des SCM, des DS sowie der omnipräsenten Technologien für die Verarbeitung von großen Datenmengen erläutert werden. Das Augenmerk bei der Trendanalyse wird auf die Erfolgsfaktoren der digitalen Transformation Big Data Analytics, Internet of Things, Cloud Computing, Künstliche Intelligenz und digitaler Zwilling im Hinblick auf eine verbesserte Informationsverarbeitung sowie zielgerichtete Entscheidungsunterstützung gelegt. Im Anschluss daran sollen anhand des Stands der Forschung zu DSS für das SCM generelle Anforderungen bzw. Ziele für das vorliegende Problemfeld, vor dem Hintergrund der Entscheidungsfindung, untersucht und der notwendige Forschungsbedarf formuliert werden. Um die bestehende Forschungslücke zu schließen, soll dann ein auf wissenschaftlicher und praxisorientierter Literatur gestütztes Reifegradmodell erarbeitet werden. Dieses soll nicht nur die relevanten Dimensionen aufzeigen, sondern insbesondere als richtungsgebende Orientierung für Geschäftsverantwortliche dienen, um den gegenwärtigen Zustand im jeweiligen Geschäftsfeld zu bewerten und gleichzeitig wirkungsvolle Strategien zur Optimierung der Situation abzuleiten. Für eine generelle wissenschaftliche Betrachtung sollen die Anwendungen dabei systematisch auf der Grundlage des branchenübergreifenden Ansatzes,

dem sogenannten „Supply Chain Operations Reference Model“ (SCOR-Modell), identifiziert und zusammenfassend dargestellt werden. Hierbei sollen unterschiedliche Kontext-, Ziel- und Wirkungsvarianten behandelt und mögliche Anpassungsmechanismen vorgestellt werden. [11]

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Supply Chain Management

Laut dem Global Supply Chain Forum (1998) kann SCM als die Integration von Geschäftsprozessen vom Endverbraucher bis zurück zu den Rohstofflieferanten aufgefasst werden, die Produkte, Dienstleistungen und Informationen bereitstellen und damit einen entsprechenden Mehrwert für die Kunden sowie andere Stakeholder schaffen. [12] SCM umfasst im weitesten Sinne die Prozesse der Nachfragesteuerung, Fertigung, Bestandsverwaltung, Auftragsabwicklung, Lagerhaltung, Planung von Werbeaktionen, des Transports, Vertriebsmanagements, Import-/Exportmanagements, Produktentwicklung und Kundendienstes. [13] Als wesentliches Merkmal des SCM kann damit die unternehmensübergreifende Optimierung der Geschäftsprozesse aufgefasst werden.

Für erfolgreiches SCM bedarf es eine Reihe Entscheidungen im Hinblick auf den Material-, Informations- und Finanzfluss. Bei jeder dieser Entscheidung gilt primär die Maximierung der generierten Gesamtwerte, des sogenannten „supply chain surplus“ (dt. Lieferkettenüberschuss), anzustreben. Der Lieferkettenüberschuss ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Kundennutzen (engl. customer value) und den Kosten zur Erfüllung der Kundenanforderungen (engl. supply chain cost). [14]

Abgesehen von einer fehlenden einheitlichen wissenschaftlichen und praktischen Definition des SCM existiert ein branchenübergreifendes Modell, das sämtliche Arten von Strömen, konkret physische, informationelle und finanzielle, als auch alle Ebenen der Supply Chain abdeckt. Im vom Supply Chain Council entwickelten Konzept, dem sogenannten Supply Chain Operations Reference Modell, kurz SCOR-Modell, werden klassischerweise sechs Managementprozesse unterschieden, wie Abbildung 1 entnommen werden kann. Das Modell dient als

systematischer Ansatz zur Identifizierung, Bewertung und stetigen Überwachung der Leistung von Lieferketten, indem es umfassend Leistungsziele, Prozesskennzahlen, Verfahren und Personal in eine einheitliche Struktur setzt. Damit bildet es die Basis für eine zweckgemäße Entscheidungsfindung im Rahmen des SCM für die Optimierung und Evaluierung von Lieferketten. [15]



Abbildung 1: Prozesselemente nach dem SCOR-Modell in einer Lieferkette [15]

Infolge der sich ständig ändernden Bedingungen werden die zu behandelnden Probleme deutlich komplexer und dynamischer als früher, was wiederum dazu führt, dass die Anforderungen an die im Rahmen des SCM zum Einsatz kommenden Systeme, die nun agiler und wirksamer reagieren müssen, kontinuierlich steigen. [4]

2.2 Entscheidungstheorie

Wenn wir von dem Begriff der Entscheidung sprechen, wird damit prinzipiell die endgültige Wahl über eine Handlungsalternative aufgefasst im Rahmen der Entscheidungsfindung für eine vorliegende Problemsituation. [16] Der Prozess der Entscheidungsfindung besteht im Allgemeinen aus vier Phasen: Aufklärung (engl. intelligence), Entwurf (engl. design), Auswahl (engl. choice) und Umsetzung (engl. implementation). In der ersten Phase werden Informationen gesammelt und das Problem erschlossen, wodurch sich ein Entscheidungsbedarf erschließt. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse aus der ersten Phase und der unterdessen zur Bewertung ermittelten Kriterien wird dann ein geeignetes Modell entwickelt und potenzielle Alternativen untersucht. Im Anschluss daran erfolgt die Auswahl der für das vorliegende Problem richtigen Lösung unter den herausgestellten Alternativen. In der letzten Phase wird dann diese Lösung umgesetzt und getestet. Die Phasen werden sequenziell durchlaufen, wobei Rückkopplungen durch den Entscheidungsträger möglich sind, denn

auch nachdem die Entscheidung umgesetzt worden ist, gilt es, die neu resultierenden Gegebenheiten zu beobachten und bei Bedarf zu einer der vorgeschalteten Phasen zurückspringen (vgl. Abbildung 2). [17]

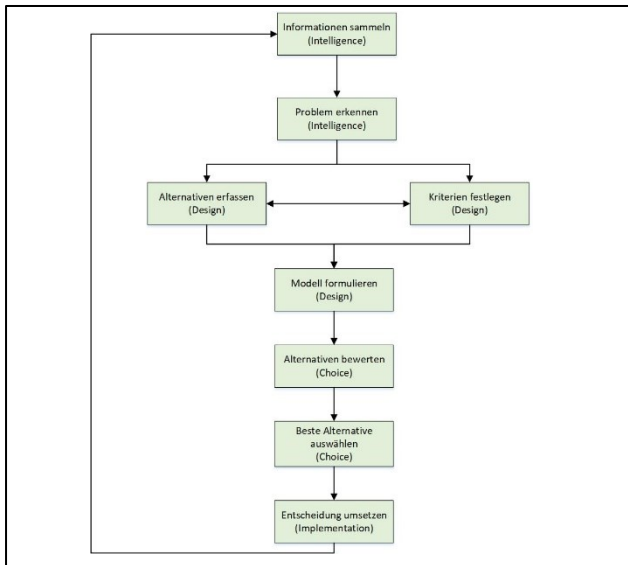


Abbildung 2: Entscheidungsprozess (in Anlehnung an [17])

Anders als bei der Qualität von Produkten oder Prozessen eines Unternehmens wird die Entscheidungsqualität nur selten gemessen, was konkret in der mangelnden Objektivität bei diesem Vorhaben begründet ist. Die Qualität der Entscheidungen wird in der Regel über die Ergebnisse der umgesetzten Alternative bewertet. Dabei gilt es jedoch zu unterscheiden zwischen einer rationalen und erfolgreichen Entscheidung. Entscheidungen sind dann rational, wenn sie zur Erreichung vorher festgelegter Ziele angemessen sind. Naturgemäß ist die Rationalität von Entscheidungen begrenzt, u.a. durch die vorliegenden Informationen, Zeit und die kognitiven Fähigkeiten. Die größten Limitierungen für den Menschen als Entscheidungsträger sind in erster Linie die Anforderungen an seine kognitiven Fähigkeiten resultierend aus der teilweise überwältigenden Menge an Handlungsalternativen sowie den unvorhersehbaren Auswirkungen. Dazu kommen noch bewusste oder unbewusste Voreingenommenheit und Zielvorstellungen, die ggf. von den Absichten der Unternehmung als Ganzes abweichen. [18] Hieraus wird deutlich, dass gerade bei komplexen mehrdimensionalen Entscheidungsproblemen eine Einzelperson nicht in der Lage ist, eine völlig rationale Entscheidung zu

treffen. Dennoch kann man auch in solchen Situationen eine optimale Entscheidung auswählen, die basierend auf den Bewertungskriterien als die Beste der zufriedenstellenden Alternativen identifiziert wird. Es lässt sich festhalten, dass die Entscheidung eines Einzelnen rational ist, sofern sie mit den Werten, Alternativen und Informationen, die bei der Entscheidungsfindung herausgestellt worden sind, übereinstimmt. Ausgeweitet auf die gesamte Organisation ist die Entscheidung rational, wenn sie mit den Zielen, Vorgaben und Informationen dieser übereinstimmt. Es gilt, die Organisation und ihre Mitglieder so aufzubauen und abzustimmen, dass eine Entscheidung, die für den Einzelnen als rational gilt, auch für die Gesamtheit rational verbleibt nach einer erneuten Bewertung aus Sicht dieser. [19] Anders als bei der rationalen Entscheidungsfindung, wo die Qualität der Entscheidung primär durch die Methodik und die zum Entscheidungszeitpunkt gegebenen Umstände, unter denen die Entscheidung getroffen worden ist, bestimmt wird, wird im Fall der Betrachtung einer erfolgreichen Entscheidung nur das Resultat evaluiert. Von einer erfolgreichen Entscheidung spricht man demnach dann, wenn die gewählte Alternative tatsächlich zu dem gewünschten Ergebnis führt. [3] Im Gegensatz dazu sinkt die Qualität bei der rationalen Entscheidungsfindung nicht zwangsläufig durch das Abweichen vom Soll-Zustand, wenn die eingeleitete Handlung fundiert auf dem systematischen Abwägen von Alternativen und Auswahl einer Entscheidung auf Grundlage von zuvor definierten Kriterien getroffen worden ist. [20]

Die Analyse der vorhandenen Daten, die als Input für die Entscheidungsfindung genutzt werden, kann unabhängig der Art des Entscheidungsprozesses auf vier unterschiedlichen Weisen erfolgen (vgl. Abbildung 3): präskriptiv (engl. prescriptive), deskriptiv (engl. descriptive), diagnostisch (engl. diagnostic) oder prädiktiv (engl. predictive).

Die präskriptive Entscheidungstheorie hat zum Ziel Maßnahmen zur Verbesserung bzw. Korrektur von Fehlern zu ermitteln. Im Gegensatz dazu werden bei einer deskriptiven Analyse alle relevanten Informationen gesammelt und anschließend die überwachte Situation, wie der Zustand oder ein Prozess, zu einem bestimmten Zeitpunkt beschrieben. Im Rahmen der diagnostischen Verfahren wird nach

den Ursachen für aufgetretene Abweichungen zwischen vordefiniertem Zielwert und dem tatsächlichen Wert gesucht. Somit konzentrieren sich sowohl die deskriptive als auch diagnostische Entscheidungstheorie um Ereignisse, die bereits in der Vergangenheit aufgetreten sind. Bei der prädiktiven Analyse dagegen versucht man mittels der Eingabedaten Muster und Anzeichen zu erkennen, um bevorstehende Ereignisse abzuleiten. Der Ausblick, den man hierdurch erhält, ist insbesondere von Relevanz, um Risiken und die Unsicherheit in Bezug auf betriebswirtschaftliche, soziokulturelle, technische oder andere umweltbedingte Aspekte frühzeitig zu erkennen und eindämmen zu können. [21][22]

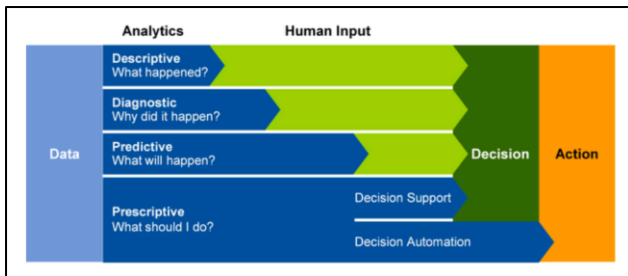


Abbildung 3: Vier Methoden der Datenanalyse [23]

2.3 Decision Support

Informationssysteme sind das Herzstück jeder Organisation und spielen im SCM eine zentrale Rolle. Sie erlauben Unternehmen, Informationen zu sammeln, zu analysieren und entlang der gesamten Kette zu verteilen, um die Entscheidungsfindung zu verbessern. [24] Eine Möglichkeit, verschiedene Informationstechnologien und -systeme zu aggregieren und als integriertes Planungs- und Informationssystem einzusetzen, besteht durch Business Intelligence (BI), das als übergreifender Begriff für datengetriebene Entscheidungsunterstützungssysteme aufgefasst wird. [25] Bereits seit den späten 1970er Jahren wurde die Entwicklung von computergestützten DSS von diversen Anbietern, Praktikern und Akademikern vorangetrieben. [26] Doch erst durch das Potenzial gegenwärtiger Technologien weckt deren Einsatz tatsächlich Aussicht darauf, dass Urteilsvermögen des Entscheidungsträgers und damit die Entscheidungsqualität zu verbessern. [27]

Der Einsatz von DSS eignet sich insbesondere bei der Unterstützung von semi- und unstrukturierten Entscheidungen. [28] Vorrangig bei semi-strukturierten Entscheidungsproblemen, bei denen nur einzelne Aspekte den Entscheidungsträgern zur Verfügung stehen und die dementsprechend das menschliche Urteilsvermögen erfordern, können sich DSS positiv auf die wahrgenommene Nützlichkeit als auch die Effizienz auswirken. [16]

2.4 Disruptive Technologien

Angetrieben durch die zunehmende Verknüpfung von physischer mit der digitalen Welt und der daraus resultierenden hohen Verfügbarkeit von relevanten Informationen in Echtzeit mittels heutiger technischer Möglichkeiten wird die allgegenwärtige industrielle Revolution, besser bekannt unter Industrie 4.0, ausgelöst. Hieraus entstehen neben neuen Produkten in erster Linie völlig neue Geschäftsprozesse und -modelle, bei denen Wertschaffung durch die technologiegestützten Verbindungen zwischen Menschen, Objekten und Systemen realisiert wird. [29]

Der Begriff Internet of Things (IoT), zu Deutsch „Internet der Dinge“, wurde ursprünglich 1999 von Kevin Ashton eingeführt, der sich auf eindeutig identifizierbare und miteinander vernetzte Objekte über die Radiofrequenz-Identifikation (RFID) bezog. RFID und weitere Sensortechnologien ermöglichen Computern die Identifizierung und Interpretation von verschiedensten Dingen und Zuständen in der realen Welt über das Internet, ohne den limitierenden Faktor des Menschen zur Datenerfassung und -eingabe. [30] Die Vision bei IoT besteht darin, physische Objekte in intelligente Objekte, sogenannte Smart Objects, zu transformieren, indem verschiedenste fortschrittliche Technologien im Bereich der Sensorik und Aktorik in Kombination mit Prozessoren, die eine erweiterte Rechenleistung bieten, eingesetzt werden und damit die Kommunikation untereinander und mit den Entscheidungsträgern durch den Informationsaustausch in Echtzeit ermöglichen. [31]

Der zentrale Vorteil von IoT ist die erhöhte Transparenz bei der Speicherung und dem Austausch von Informationen zwischen Abteilungen, was die Verfolgung, Planung und Kontrolle der Prozesse erleichtern kann. [32]

Die enormen Datenmengen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, insbesondere durch die zuvor angesprochene zunehmende Vernetzung, sind in der Regel zu groß für die Verarbeitung mit herkömmlichen Methoden und Werkzeugen. Hieraus resultiert der Bedarf nach zielgerichteten Analyseverfahren, um das große Datenvolumen verarbeiten sowie darauf basierend Wissen gewinnen zu können und letztlich einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil zu erzielen. [31]

Entscheidend ist das Bewusstsein für die Interdependenz zwischen Analytics und den großen wie auch komplexen Datenbeständen, die als Big Data bezeichnet werden, zu entwickeln, die erst die Gewinnung von aussagekräftigen Erkenntnissen möglich macht. Sanders (2016) formuliert die gegenseitige Abhängigkeit wie folgt: "Big data without analytics is just a massive amount of data. Analytics without big data are simply mathematical and statistical tools and applications". [33]

Big Data Analytics (BDA) kann diesbezüglich als der Prozess der Untersuchung und Auswertung von Big Data definiert werden, der es Unternehmen ermöglicht die eigenen Geschäftsabläufe und den Markt besser zu verstehen und fundierte Entscheidungen zu treffen. [34][35] Die zur Anwendung kommenden Analysetechniken helfen dabei, Einblicke, Muster und Korrelationen aus bisher für die Entscheidungsfindung nicht systematisch eingeschlossenen Datenquellen und Dateiformate zu erhalten. [36]

Einen neuen Verwaltungsmechanismus für Big Data, der eine zuverlässige, fehlertolerante und skalierbare Umgebung für die Verarbeitung von großen Datensätzen und die Gewinnung von wertvollem Wissen aus ihnen ermöglicht, bietet das sogenannte Cloud Computing (CC). [31][37] Das CC liefert Datenspeicher, Rechenleistung und verschiedenste Software als Dienst für die Kunden, die sich ganz nach dem individuellen Bedarf konfigurieren und skalieren lassen. Damit verringert sich oder entfällt teilweise die Notwendigkeit für eine Organisation, in eigene physische Hardware zu investieren, genauso wie der Aufwand für den Betrieb- und die Wartung von IT-Ressourcen. Eine Abrechnung erfolgt auf Grundlage der tatsächlichen Nutzung der jeweiligen

Dienste. [38][39] Das erlaubt kleineren Unternehmen, die gleichen Dienstleistungen und demnach die gleichen Vorteile wie größere Organisationen zu nutzen, die sich aus der offenen Integration und der Verwaltung von Prozessen außerhalb der eigenen Organisation ergeben. [38] Darüber hinaus gewährt CC Unternehmen die Chance, Produkte, Prozesse und Dienstleistungen zeitnah an veränderte Bedingungen anzupassen und damit den Anforderungen des Marktwandels insbesondere hinsichtlich der Agilität gerecht zu werden. [39][40]

Intelligente technologische Entwicklungen bieten vermehrt die Möglichkeit, kognitive Belastungen zu verringern, indem Arbeiten wie das Sammeln und Verarbeiten von Informationen, einschließlich der Integration von Aufgaben sowie die Entscheidungsfindung maßgeblich beeinflusst und weitestgehend von diesen übernommen werden können. [41]

Künstliche Intelligenz (KI) ist in diesem Zusammenhang keine neue Disziplin. Geprägt wurde der Begriff 1956 von John McCarthy, einem Informatikprofessor aus Stanford, auf der Dartmouth Konferenz. Nach der Auffassung von McCarthy ist KI „[...] the science and engineering of making intelligent machines“. [42]

Anders als viele existierende Instrumente und Hilfsmittel, die bestimmte physische Funktionsabläufe und Charakteristika der menschlichen Spezies verbessern oder ersetzen sollen, zielt KI darauf ab, Probleme nicht nur durch sich wiederholende Tätigkeiten, sondern primär durch eine Reihe von Erfahrungen und dem Verhalten mit menschenähnlichen Intelligenzebenen zu lösen. [43]

KI umfasst verschiedene Teilbereiche, wie maschinelles Lernen, genetische bzw. evolutionäre Algorithmen und Fuzzy-Logik. Dabei steht stets die Kombination aus mathematischen Argumentationen und fehlerreduzierenden Funktionen im Vordergrund. [44]

Die technischen Möglichkeiten, durch disruptive Technologien Zustände und Veränderungen des physischen Systems zu erfassen, zu messen und durchgängig zu überwachen, schafft neue Möglichkeiten der Simulation und Optimierung. Eine

Nachbildung komplexer Produkte, Prozesse oder ganzer Systeme in Kombination mit intelligenten Algorithmen in diesem Zusammenhang stellt der digitale Zwilling (engl. digital twin [DT]) dar.

Ohne den Begriff direkt zu nennen, stellte Michael Grieves von der University of Michigan 2002 erstmals den Ansatz zur bidirektionalen Verknüpfung von Daten der physischen mit der virtuellen Welt, um ein virtuelles Abbild durch den gesamten Produktlebenszyklus zu schaffen, vor und legte damit den Grundstein für digitale Zwillinge, wie sie heute in der Wissenschaft und Industrie generell verstanden werden. [45][46]

Im Allgemeinen umfasst ein digitaler Zwilling fünf Elemente, die gleichermaßen wichtig sind: physische Entitäten, virtuelle Entitäten und deren Daten- und Informationsverbindung einschließlich der Daten selbst und der bereitgestellten Dienste. [47][48] Für die Umsetzung der virtuellen Repräsentation mit der Möglichkeit der Interaktionsfähigkeit sind sowohl technische Daten (engl. engineering data) als auch Betriebsdaten (engl. operational data) von Nöten. Während technische Daten, wie 3D-Modelle und Materialspezifikationen, einmalig erfasst und bei Bedarf aktualisiert werden, erfolgt die Erfassung bzw. Verarbeitung von Betriebsdaten durchgängig und in Echtzeit. [49] In der Praxis muss ein digitaler Zwilling keine exakte 3D-Kopie eines Produkts oder Systems darstellen, sondern viel eher eine anwendbare und zweckmäßige Abstraktion der physischen Welt, die wertvolle Daten bereitstellt. [50]

Die wesentliche Eigenschaft eines digitalen Zwillings ist folglich, dass er sich anhand der historischen und kontinuierlich in Echtzeit sammelnden Daten am physischen System dynamisch anpasst, so dass er gemeinsam mit diesem reift. [51]

3 Stand der Wissenschaft

Vor dem Hintergrund der Untersuchung von Chancen die Entscheidungsfindung mittels disruptiver Technologien zu unterstützen bzw. zu automatisieren, wurde eine umfassende Trendanalyse durchgeführt. Hierfür wurden insgesamt 146 Artikel einer systematisch-quantitativen als auch qualitativen Analyse unterzogen. Bei der quantitativen Betrachtung wurden neben der Analyse des

Publikationsjahrs auch die jeweils herangezogene Forschungsmethode, der behandelte Themenschwerpunkt und die häufig verwendeten Begriffe über die Erstellung sogenannter Wortwolken (engl. word cloud), untersucht. Im Rahmen der qualitativen Inhaltsanalyse wurden Konzepte und Themen aus den selektierten Zeitschriften, Beiträgen und Monografien erfasst und die Beziehungen zwischen den verschiedenen Variablen evaluiert, um letztlich zuverlässige Erkenntnisse zu gewinnen. Die Kombination der beiden Formen erlaubt die verschiedenen Dimensionen der Bedeutung von disruptiven Technologien bei der Entscheidungsunterstützung bzw. -automatisierung einschließlich kritischer Erfolgsfaktoren sowie der mit der Implementierung verbundenen Herausforderungen gezielt abzuleiten und ein differenziertes Verständnis des Forschungskontextes zu entwickeln.

3.1 Systematisch-quantitative Analyse

Die sich aus der Untersuchung ergebende Zusammenstellung in Form einer Matrix, die zum einen die jeweils behandelten Prozesstypen und zum anderen die herangezogenen Technologien aufzeigt, kann dem Anhang A und B entnommen werden. Dabei sticht heraus, dass primär Planungsprozesse im Fokus der Forschung stehen (Inhalt von 52% der Arbeiten), dicht gefolgt von Enable- (41%) und Deliver-Prozessen (41%). Ferner dominiert die Erforschung von KI als maßgebliche Unterstützung im Rahmen des Entscheidungsprozesses (42%), während CC (24%) und digitale Zwillinge (21%) eine vergleichsweise untergeordnete Rolle einnehmen.

Die Kategorisierung über die Forschungsmethode zeigt, dass neben zahlreichen theoretischen und konzeptionellen Ansätzen zunehmend Wissen im Rahmen von Fallstudien oder experimentellen Methoden transferiert, erprobt und weiterentwickelt wird. Dies kann gerade für disruptive Veränderungen von entscheidender Bedeutung sein.

Bei Betrachtung der Verteilungen nach Publikationsjahr der Arbeiten fällt auf, dass insbesondere die Zahl der Veröffentlichungen zu IoT (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate über 10 Jahre: 19,6%) und KI (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate über 10 Jahre: 17,4%) über die letzten

Jahre stark angestiegen ist. Ebenfalls einen Anstieg, hauptsächlich über die letzten drei Jahre, erlebt die Forschung zu digitalen Zwillingen (durchschnittliche jährliche Wachstumsrate über drei Jahre: 22,3%). Forschungsaktivitäten im Hinblick auf CC und BDA hingegen stagnieren zuletzt, wobei CC durch die im Jahr 2020 epidemische Lage und die damit verbundene (räumliche) Distanzausweitung im beruflichen als auch täglichen Leben das Interesse einer breiteren Öffentlichkeit erlebt hatte, was sich auch in der Zahl der Publikationen in diesem Zeitraum widerspiegelt (vgl. Anhang C).

3.2 Qualitative Inhaltsanalyse

Betrachtet man bisherige Untersuchungen insbesondere zu KI und digitalen Zwillingen, wird deutlich, dass die Anwendungsszenarien in der Fertigung und zu verbesserten Planungszwecken Übergewicht sind. Die meisten der gegenwärtigen Forschungsaktivitäten in Bezug auf IoT beschränken sich neben den Herstellungsprozessen verstärkt auf die Lieferung und damit verbundene Koordinationsaufgaben bezüglich des Auftrags-, Lager- sowie Vertriebsmanagements. [52] Die intensive Behandlung, vorwiegend die Lieferprozesse betreffenden Einsatzmöglichkeiten, ist primär auf das wachsende Interesse im Bereich der Logistik durch den Einsatz von GPS- und RFID-Tracking zurückzuführen. [53] Im Hinblick auf BDA ist zuletzt ein zunehmender Fokus auf die Bereiche Planung, Rückführung und Beschaffung zu beobachten, während die Forschung zu Liefer- und Herstellungsprozessen stagniert. [53] Ähnlich beläuft sich die Erforschung und Implementierung von CC, wo bis auf die Herstellungsprozesse, die von äußerst hoher Individualität gekennzeichnet sind, allen Hauptprozessen großes Potenzial zugesprochen wird. [54]

Als wichtigste Enable-Elemente gelten nach Ansicht mehrerer Autoren die RFID-Technologie und die fortschrittliche Sensortechnik. [52][55] Grund hierfür ist, dass die Einführung des IoT dazu beitragen kann, vorausschauend zu agieren, anstatt einzig auf Ereignisse des komplexen und volatilen Marktes zu reagieren. [56]

Der Bereich mit dem wohl größten Interesse an BDA ist die Planung, zumal die Analytik bei der

Identifizierung und Priorisierung von Aufgaben in einer Reihe von Prozessaktivitäten, die prinzipiell durch Ungewissheit charakterisiert sind, unterstützend eingesetzt werden kann. [53]

Betrachtet man die Nachfrageprognose, dann wird man feststellen, dass sich hier vor allem KNN als vorteilhaft erwiesen haben, da sie selbst nichtlineare Zusammenhänge der realen Marktdynamik abbilden können.

Im Rahmen der Beschaffung stellt die präskriptive Analyse eine äußerst wichtige Voraussetzung für die Entscheidungsfindung dar. Als besonders vielversprechende Werkzeuge für effektive Beschaffungsprozesse haben sich vorwiegend Algorithmen des maschinellen Lernens, wie KNN und Support-Vektor-Maschinen (SVM), herausgestellt. Einen repräsentativen Anwendungsfall stellt die Mustererkennung in historischen Bestell- und Lieferdaten, die in großen Mengen vorliegen, dar. Dabei können z.B. verborgene Verbindungen, Gesetzmäßigkeiten und potenzielle Risikofaktoren in einzelnen Prozessen offengelegt werden. [57]

Mit BDA lassen sich außerdem Lieferanten noch gezielter für die Steuerung und Kontrolle des Lieferantennetzwerks segmentieren, Alternativen für Beschaffungskanäle identifizieren oder die Preisverhandlungen im Einkauf unterstützen. [33]

Ein weiterer positiver Effekt, der sich durch die Synchronisierung zwischen physischen und virtuellen Systemen im Rahmen eines digitalen Supply Chain Zwillings ergibt, ist die Verbesserung der Arbeitsgeschwindigkeit und Reaktionsfähigkeit, wodurch sich die Beschaffungszeit verkürzen lässt. [58]

Die Verfügbarkeit von Technologien zur Datenspeicherung und -analyse bietet ferner bisher nie dagewesene Möglichkeiten für eine intelligente Fertigung. Zu den Bereichen, die durch IoT-Anwendungen verbessert werden können, gehören: Sichtbarkeit und Transparenz in der Fabrik, Management der Produktionsnetzwerke, intelligente Produktionskontrolle, systematisches Design der virtuellen Fabrik sowie Möglichkeiten für eine nachhaltige Produktion. [52][55] Außerdem ermöglicht der Austausch von Echtzeitdaten eine

schnellere Reaktion auf Aktivitäten der Wettbewerber, technologische Veränderungen und sich ändernde Nachfrage- und Angebotssignale. [59] Intelligente Algorithmen in Verbindung mit der Virtualisierung der Lieferkette durch IoT können darüber hinaus eine erweiterte Qualitätskontrolle vor, während und nach dem Fertigungsprozess ermöglichen sowie die Qualitätsplanung und -sicherung durch die Fähigkeiten des Schlussfolgerns als auch der präzisen Sprach- und Bildverarbeitung verbessern. Insbesondere die Möglichkeit der Kontrolle und Koordinierung aus der Ferne entkoppelt die Notwendigkeit, dass die für die Handhabung von physischen Objekten verantwortlichen Personen dieselben Akteure sein müssen, die auch die Überwachung verantworten, wodurch die wenigen Spezialisten für die Diagnose und Wartung mehrere Maschinen, Anlagen und Prozesse gleichzeitig beaufsichtigen können, was letztlich zu einer gesteigerten Effizienz führt. [60]

Die wichtigsten Auswirkungen, die sich durch den Einsatz von IoT in den Lieferprozessen ergeben, umfassen drei Gebiete: die Lagerfunktion, Auftrags- und Bestandsverwaltung sowie das Transportwesen. Im Bereich Lagerhaltung kann IoT nicht nur die Kollaboration fördern, sondern auch eine Zeitersparnis bei der gemeinsamen Bestellung durch die Verwendung intelligenter RFID-Tags ermöglichen sowie die Sicherheit der Lieferkette erhöhen. Im Rahmen der Auftragsabwicklung und Bestandsverwaltung erleichtert die Konnektivität des IoT die gemeinsame Nutzung von Informationen und kann über den RFID-Einsatz zur Erhöhung der Bestandsgenauigkeit beitragen. Auch das Transportwesen profitiert von der IoT-Implementierung, indem eine genaue und rechtzeitige Lieferung gewährleistet wird. Zusätzlich profitieren die Unternehmen von dem Wegfall der manuellen Datenerfassung in den unterschiedlichen Logistikstadien. [55][59][61] Verknüpft man die IoT-Plattform mit KI und BDA zum Zweck der Realisierung eines digitalen Zwillings, lässt sich eine effektivere Szenarioplanung und Optimierung des LKW-Routennetzes erzielen. [62] Im Rahmen der intelligenten Verkehrssysteme können weiterhin das Parken, (Straßen-)Beleuchtungsmanagement, Unfallerkennung bzw. -vorbeugung sowie das

Detektieren von Straßenanomalien genannt werden, die primär durch den Einsatz von KI und IoT verbessert werden können. [63]

Der Rückführungsprozess hat in den letzten Jahren vor allem für BDA zunehmendes Interesse gewonnen. Gerade die Beschäftigung der breiten Öffentlichkeit mit Nachhaltigkeitsaspekten im SCM erhöht den Druck auf Unternehmen, sich mit fortschrittlichen Technologien gezielter auseinanderzusetzen. [53] Die Möglichkeit über den Stand der Technik den gesamten Rücklaufprozess sicher und transparent zu gestalten, was konkret über RFID-gestütztes Tracking des Güterflusses erreicht werden kann, eröffnet eine verbesserte Handhabung von Produktrückgaben. [64] Überträgt man ferner das Konzept der Zuverlässigkeit mit der Zeit bis zum Ausfall auf die Rückwärtslogistik, so lässt sich sogar die Zeit bis zur Einleitung einer Produktrückgabe durch den Kunden unter Einsatz von BDA und KI-Techniken vorhersagen. Generell ist die Zeit bis zu einem Ereignis für den Entscheidungsprozess im Rahmen der Rückführung von großer Bedeutung, wenn es z.B. um Garantie- und Rückrufentscheidungen oder das Vorhalten von Ersatzteilen geht, wodurch die prädiktive Analytik hier eine Schlüsselrolle einnimmt. [65]

Weiteres Potenzial liefert die sogenannte Stimmungsanalyse, auch als Sentimentanalyse bzw. Opinion Mining bezeichnet, die einen neueren Teilbereich von BDA darstellt, um den Umfang, die Vielfalt und Geschwindigkeit sozialer Medien, wie Twitter oder Facebook, aber auch anderer öffentlicher Plattformen, die qualitative Daten enthalten, zu bewältigen und die gewonnenen Erkenntnisse für geschäftliche Entscheidungsprozesse zu nutzen. [66] In den sozialen Medien geäußerte Beschwerden, abgegebene Bewertungen oder das Teilen von Erfahrungsberichten können dann genutzt werden, um schnell und direkt auf die marktbezogene Nachfrage und generelle Produktakzeptanz Zugriff zu erhalten. [36] [67]

4 Problemformulierung

Lieferketten stehen vor einer Reihe von Herausforderungen, zu denen besonders die Unsicherheit, Kostendruck und Komplexität zählen. [55] Die aus dem technologischen Fortschritt

resultierenden Lösungen können bei einer Reihe von fundamentalen Problemstellungen unterstützend zum Einsatz kommen. Mit disruptiven Technologieansätzen und dem damit verbundenen Hype verschärft sich jedoch zeitgleich das Gefühl bei vielen Unternehmen, sich bei der entsprechenden Einführung beeilen zu müssen, um keine Chance zu verpassen. Was daraus häufig folgt, sind wahllose Anwendungen, wie etwa das Bestreben anhand von fortschrittlichen Analyseverfahren vermeintliche Ursachen und Zusammenhänge zu finden, um schließlich nicht selten falsch-positive Beziehungen durch Zahlenakrobatik aufzudecken und damit zeitliche und finanzielle Ressourcen zu verschwenden. [33] Das Wissen, etwas tun zu müssen, um eine Gelegenheit nicht zu verpassen, doch parallel dazu mit dem permanenten und rapiden Wandel der Möglichkeiten überfordert zu sein, führt in vielen Fällen zum genauen Gegenteil der Potenzialausschöpfung, nämlich einem Zustand der Lähmung. [33]

Über die gesamten Technologien betrachtet, stellen sich mehrere zusammenhängende Problemstellungen und Herausforderungen heraus. Insbesondere eine fehlende leistungsfähige Infrastruktur mit den erforderlichen Ressourcen hinsichtlich Technik, Prozesse und Menschen in Verbindung mit fehlender Standardisierung stellt ein zentrales Risiko für die Einführung sowie erfolgreiche Etablierung dar. Dabei spielen bei der Entscheidung über die Implementierung der disruptiven Technologien neben solchen technologischen Fragestellungen genauso wirtschaftliche, gesellschaftliche und organisatorische Herausforderungen eine wichtige Rolle, wie Sicherheitsbedenken, mangelnde Qualifikation der verfügbaren Arbeitskräfte und unzureichende Unterstützung durch das Management oder lange Entwicklungszeiten in Kombination mit hohen Kosten für die technische Einrichtung, Schulung sowie laufende Unterstützung, die es zu überwinden gilt, auch um eine rein datengetriebene kalte Kultur zu vermeiden. [68][69]

Die zu bewältigenden Herausforderungen und Hindernisse können weiterhin technologieabhängig aufgeschlüsselt werden. So ist etwa eine der zeit- und arbeitsintensivsten Aufgaben im Rahmen von BDA die Aufbereitung der Daten für die Analyse, was

durch das große Volumen und die unterschiedlichen Datentypen noch verschärft wird, da es die bestehende Infrastruktur bis an die Belastungsgrenze beansprucht. [70] Doch viel gravierender ist die Tatsache, dass es in der industriellen Praxis häufig an einer genauen Vorstellung von den Fragen, die durch die Daten beantwortet werden sollen, mangelt, wodurch sich vermehrt eine Datenerhebung ohne gezielte Analyse darbietet. [71]

Sowohl für die Erstellung von Modellen des maschinellen Lernens als auch BDA-Anwendungen können Daten von schlechter Qualität erhebliche Probleme verursachen. Denn enthalten die verwendeten Datensätze z.B. Ausreißer, kann dies unmittelbar zu Instabilität und Divergenz beim Lernvorgang führen. Generell verschlechtert sich die Prognose, wenn unvollständige, inkonsistente oder fehlende Daten eingesetzt werden, sodass sich eine schlechte Datenqualität negativ auf die Spezifität und Sensitivität auswirkt. [72]

Eine weitere gravierende Herausforderung stellt nach wie vor die Tatsache dar, dass keine standardisierten Abläufe weder zur Entwicklung noch Umsetzung der Technologien im SCM existieren. So gibt es z.B. momentan keine technologische Plattform, die in der Lage wäre, die gesamten Aktivitäten eines digitalen Zwillings wirkungsvoll in einem gemeinsamen Rahmen durchzuführen und Synergieeffekte zu nutzen, wodurch die Markt- und Technologiereifung deutlich beeinträchtigt wird. [73]

Die vollständige, im Rahmen der Arbeit entworfene Zusammenstellung der Risiken und Herausforderungen nach den betroffenen Technologiebereichen kann dem Anhang D entnommen werden.

5 Realisierung

5.1 Potenzialbewertung

In Anbetracht der Herausforderungen, die mit disruptiven Technologien speziell IoT und BDA einhergehen, ist der Cloud-Ansatz in vielen Fällen eine gute Wahl. Mit CC gehen zahlreiche Vorteile einher, die gezielt die technischen und organisatorischen Hindernisse behandeln, wie etwa die höhere Flexibilität der IT-Infrastruktur, Rechenleistung, höhere Informationstransparenz oder

die Möglichkeit der nutzungsabhängigen Abrechnung von Diensten. [39] Nichtsdestotrotz ist der Einsatz von CC nicht in allen Szenarien als erforderlich zu betrachten. Reichen die lokalen IT-Ressourcen für den gegenwärtig und künftig erwarteten Datenfluss zur Speicherung und Verarbeitung aus, können durch die Verarbeitung der Rohdaten in lokal eingerichteten Knoten des eigenen Netzwerks Datenstaus, Latenz und auch die Kosten reduziert werden. [74]

Um die Sicherheit in der Systemlandschaft und den Datenschutz bei der umfangreichen Datenkommunikation zu gewährleisten, kann jeder Service-/ Cloud-Domäne ein Identitätsanbieter sowie ein Agent für Authentifizierung, Autorisierung und Abrechnung zugewiesen werden. Diese Einheiten kommunizieren mit anderen Domänen über Dienstgateways. Zum Schutz sensibler Daten lässt sich ein datenzentrierter Zugriffskontrollmechanismus einrichten. Hierbei kann auf Grundlage des Datentyps bzw. -formats zwischen zwei Kontrollmechanismen unterschieden werden, die zur Auswahl stehen: der ressourcenbasierten Zugriffskontrolle und dokumentenbasierten Zugriffskontrolle. [75] Eine weitere Möglichkeit für den sicheren Informationsaustausch und die Datenverfolgung im SCM besteht durch die Verwendung der Merkle-Baum-Architektur. Die Baumtopologie ergibt sich, indem jede Gesamtorganisation durch ihr eigenes Baumnetzwerk repräsentiert wird, das wiederum aus Knoten besteht, die für die einzelnen Geschäftseinheiten stehen. Über die Zuweisung eines Hash-Werts an jeden Blattknoten erhalten die Unternehmen einen eindeutigen Identifikator. Diese Datenstruktur, bei der in jeder Ebene ein Sicherheitsschlüssel in Form einer One-Way-Hash-Funktion verwendet wird, um den Baum und die Blätter vor Manipulation oder Fehlern zu schützen, stellt sich vor allem für die Überprüfung und Speicherung von großen Datenmengen als vorteilhaft heraus.[76]

Wenn man nun noch das maschinelle Lernen nicht nur als Problemlöser für die Regression, Klassifizierung, Clustering und das Entdecken von Assoziationsregeln betrachtet, sondern ergänzend als souveränes Mittel zur ganzheitlichen Optimierung der IT-Infrastrukturen, erhält man ein weitaus größeres Bild

der disruptiven Technologien für die Revolution des SCM. So können Algorithmen des maschinellen Lernens zu Vermeidung von Datenstaus, Netzwerkoptimierungen oder einer Verbesserung der Ressourceneffizienz wesentlich beitragen. [63]

Da mit den Entwicklungen technologischer Werkzeuge zunehmend auch unstrukturierte qualitative Daten verarbeitet werden können, rückt die Fuzzy-Logik im Rahmen der Entscheidungsunterstützung in den Vordergrund. Grund hierfür ist die Möglichkeit, die menschliche Fähigkeit nachzuahmen, Mehrdeutigkeit, Vagheit und unsichere Informationen für die Entscheidungsfindung zu berücksichtigen, womit letztlich qualitatives Wissen quantifizierbar wird. [77] Textliche Eindrücke, etwa über Produkte, die im Internet im Umlauf sind, erhalten somit gerade durch die Stimmungsanalyse eine völlig neue Bedeutung im Entscheidungsprozess für das SCM. Die Verarbeitung dieser öffentlich zugänglichen Daten kann nicht nur Aufschluss über die Verbraucher, sondern darüber hinaus wichtige Informationen über die Produkte und Dienstleistungen der Wettbewerber liefern. Insbesondere für strategische und operative Marketingentscheidungen können die neu gewonnenen Erkenntnisse zu Veränderungen in den Wünschen der Kunden oder deren Kaufverhalten effektiv und wirksam genutzt werden. [36][67] Als inhärente Einschränkung des Ansatzes gilt zu bedenken, dass sich ein Einsatz hauptsächlich im Business-to-Consumer (B2C) Segment lohnt, wo die Abnehmer dazu neigen, ihre Erfahrungen und Meinungen im Internet zu veröffentlichen und mit anderen zu teilen. [67] Falsche Ausgewogenheit, Spam oder Kritik, die sich weder an das Produkt noch das dazugehörige Unternehmen richtet, verfälschen unverkennbar die Ergebnisse der Analyse, weshalb die Stimmungsanalyse nur als Teil einer Reihe von Ansätzen für die Entscheidungsfindung im SCM betrachtet werden sollte, die zwar zur Erlangung von wertvollen Erkenntnissen hinsichtlich Verhaltensmuster, nicht aber für präzise Prognosen geeignet ist. [67]

Für zuverlässige Prognosen empfiehlt sich, den Einsatz von KI-gestützten Systemen in Erwägung zu ziehen. KI-Techniken, insbesondere Modelle des maschinellen Lernens, neigen dazu auf Grundlage

von Mustern und Zusammenhängen Regeln abzuleiten und damit das allgemeine Verhalten eines Systems zu modellieren. Tritt jedoch eine bestimmte Entscheidungssituation auf, die eine Ausnahme darstellt und damit vom verallgemeinerten Verhalten abweicht, sind die Modelle unter Umständen nicht in der Lage, einen passenden Lösungsansatz auf Grundlage des Lernvorgangs abzuleiten. Zur Umgehung dieses Problems können im Rahmen eines DSS zwar relevante Informationen nachträglich manuell zum Regelwerk hinzugefügt werden, um potenzielle negative Auswirkungen zu minimieren, gänzlich auf die Expertise des Menschen als Entscheidungsträger lässt sich jedoch nicht verzichten. [78]

Die Erkenntnis, dass mehr Daten nicht zwangsläufig zu einer besseren Entscheidungsfindung führen, sondern stattdessen die Verarbeitung und Gewinnung von Informationen erschwert, macht die Auseinandersetzung mit Filter- und Konsolidierungsmethoden erforderlich. Eine Möglichkeit, die Zahl der Datensätze zu reduzieren, ist der Einsatz einer dynamischen Abstrategie in Kombination mit einer Feedbackkontrolle in der Netzwerkschicht der IoT-Architektur. Ein nicht zu vernachlässigbarer Nebeneffekt des Ganzen ist weiterhin, dass die Lebensdauer des Netzwerks erhöht und der Energieverbrauch gesenkt werden kann. [79]

Neben der Prämisse, dass die Menge des Datenflusses handhabbar gemacht werden muss, gilt weiterhin eine hohe Qualität der Datensätze zu gewährleisten für die Optimierung des Entscheidungsprozesses. Dabei gilt in erster Linie, einen angemessenen Umgang mit fehlenden und redundanten Daten zu finden. [72] Für die Behandlung von fehlenden Daten existieren mehrere Ansätze, die sich hierfür heranziehen lassen. Der wohl einfachste Ansatz besteht darin, sämtliche Beobachtungen, die fehlende Werte aufweisen, gänzlich aus dem Datensatz zu entfernen. Dabei gilt jedoch zu berücksichtigen, dass, wenn ein zu großer Anteil der Beobachtungen für die weitere Betrachtung ausgeschlossen wird, sich dies negativ auf die statistische Aussagekraft auswirkt. Um dies zu verhindern, kann stattdessen die Mittelwertsubstitution für die Ersetzung der fehlenden Werte herangezogen werden. Hierbei wird auf den Mittelwert, meistens für eine spezifische

Gruppe von Beobachtungen, zu der die fehlenden Werte gehören, zurückgegriffen. Einen weiteren Ansatz stellt die Imputation, die Schätzung fehlender Werte, z.B. mittels der multiplen Regression bei stark korrelierten Variablen oder anhand der Monte-Carlo-Simulation, dar. Es gilt jedoch zu beachten, dass hierdurch für große Datensätze das Risiko für eine Überanpassung steigt. [72] Da die Datenqualität stets als Konstrukt aus mehreren Dimensionen zu betrachten ist, gilt es ebenfalls, das Problem mit redundanten Daten anzugehen. Hierfür müssen zwei grundlegende Fragen beantwortet werden. Zunächst muss geklärt werden, wie die eindeutige Identifizierung der Daten erfolgen soll. Im zweiten Schritt gilt es dann zu definieren, wie die Eliminierung doppelter Daten erfolgen soll. Eine mögliche Lösung stellt die Verwendung des sogenannten Bloom-Filters dar. Dabei handelt es sich um eine platzsparende probabilistische Datenstruktur, die der Überprüfung der Mengenzugehörigkeit dient. Hierbei wird ein eindeutiger Identifikator verwendet, der sich über den Einsatz von Hash-Funktionen ergibt, welche alle Daten, die zur selben Entität gehören, zusammenfasst. Stößt man dann auf Daten, die bereits im Datenstrom vorgekommen sind, lassen sich diese entsprechend aus dem Datensatz eliminieren. Zu beachten ist, dass durch die Anzahl der Hash-Funktionen, der Positionen im Bit-Array und Kapazität des Filters zwar das Risiko für eine falsch-positive Klassifikation verringert werden kann, vollständig auszuschließen ist dieses jedoch nicht. [72]

Weiterhin gilt es, gerade bei der zunehmenden Vernetzung, die Zuverlässigkeit von Daten sicherzustellen, indem falsch-positive-Lesungen von Umgebungstranspondern vermieden werden, die Tags, die nicht von Interesse sind, erfassen. Dafür empfiehlt sich die Integration von Algorithmen des maschinellen Lernens in IoT-Plattformen, die eine akzeptable automatische Identifizierung von falsch-positiven RFID-Lesungen erreichen können, wie etwa die SVM, logistische Regression oder das Entscheidungsbaumverfahren. [80] In diesem Zusammenhang gilt es wie bei allen neu einzuführenden Techniken und Methoden als Organisation die zuvor gesetzte Toleranzschwelle neben der Komplexität und erforderlichen

Aufwendungen individuell und sorgfältig für die Auswahl zu prüfen und abzuwägen.

5.2 Reifegradmodell

Mit dem permanenten Wandel der Geschäftsbedingungen und Marktdynamik sind die Unternehmen aufgefordert, sich verstärkt mit kontinuierlicher Verbesserung und der Gesamtsystemoptimierung zu beschäftigen. Dafür gilt es zunächst, die eigene Positionierung in Bezug auf mehrere essenziellen Kriterien, wie IT-Fähigkeiten oder die Qualität der Waren und Dienstleistungen zu bewerten. Herangezogen können hierfür die internen Unternehmensziele, genauso aber auch externe Anforderungen durch die Kunden oder die Gesetzgebung. Auch wenn eine gänzlich objektive Evaluierung kaum realisierbar ist, kann ein Reifegradmodell mit einer bestimmten Abfolge von diskreten Reifegraden und definierten Kriterien bzw. Merkmalen, die es zur Zuordnung sowie zum schrittweisen Stufenaufstieg zu erfüllen gilt, den Prozess durchaus erleichtern. [81][82] Die wesentliche Intention der Entwicklung des Reifegradmodells im Zuge dieser Arbeit ist es dementsprechend, einen Rahmen mit potenziellen Implikations- und Konfigurationsmöglichkeiten für die gegenwärtigen und zukünftigen digitalisierten Lieferketten zu Zeiten von Industrie 4.0 zu präsentieren.

Bisherige Reifegradmodelle behandeln die disruptiven Technologien entweder gar nicht bis kaum explizit, wie das Capability Maturity Model Integration (CMMI), oder nach wie vor als isolierte Konzepte für einige spezielle Anwendungsfälle und setzen damit den Fokus jeweils auf Teilaspekte der Möglichkeiten für die Entscheidungsunterstützung im SCM.

Aufgrund der Tatsache, dass überdies das aktuelle dreidimensionale Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) die Lieferkette weder in die Hierarchieebene noch die Lieferkettenprozesse in den Produktlebenszyklus einbezieht, sind zusätzliche Überlegungen dahingehend erforderlich, wie eine netzwerkweite Transformation gelingen kann. Insbesondere auch vor dem Hintergrund, als dass das SCM im Kontext von Industrie 4.0 eine besondere Stellung einnimmt.

In der Regel stützt sich die Geschäftswelt auf drei kritische Dimensionen, die von den Prozessen zusammengehalten werden: Menschen, Verfahren sowie Methoden, Werkzeuge und Ausstattung. [83] Mit permanenten Veränderungen und dem Wandel zu schnelllebigen Geschäftsmodellen weiten sich auch die Anforderungen aus, wodurch zusätzliche kritische Erfolgsfaktoren sich ergeben. Demzufolge soll neben der Betrachtung von Mitarbeitern, Stakeholdern, Prozessen, der Steuerung und Technologie ergänzend der Datenaspekt und die Strategie Einfluss in das Reifegradmodell finden. Diese identifizierten Erfolgsfaktoren wiederum lassen sich in insgesamt 23 Subdimensionen für eine differenzierte Betrachtung und Bewertung unterteilen (vgl. Tabelle 1).

Dimension	Subdimension	Beschreibung
Mitarbeiter	Kompetenzen	IKT-Kompetenzen, agiles Kompetenzprofil, Führungs- und Methodenkompetenz
	Compliance	Vorschriften und Standards, Monitoring und Reporting, Verantwortlichkeiten
	Qualifizierung/ Schulung	Rollenidentifizierung und -entwicklung, Trainingsmethoden und -maßnahmen, Erstellung und Anpassung erforderlicher Kompetenzprofile, Dokumentation und Koordination
Daten	Schutz & Sicherheit	Schutz des geistigen Eigentums, Sicherheitsbewusstsein, Integration der Vertraulichkeits- und Integritätsaspekte in strategische und operative Initiativen
	Governance	Arbeitsrechtliche Vorschriften, Angemessenheit der technologischen Standards und Richtlinien in der Praxis, kontinuierliche Anpassung durch Orientierung an Feedback-Schleifen
	Auswertung	Einsatz von Systemen/ Methoden und Verfahren, Fokus der Datenanalyse
	Qualität	Bewusstsein für Auswirkungen der Datenqualität, Ebene des Hinterfragens, Rollenzuweisung, Einsatz von Metriken, eingeführte Abläufe über Datenlebenszyklus
Steuerung	Hierarchiestufen/ Ebenen	Eingriffsmöglichkeiten der Steuerung und Regelung
	Informationssysteme	Integrationsstufe einzelner Systeme in die Gesamtarchitektur, Ausweitung der Informationsquellen
Technologie	KI	KI-Fähigkeiten, KI-Projekte, Datenbasis, Infrastruktur
	IoT	IoT-Funktionalitäten, Konnektivitätsumfang
	CC	Implementierungsgrad, Harmonisierungsstand
	BDA	Datenbasis, Umfang der Analyse/ Analytik Anwendungen, Integration von intelligenten Algorithmen, Operationalisierung der Verfahren
	DT	Updatehäufigkeit, Simulationsfähigkeit, Repräsentationsebene/ Geltungsbereich
Prozesse	Materialfluss	Wissensstand über fortschrittliche Lösungen, Implementierungsgrad im Hinblick auf physische Abwicklung von Warenbewegungen
	Informationsfluss	Wissensstand über fortschrittliche Lösungen, Implementierungsgrad im Hinblick auf Kommunikation und Informationsaustausch
	Standards	Etablierungsgrad von standardisierten Abläufen, Umgang mit Spezial- und Sonderfällen
	Automatisierungsgrad	Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine, Autonomie der Technologie
Strategie	Integration	Integrationsstand und Bewusstsein für engere Vernetzung
	Führung	Richtungsplan, Fokus der Strategieauslegung, Reaktionsfähigkeit
	Adaption	Umsetzungsplanung, verfügbare Ressourcen, Anpassung der Geschäftsprozesse und -modelle
Stakeholder	Transparenz	Informationsverfügbarkeit über die eigenen Systemgrenzen hinweg, Übermittlungsformen und -frequenz
	Kollaboration	Art und Umfang des Austausches/ der Koordination

Tabelle 1: Dimensionen und Subdimensionen des entwickelten Reifegradmodells – Eigene Darstellung

Das konzipierte Reifegradmodell umfasst fünf aufeinander aufbauende Reifegradstufen (vgl. Tabelle 2). Die Bewertung der Reife erfolgt zunächst auf Ebene der einzelnen Subdimensionen über ein Scoring von 1 (chaotisch) bis 5 (optimiert) und wird anschließend über alle Kriterien zu einem Gesamtreifegrad aggregiert.

Reifegradstufe	Beschreibung
chaotisch	Zustand einer Organisation ohne explizite Strategie, Instrumente und Maßnahmen bei der Entscheidungsfindung. Finanzieller und zeitlicher Aufwand sowie Qualität sind kaum bis gar nicht vorhersehbar.
reaktiv	Grundlegendes Fundament für den digitalen Wandel existiert, jedoch weder einheitlich, noch standardisiert. Bestehen von funktionalen Silos. Erforderlicher Aufwand und Qualität unterliegen starken individuellen Schwankungen.
systematisch	Zunehmendes Bewusstsein für disruptive Technologien innerhalb der Organisation einschließlich eines konsequenten, gut durchdachten Plans zur Umsetzung wird entwickelt. Erste Pilotprojekte zu intelligenten Anwendungen für die Entscheidungsunterstützung im Einsatz.
proaktiv	Charakterisierung durch gemeinsam abgestimmte, standardisierte und verwaltete Initiativen. Umgesetzte/umzusetzende Strategie explizit dokumentiert. Breiter Transfer erfolgreicher, fortschrittlicher Methoden und Techniken.
optimiert	Vollständige Integration der Digitalisierung in die Geschäftsprozesse, Dienstleistungen und Organisationsstrukturen unter Nutzung von Synergieeffekten. Konsistente Unterstützung über die gesamte Organisation durch situative Führung und kontinuierliche Anpassung der Aufbau- und Ablauforganisation an die veränderten Bedingungen.

Tabelle 2: Definition der Reifegradstufen – Eigene Darstellung

Bei den Rückschlüssen aus den jeweiligen Reifegradstufen ist zu beachten, dass ein vergleichsweise niedriger Reifegrad, etwa bei den Geschäftsprozessen, nicht zwangsläufig die Nutzeneffekte der einzelnen Technologien ausschließt, sondern einzig die potenziellen Auswirkungen schwächen oder erschweren kann. [84] Dabei gilt stets die individuell getroffenen Unternehmensziele und langfristig verfolgte Strategie vor Augen zu führen, sodass z.B. die Einführung hochleistungsfähiger Analytikanwendungen keine hinreichende Bedingung für den Erfolg eines Unternehmens im Zeitalter digitaler Lieferketten darstellt. [33]

Ferner sind die Stufen des Reifegradmodells möglichst als sequenzielle Entfaltung des Potenzials zu verstehen. Anders ausgedrückt bedeutet dies, dass das Auslassen bzw. Überspringen von einzelnen Stufen für die Ausreifung nicht vorteilhaft ist, da hierdurch wertvolle Erfahrungen und Erkenntnisse im Rahmen von kontinuierlicher Lern-, Anpassungs- und Verbesserungsprozessen verloren gehen. [33]

Für die Realisierung einer smarten Supply Chain bzw. Supply Chain 4.0 bedarf es letztendlich die Erfüllung von fünf interdependenten Eigenschaften, die sich in den Dimensionen widerspiegeln. Zunächst muss die Lieferkette instrumentiert sein. Das bedeutet, dass der Datenfluss überwiegend maschinell, etwa durch Sensoren, RFID-Tags oder spezielle Zähler, abläuft. Weiterhin gilt, dass die Akteure der Lieferkette, einschließlich der verschiedenen Geschäftseinheiten, Assets, IT-Systeme und anderer Objekte des Systems eng miteinander vernetzt sind. Mit zunehmender Integration wird auch der Grundstein für die dritte Charakteristik gelegt, und zwar die weitestgehende

Automatisierung geeigneter Prozesse zur verbesserten Ressourceneffizienz. Schließlich sollen die Lieferketten intelligent an die vorherrschenden Bedingungen anpassbar sein und innovationsfördern das Ziel verfolgen, optimale Entscheidungen für das Gesamtsystem zu treffen. [85]

Unternehmen können sich für die systematische Erreichung dieses Zustands an dem in Abbildung 4 dargestellten fünfschichtigen Modell orientieren. Dabei soll weniger eine spezielle Technologie vorgegeben werden, sondern vielmehr der jeweilige Betrachtungsumfang der zu lösenden Herausforderungen in das allgemeine Bewusstsein rücken. Im Zuge der Umsetzung von Supply Chain 4.0 muss demnach zu Anfang sichergestellt werden, dass alle relevanten Rohdaten granular gesammelt und möglichst zentral gespeichert werden können (Verbindungsschicht). Auf der Konvertierungsschicht werden die erfassten Daten falls notwendig in geeignete einheitliche Formate überführt mit dem Ziel möglichst eine Verzerrung oder den Verlust von Inhalten zu vermeiden. Denn direkt im Anschluss erfolgt hier bereits die Extraktion von Informationen aus der verfügbaren Datenlage. Der umfassende Austausch im Netzwerk aus Maschinen, Menschen und Produkten erfolgt entsprechend auf der Verarbeitungsschicht. Auf Grundlage des jeweiligen Anwendungsfalls können im Rahmen der Konfigurationsschicht weiterhin individuelle Anpassungen an technische und organisatorische Anforderungen vorgenommen werden. Letztlich umschließt die Sicherheitsschicht das gesamte Konzept und fungiert als Abschirmung vor internen und externen Bedrohungen, die zu Störungen im SCM führen können und ebenso enorme Risiken für die häufig sensiblen Daten darstellen.



Abbildung 4: Schichtenmodell Supply Chain 4.0 – Eigene Darstellung

Will man einen Überblick über die jeweiligen Einsatzzwecke der verschiedenen Technologiekonzepte und die zu präferierende Maßnahmenstrategie erhalten, so lohnt sich die kartesische Betrachtung über die vorliegende Komplexität und Unsicherheit der Entscheidungssituation sowie den erwarteten Wert (vgl. Abbildung 5).

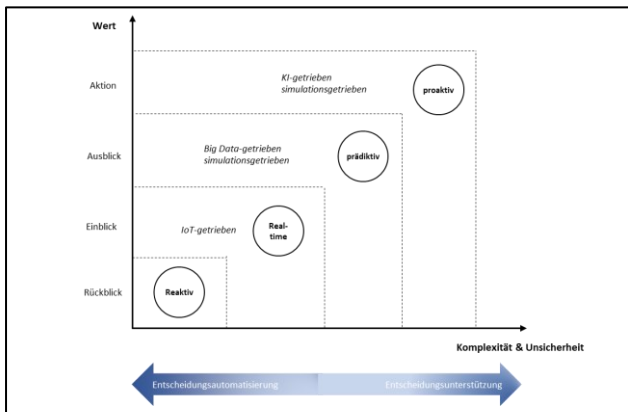


Abbildung 5: Einordnung verschiedener Strategien im SCM 4.0 – Eigene Darstellung

Als Bewertungsgrundlage des Status Quo bzw. für die Ableitung geeigneter Handlungsempfehlungen werden folgende Kriterien herangezogen: Komplexität, zeitlicher Horizont, Wiederholung, Entscheidungsraum und verfügbare Daten. [86] So lässt sich schlussfolgern, wenn eine langfristige, äußerst unsichere und komplexe Entscheidungssituation vorliegt, die Entscheidungsunterstützung, bei der Daten und Informationen ausgewertet werden und infolgedessen angemessene Empfehlungen durch das System geäußert werden, zu bevorzugen ist. Im Gegensatz dazu kann bei vergleichsweise sicheren und häufig wiederkehrenden Konstellationen, für die eine umfassende Datenbasis vorliegt, die Entscheidungsautomatisierung und damit die direkte Weiterverarbeitung von Informationen in Betracht gezogen werden. In der Praxis stellt sich das Kontinuum berechtigterweise als unschärfer dar, als dies in Abbildung 5 veranschaulicht wird, wodurch für den jeweiligen Anwendungsfall eine detaillierte Abwägung zu empfehlen ist.

Außerdem gilt es zu unterscheiden zwischen Maßnahmen und Auswirkungen auf das gesamte Netzwerk, ein Mitglied der Lieferkette oder einzelne

Geschäftsfunktionen. Durch das Hinzuziehen der verschiedenen Prozesstypen gemäß dem SCOR-Modell lässt sich im Rahmen des entwickelten Konzepts noch aufschlussreicher für einzelne Akteure und Prozessstufen der entsprechende Reifegrad bestimmen (vgl. Abbildung 6 und Anhang E). Diese differenzierte Betrachtung der Ebenen verleiht selektiven Verbesserungsschritten jedes Einzelnen eine ähnlich hohe Bedeutung wie dem Streben nach Optimierung der Gesamtlösung.

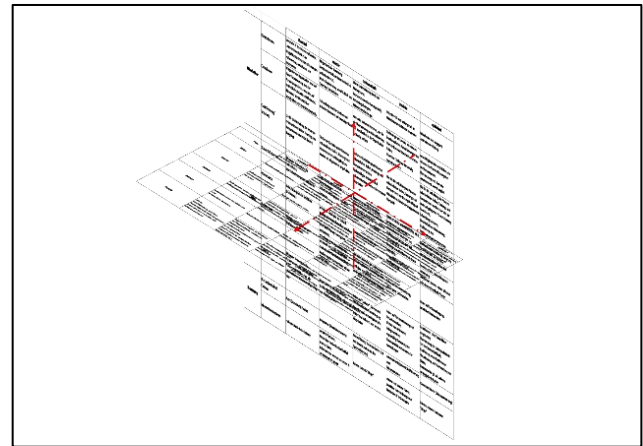


Abbildung 6: Betrachtung des Reifegradmodells als dreidimensionalen Lösungsansatz – Eigene Darstellung

Anhand einer deskriptiven Evaluierungsstrategie, bei der Erkenntnisse aus relevanter Forschung als Argumentationsbasis in Verbindung mit einem konstruierten Szenario für das projektive Aufzeigen des Nutzens dienen, soll nun ein möglicher Transfer kritisch eruiert werden. [87]

Betrachtet werden soll ein fiktives Produktionsunternehmen in einer vierstufigen Lieferkette, bestehend aus dem vorgeschalteten Zulieferer, dem nachgeschalteten Einzelhandel und schließlich dem direkten Abnehmermarkt. Es wird davon ausgegangen, dass über narrative Interviews einzelner Akteure, Wahrnehmungen der gegenwärtigen Umstände und Entwicklungen realitätsnah ermittelt werden können. [88] Erschlossen werden kann, dass die angebotene Produktpalette sich durch Lösungen charakterisiert, die individuell an die jeweiligen Kundenwünsche sich orientieren. Zu diesem Zweck setzt das Produktionsunternehmen auf Unabhängigkeit am Markt und die über die letzten Jahre kontinuierlich aufgebauten Kompetenzen, die bisher für eine bedeutende Differenzierung sorgen. Entsprechend

legt das Unternehmen einen verstärkten Fokus auf die Vertraulichkeit und Integrität, weshalb es bezüglich der Integration mit externen Stakeholdern noch deutlich zurückhaltend agiert. Zusätzlich ist über die verschiedenen Funktionsbereiche auffällig, dass ein wesentlicher Teil des Wissens ausschließlich in impliziter Form vorliegt. Tabelle 3 schlüsselt auf die insgesamt 7 Dimensionen des entwickelten Reifegradmodells die jeweiligen Merkmale des begutachteten Unternehmens auf und zeigt demgemäß das damit einhergehende Reifenniveau.

Dimension	Subdimension	Beschreibung der Evidenz	Skala	Reifegrade
Mitarbeiter	Kompetenzen	Technologiegenutzung nur von Experten; keine Weitsicht der zukünftigen Anforderungen	2	Reaktiv
	Compliance	Eine/ mehrere Personen für Überwachung und Aktualisierung von Vorschriften zuständig	3	Systematisch
Daten	Schutz & Sicherheit	Datenschutz berücksichtigt; formelle Projekte für einheitliche Sicherheit im Umlauf	3	Systematisch
	Qualität	Keine datenspezifischen Rollen; punktuelle Datenbereinigung	2	Reaktiv
Steuerung	Informationssysteme	Isolierte und dezentrale Stand-alone-Lösungen	1	Chaotisch
Technologie	IoT	Verbundene Geräte für internen Einsatz (Überwachung der Warenbewegungen, [Maschinen-]Temperatur, etc.)	2	Reaktiv
	BDA	Analyse ausschließlich strukturierter Daten im Rahmen retrospektiver und deskriptiver Berichte	1	Chaotisch
Prozesse	Standards	Ad-hoc Abläufe	1	Chaotisch
	Automatisierungsgrad	assistiert	2	Reaktiv
Strategie	Führung	Vorausschauende Aktivitäten nur selten; Veränderungen/ Probleme werden ad-hoc gelöst	2	Reaktiv
Stakeholder	Transparenz	Organisation teilt Informationen mit externen Partnern fallbasiert	2	Reaktiv

Tabelle 3: Ausschnitt der Reifegradbewertung eines fiktiven Produktionsunternehmens – Eigene Darstellung

Aus dem Mittel für die verschiedenen Dimensionen aggregiert ergibt sich entsprechend, das im Netzdiagramm dargestellte Ist-Reifegradniveau und die jeweils anzustrebenden Soll-Reifegradstufen (vgl. Abbildung 7).

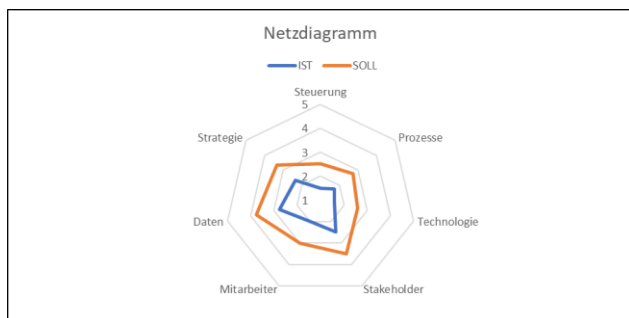


Abbildung 7: Reifegradanalyse – Eigene Darstellung

Neben organisationsspezifischen Handlungsempfehlungen können aus dem Reifegradmodell ergänzend funktionspezifische Gestaltungshinweise und Propositionen abgeleitet werden. Exemplarisch wird dies für die Auftragsabwicklung aufgezeigt (vgl. Abbildung 8). Mit der prozessualen und organisatorischen Aufnahme des Ist-Zustands wurde ein überwiegend reaktives Verhalten des Unternehmens auf Ereignisse festgestellt. Folglich erfolgt auf der Ebene der Auftragsabwicklung zwar der Einsatz eines ERP-Systems, doch ein nicht unwesentlicher Teil von Prozessaktivitäten ist nach wie vor von hohem, manuellem und damit fehleranfälligem Aufwand gekennzeichnet, angefangen mit der Erfassung von Kundenaufträgen, sodass auch eine Reihe von Transaktionen erst manuell angestoßen werden muss. In diesem Zusammenhang steigt zeitgleich der Koordinationsaufwand, sodass einzelne Abteilungen primär im indirekten Bereich als eine Art „Briefträger“ von Daten und Informationen fungieren. Diese Arbeitsweise führt teilweise zu redundanter und inkonsistenter Datenerfassung, was letztlich in Informationsasymmetrien resultiert. [86] Das Unternehmen nimmt sich daher entsprechend dem Reifegradmodell vor, sich verstärkt um die Erhöhung der Transparenz zu fokussieren, sodass die eingesetzten Informationssysteme ein vollständigeres Bild der Auftragslage zu einem beliebigen Zeitpunkt liefern. Eine Option hierfür bietet die Zentralisierung der Eingangskanäle. Der überwiegende Anteil des Informationsaustausches, welcher zwischen nahtlos integrierten Akteuren der Lieferkette stattfindet, wird dabei über den elektronischen Datenaustausch (engl. Electronic Data Interchange [EDI]) abgewickelt. Indem Geschäftsdokumente, wie Rechnungen, Bestellungen oder Lieferscheine, organisationsübergreifend über Nachrichtenprotokolle geteilt werden, kann nicht nur die Abwicklungsgeschwindigkeit erhöht werden, sondern auch der hohe manuelle Aufwand spürbar reduziert werden. [89] Die erhöhte Flexibilität und Reaktionsfähigkeit erlaubt ferner, kurzfristige und vor allem nachgeschaltete Änderungen durch interne oder externe Kunden in die Planungs- und Ausführungsprozesse einzubetten. Da derzeit jedoch nicht alle Kunden in die gemeinsame Systemlandschaft eingebunden sind, empfiehlt sich

der Einsatz der optischen Zeichenerkennung. Sie kann den Umgang mit unstrukturierten PDFs, die per E-Mail übermittelt werden, und dem E-Mail-Text selbst erleichtern, indem die darin enthaltenen Daten maschinell lesbar gemacht werden. Die optische Zeichenerkennung kann in diesem Rahmen nicht nur den Text, sondern auch die Struktur automatisch verarbeiten, sodass Bestellaufgaben klassifiziert und segmentiert werden können. Nicht lesbare Passagen wiederum können hervorgehoben und im Einzelfall vom Menschen gegengeprüft werden. [90] Die letztendliche Zentralisierung kann über den Einsatz eines lokalen EDI-Konverters erreicht werden, der die heterogenen Formate in einheitliche Nachrichtenprotokolle umwandelt. Dadurch lassen sich sämtliche Aufträge nach automatischer Erfassung im zentralen Auftragsbuch des ERP-Systems anzeigen und direkt bearbeiten. [89] Aus dem angestrebten Zustand kann außerdem abgeleitet werden, dass eine Bündelung des Stammdatenmanagements, das für die korrekte und wirkungsvolle Ausführung sämtlicher Geschäftsprozesse verantwortlich ist, vorteilhaft sein kann. Dafür bedarf es neben klarer Zuweisung von Rollen und Verantwortlichkeiten auch einheitliche Standards, die mit den jeweils beteiligten Funktionsbereichen abgestimmt werden müssen, wie die Definition von Pflichtfeldern, das Einbauen von Warnmeldungen oder einen im ERP-System integrierten Workflow mit automatischer Erzeugung von Benachrichtigungen und der Änderungshistorie. [91][92] Auch die automatische Kennzahlengenerierung und -überwachung, die sich hauptsächlich über eine umfassende Integration der Prozesse und Beteiligten ergibt, kann als Handlungsempfehlung betrachtet werden.



Abbildung 8: Positionierung des Unternehmens auf Grundlage der Umsetzung der Auftragsabwicklung – Eigene Darstellung

Nach der exemplarischen Modellanwendung und Demonstration des Ablaufs soll abschließend die Wirksamkeit summativ evaluiert werden.

Die bewusst eher offene Definition der Dimensionen und Reifegrade hat zwar den Vorteil, dass

Unternehmen Handlungsspielraum erhalten bezüglich der individuellen Übertragung auf ihren Fall, jedoch kann dies auch zu divergenter Interpretation der Architektur und Inhalte führen. [93] Demnach sollte das Modell nicht als alleiniges Bewertungsinstrument verstanden werden. Die Relevanz des Modells kann ebenfalls nicht vollständig und pauschal bestätigt werden, da mit der zunehmenden Agilität der Transformation immer neue Anforderungen hinzukommen, die es ggf. bei den Prozessen und Dimensionen zu berücksichtigen geben wird und die gegenwärtig im Modell nicht eingeschlossen sind. [4] Auch wenn das Modell hinsichtlich des Detaillierungsgrads noch Schwachstellen aufweist, kann gerade die Wirtschaftlichkeit bezüglich des erforderlichen Aufwands zur Selbstbewertung des Reifenniveaus und dem Nutzen aus den abgeleiteten Handlungsempfehlungen als gegeben angesehen werden. Auch die Klarheit als ein Evaluationskriterium ist positiv zu bewerten, da das Modell einen in sich umschlossenen Rahmen und nützliche Hilfsmittel zum schnellen und einfachen Aufzeigen von Stärken und Schwächen sowie der Vorgabe einer Richtung zur kontinuierlichen Verbesserung eines Einzelunternehmens, aber auch der gesamten Lieferkette liefert. [94][95]

Die stufenweise und damit diskrete Form der Einordnung des Ist-Zustands über ein solches Reifegradmodell ist verständlicherweise keine detaillierte Darstellung der komplexen Gegebenheiten. Vor allem vor dem Hintergrund, dass die Bewertung des Status Quo in der Regel eine subjektive Evaluation innerhalb der eigenen Organisation verbleibt. Nichtsdestotrotz bietet sie eine übergeordnete Sicht auf die Gesamtsituation und erlaubt entsprechend eine einfache und verständliche Charakterisierung mit der Chance für direkte geschäftsbezogene Implikationen.

Die im Rahmen der Arbeit entwickelte textuelle und teilweise visuelle Beschreibungssystematik sollte in Zukunft um ein qualitatives Bewertungsinstrument, wie einen Fragebogen oder detaillierten Leitfaden ergänzt werden. Darüber hinaus kann neben der Selbstanwendung auch eine Anwendung des Modells über einen unabhängigen Experten geprüft werden, um tatsächlich die unverzerrte Realität des

Ausgangszustands des Untersuchungsgegenstands sicherzustellen.

Auch wenn die durchgeführte Fallstudie und Demonstration des Modells nicht ausreichen für eine umfassende Validierung wurden wesentliche Nutzenpotenziale für den industriellen Kontext aufgezeigt. Damit stellt das vorgestellte Modell einen ersten bedeutenden Schritt in Richtung Supply Chain 4.0 dar, den es in Zukunft gezielt nachzuverfolgen gilt.

6 Diskussion

Der technologische Fortschritt zieht zahlreiche Chancen nach sich, doch entscheidend ist, sich den einhergehenden Risiken mit Bedacht zu stellen. So müssen die Unternehmen etwa sicherstellen, dass die von ihnen erworbenen Daten nicht nur in ausreichender Menge, sondern vor allem auch in der nötigen Qualität vorliegen und die Strategien stets mit den übergeordneten Unternehmenszielen im Einklang stehen. [96] Auch wenn mit dem Einsatz von intelligenten Algorithmen und fortschrittlicher Analytik unbestreitbare Vorteile einhergehen, gilt schließlich zu bekennen, dass nicht alle Unternehmen und Lieferketten denselben Schwierigkeiten begegnen, die eine generelle Implementierung erfordern. [33]

Für die erfolgreiche Einführung der disruptiven Technologien als Entscheidungsunterstützung sind offene Standards, die der Öffentlichkeit zur Verfügung stehen, ein wichtiger Schlüsselfaktor. Über sie lässt sich eine bessere Interoperabilität von Systemen gewährleisten, sodass die organisatorischen und technischen Barrieren, etwa durch das niedrigere Risiko, auf einen einzelnen bestimmten Anbieter oder eine Technologie beschränkt zu sein, für die Entwicklung sowie Umsetzung in naher Zukunft gesenkt werden. [74][97]

Darüber hinaus bleibt weiterhin offen, wie ein angemessener Rahmen mit Strategien, Vorschriften und ethischen Leitlinien zur Verhinderung des Missbrauchs von disruptiven Technologien, primär KI, aussehen mag, den entsprechende Regulierungsbehörden durchzusetzen haben. [98] Eine gesonderte Rolle werden zudem die Arbeitgeber einnehmen müssen, indem sie den Widerstand gegen

die zunehmende Automatisierung und neuen Mensch-Maschine-Interaktionen durch geeignete Maßnahmen, wie die aktive Beteiligung der Belegschaft am Veränderungsprozess und die bedarfsgerechte Wissens- und Kompetenzentwicklung, zu senken versuchen. [22][99] Dabei ist der Fokus nicht missverständlicher Weise aufgrund der Tatsache, dass es sich um technologiegetriebene Neuerungen handelt, allein auf analytische Fähigkeiten aus den Bereichen Vorhersage, Optimierung, Stochastik und mathematische Modellierung zu legen, sondern prinzipiell verstärkt auch auf sozio-kommunikative und zwischenmenschliche Kompetenzen, um zum einen die engere Verzahnung der involvierten Parteien zu ermöglichen bzw. kontinuierlich zu verbessern und zum anderen die neu gewonnenen Erkenntnisse effektiv vermitteln zu können. [100]

7 Fazit und Ausblick

Die heutige Geschäftswelt wird immer digitaler, kurzlebiger und vielseitiger, weshalb sich verstärkt mit der digitalen Transformation und den damit verbundenen disruptiven Veränderungen über alle Geschäftsbereiche hinweg beschäftigt werden muss.

Bedingt durch die marginale Behandlung der Auswirkungen und Interdependenz von disruptiven Technologien im Zusammenhang mit dem SCM, die über die bisherigen Forschungsaktivitäten, die sich vorwiegend auf die Produktion und produktionsnahe Bereiche beschränken, hinausgehen, wurde mit der vorliegenden Arbeit angestrebt, diese Lücke zu schließen. Auf Grundlage der herausgestellten Strukturen von Supply Chains wird versucht, systematisch das Potenzial ausgewählter Technologieansätze herauszustellen, um gestützt auf empirischen Ergebnissen ein generisches Reifegradmodell zur Bewertung des Status Quo und entsprechend der jeweils in Betracht zu ziehenden Maßnahmen zu entwickeln.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Bedeutung von IKT für ein erfolgreiches SCM exponentiell zunimmt. Das Zusammenspiel aus Big Data, vernetzten Objekten und der stetigen Weiterentwicklung von analytischen Informationssystemen hebt die Entscheidungsfindung auf eine neue Ebene, bei der selbst in Echtzeit erlangte Erkenntnisse unmittelbar

verarbeitet und für das Präsentieren von Handlungsempfehlungen eingesetzt werden können. Eine solche Form der Wertschöpfung stellt eine disruptive Innovation dar, als dass der wesentliche Teil des Entscheidungsprozesses bislang menschlichem Urteilsvermögen vorbehalten war.

Die Ergebnisse der Trend- und Potenzialanalyse bekräftigen ferner, dass die umfassende Digitalisierung der Lieferketten in Verbindung mit der kollaborativen und kooperativen Zusammenarbeit mehrere fundamentale Vorteile mit sich bringen kann, darunter eine erhöhte Transparenz sowie eine verbesserte Entscheidungsgrundlage. Durch ein höheres Maß an Konnektivität, eine nahtlose Integration und damit mehr Flexibilität bei gleichzeitig geringerem Risiko und Ressourcenverbrauch können disruptive Technologien beim Umgang mit gegenwärtigen zentralen Herausforderungen begünstigen, was sich z.B. in einer verbesserten Maschinenauslastung, niedrigeren Lager- und Bestandskosten, geringerer Anzahl erforderlicher Transporte und damit auch in einer geringeren Verursachung von Treibhausgasemissionen äußert.

Für die Entscheidungsträger bedeutet der ungebremste Entwicklungstrend aber auch, die oft in den Unternehmen bereits reichlich vorhandenen Daten nicht als alleinigen Faktor für einen garantierten Erfolgs- bzw. Wettbewerbsvorteil zu betrachten. Vielmehr gilt es, diese kontextbezogen für die Lösung von Geschäftsproblemen einfließen zu lassen. Dafür bedarf es neben der Bereitstellung von Ressourcen für den Aufbau einer geeigneten Infrastruktur in erster Linie ein entsprechendes Bewusstsein von Mitarbeitern und Management, die klare Ziele und Metriken definieren und die richtigen Fragen stellen. Zur Behandlung dieses hohen Komplexitätsgeflechts unterschiedlichster zu berücksichtigender Faktoren wird ein Reifegradmodell mit insgesamt sieben heterogenen Dimensionen, die sich wiederum in 23 Subdimensionen aufschlüsseln lassen, vorgestellt. Dieses bietet im Übrigen die Möglichkeit, funktionsspezifische Handlungsempfehlungen gemäß dem SCOR-Modell als Referenzrahmen über die Erweiterung in die dritte Dimension abzuleiten.

Auch wenn mit dem Einsatz von disruptiven Technologien unbestreitbare Vorteile einhergehen, gilt es zu bekennen, dass nicht alle Unternehmen und Lieferketten denselben Schwierigkeiten begegnen, die eine Implementierung für den generellen Erfolg erfordern, weshalb das entwickelte Reifegradmodell nur als begünstigendes Hilfsmittel zur Bewertung der individuellen Ausgangssituation mit richtungsweisenden Empfehlungen zur künftigen Entwicklung zu verstehen ist.

In Zukunft gilt es, stetig weiteren inhaltlichen Input zu erfassen, um die Stufen des Reifegradmodells noch besser abgrenzen zu können, etwa durch praxisnahe Befragungen oder die Durchführung von repräsentativen Fallstudien. Ferner ist die Erweiterung der Betrachtung um weitere disruptive Innovationen, wie Blockchain, 3D-Druck oder Augmented Reality, denkbar.

Auch wenn die Demonstration und Evaluation der Modellanwendung nicht für eine vollständige Validierung ausreichen, zeigen sie beträchtliches Potenzial für den industriellen Kontext auf. Damit stellt die Arbeit einen wichtigen initialen Schritt zur Unterstützung der digitalen Transformation dar.

Literaturverzeichnis

- [1] M. Christopher, *Logistics and supply chain management: Creating value-adding networks*, 3rd ed. Harlow: Financial Times/Prentice Hall, 2005.
- [2] A. McAfee and E. Brynjolfsson, "Big Data: The Management Revolution," *Harvard Business Review*, vol. 90, no. 10, pp. 60–68, 2012.
- [3] J.-C. Pomerol and F. Adam, "Understanding Human Decision Making - A Fundamental Step Towards Effective Intelligent Decision Support," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 97, *Intelligent Decision Making: An AI-Based Approach*, G. Phillips-Wren, N. Ichalkaranje, and L. Jain, Eds., Berlin: Springer, 2008, pp. 3–40.
- [4] M. Grazia Speranza, "Trends in transportation and logistics," *European Journal of Operational Research*, vol. 264, no. 3, pp. 830–836, 2018, doi: 10.1016/j.ejor.2016.08.032.

- [5] A. Eydi and L. Fazli, "A decision support system for single-period single sourcing problem in supply chain management," *Soft Computing*, vol. 23, pp. 13215–13233, 2019, doi: 10.1007/s00500-019-03864-0.
- [6] Ş. Y. Balaman, A. Matopoulos, D. G. Wright, and J. Scott, "Integrated optimization of sustainable supply chains and transportation networks for multi technology bio-based production: A decision support system based on fuzzy ϵ -constraint method," *Journal of Cleaner Production*, Advance online publications, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.150.
- [7] M. P. Fanti, G. Iacobellis, M. Nolich, A. Rusich, and W. Ukovich, "A Decision Support System for Cooperative Logistics," *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 732–744, 2017, doi: 10.1109/TASE.2017.2649103.
- [8] F. Zhang, D. Johnson, M. Johnson, D. Watkins, R. Froese, and J. Wang, "Decision support system integrating GIS with simulation and optimisation for a biofuel supply chain," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 740–748, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.07.041.
- [9] R. D. Raut, A. Gotmare, B. E. Narkhede, U. H. Govindarajan, and S. U. Bokade, "Enabling Technologies for Industry 4.0 Manufacturing and Supply Chain: Concepts, Current Status, and Adoption Challenges," *IEEE Engineering Management Review*, vol. 48, no. 2, pp. 83–102, 2020, doi: 10.1109/EMR.2020.2987884.
- [10] W. A. Teniwut and C. L. Hasyim, "Decision support system in supply chain: A systematic literature review," *Uncertain Supply Chain Management*, vol. 8, no. 1, pp. 131–148, 2020, doi: 10.5267/j.uscm.2019.7.009.
- [11] R. Winter, "Gestaltungsorientierte Forschung in der Betriebswirtschaftslehre – mit spezieller Berücksichtigung der Wirtschaftsinformatik," in *Business Engineering, Wirtschaftsinformatik in Wissenschaft und Praxis: Festschrift für Hubert Österle*, W. Brenner and T. Hess, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer, 2014, pp. 65–85.
- [12] D. M. Lambert, M. C. Cooper, and J. D. Pagh, "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities," *International Journal of Logistics Management*, vol. 9, no. 2, pp. 1–19, 1998.
- [13] M. C. Cooper, D. M. Lambert, and J. D. Pagh, "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics," *International Journal of Logistics Management*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, 1997, doi: 10.1108/09574099710805556.
- [14] S. Chopra and P. Meindl, *Supply chain management: Strategy, planning, and operation*, 5th ed. Boston: Pearson, 2013.
- [15] Supply Chain Council, *Supply Chain Operations Reference Model: Revision 11.0*, 2012.
- [16] U. R. F. Averweg, *Decision-making support systems: Theory & practice*. London: Ventus Publishing ApS, 2012.
- [17] G. A. Forgiione, "Decision technology systems: a vehicle to consolidate decision making support," *Information Processing & Management*, vol. 27, no. 6, pp. 679–697, 1991.
- [18] H. A. Simon, "Decision Making: Rational, Nonrational, and Irrational," *Educational Administration Quarterly*, vol. 29, no. 3, pp. 392–411, 1993.
- [19] J. C. Tarter and W. K. Hoy, "Toward a contingency theory of decision making," *Journal of Educational Administration*, vol. 36, no. 3, pp. 212–228, 1998, doi: 10.1108/09578239810214687.
- [20] F. Eisenführ and M. Weber, *Rationales Entscheiden*, 3rd ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 1999.
- [21] S. B. Harsh, "Management Information Systems," 2005.
- [22] A. Neher, "Logistics Management in an IoT World," in *IEEE Press series on technology management, innovation, and leadership, The digital transformation of logistics: Demystifying impacts of the fourth industrial revolution*, M. Sullivan and J. Kern, Eds., Hoboken, New Jersey: Wiley-IEEE Press, 2021, pp. 27–40.
- [23] Gartner Inc., *Gartner Says Advanced Analytics Is a Top Business Priority*. [Online]. Available: <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2014-10-21-gartner-says-advanced-analytics-is-a-top-business-priority> (accessed: Apr. 4 2022).

- [24] R. H. Sprague and H. J. Watson, "Bit by Bit: Toward Decision Support Systems," *California Management Review*, vol. 22, no. 1, pp. 60–68, 1979.
- [25] L. Fink, N. Yogev, and A. Even, "Business intelligence and organizational learning: An empirical investigation of value creation processes," *Information & Management*, vol. 54, no. 1, pp. 38–56, 2017, doi: 10.1016/j.im.2016.03.009.
- [26] D. J. Power, *Decision support systems: Concepts and resources for managers*. Westport, Conn.: Quorum Books, 2002.
- [27] 451 Research, "Decision Intelligence: A New Enabler for Data-Driven Decisions," 2022. Accessed: Mar. 29 2022. [Online]. Available: [https://content.pyramidanalytics.com/hubfs/Lead%20Magnets/Analyst%20Reports/11404_Pyramid_451R_Advisory_BIB_DecisionIQ_2022_\(1\).pdf?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.pyramidanalytics.com%2F](https://content.pyramidanalytics.com/hubfs/Lead%20Magnets/Analyst%20Reports/11404_Pyramid_451R_Advisory_BIB_DecisionIQ_2022_(1).pdf?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.pyramidanalytics.com%2F)
- [28] E. Turban, L. Volonino, G. R. Wood, and J. C. Sipior, *Information technology for management: Advancing sustainable, profitable business growth*, 9th ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2013.
- [29] Bitkom, VDMA, and ZVEI, "Umsetzungsstrategie Industrie 4.0: Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0," 2015.
- [30] K. Ashton, "That Internet of Things Thing," *RFID Journal*, 2009. [Online]. Available: <http://www.itrco.jp/libraries/RFIDjournal-That%20Internet%20of%20Things%20Thing.pdf>
- [31] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2015, doi: 10.1109/COMST.2015.2444095.
- [32] M. E. Porter and J. E. Heppelmann, "How Smart, Connected Products Are Transforming Companies," *Harvard Business Review*, vol. 93, no. 10, pp. 96–114, 2015.
- [33] N. R. Sanders, "How to Use Big Data to Drive Your Supply Chain," *California Management Review*, vol. 58, no. 3, pp. 26–48, 2016, doi: 10.1525/cm.2016.58.3.26.
- [34] H. Chen, R. H. L. Chiang, and V. C. Storey, "Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact," *Management Information Systems Quarterly*, vol. 36, no. 4, pp. 1165–1188, 2012.
- [35] A. Gandomi and M. Haider, "Beyond the hype: Big data concepts, methods, and analytics," *International Journal of Information Management*, vol. 35, no. 2, pp. 137–144, 2015, doi: 10.1016/j.ijinfomgt.2014.10.007.
- [36] S. Jeble, S. Kumari, and Y. Patil, "Role of Big Data in Decision Making," *Operations and Supply Chain Management*, vol. 11, no. 1, pp. 36–44, 2018, doi: 10.31387/oscm0300198.
- [37] I. A. T. Hashem, I. Yaqoob, N. B. Anuar, S. Mokhtar, A. Gani, and S. Ullah Khan, "The rise of "big data" on cloud computing: Review and open research issues," *Information Systems*, vol. 47, pp. 98–115, 2015, doi: 10.1016/j.is.2014.07.006.
- [38] M. E. Aviles, "The Impact of Cloud Computing in Supply Chain Collaborative Relationships, Collaborative Advantage and Relational Outcomes," *Electronic Theses and Dissertations*, 2015. [Online]. Available: <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/etd/1244>
- [39] M. Attaran, "Cloud Computing Technology: Leveraging the Power of the Internet to Improve Business Performance," *Journal of International Technology and Information Management*, vol. 26, no. 1, pp. 112–137, 2017.
- [40] S. Berman, L. Kesterson-Townes, A. Marshall, and R. Srivathsa, "The power of cloud: Driving business model innovation," IBM Institute for Business Value, 2012.
- [41] S. Faraj, S. Pachidi, and K. Sayegh, "Working and Organizing in the Age of the Learning Algorithm," *Information and Organization*, vol. 28, no. 1, pp. 62–70, 2018, doi: 10.1016/j.infoandorg.2018.02.005.

- [42] J. McCarthy, *What is Artificial Intelligence*, 2007. Accessed: Apr. 12 2022. [Online]. Available: <http://www-formal.stanford.edu/jmc/whatisai.pdf>
- [43] J. Fang, H. Su, and Y. Xiao, "Will Artificial Intelligence Surpass Human Intelligence?," 2018, doi: 10.2139/ssrn.3173876.
- [44] U. Awan, N. Kanwal, S. Alawi, J. Huiskonen, and A. Dahanayake, "Artificial Intelligence for Supply Chain Success in the Era of Data Analytics," in *Studies in Computational Intelligence*, vol. 935, *The Fourth Industrial Revolution: Implementation of Artificial Intelligence for Growing Business Success*, A. Hamdan, A. E. Hassanien, A. Razzaque, and B. Alareeni, Eds., Cham: Springer, 2021, pp. 3–21.
- [45] M. Grieves, "PLM Initiatives," [Powerpoint Slides], 2002. Accessed: Apr. 17 2022. [Online]. Available: <https://slidetodoc.com/product-lifecycle-management-dr-michael-grieves-codirector-u/>
- [46] F. Tao, H. Zhang, A. Liu, and A. Y. C. Nee, "Digital Twin in Industry: State-of-the-Art," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 15, no. 4, pp. 2405–2415, 2019, doi: 10.1109/TII.2018.2873186.
- [47] M. Grieves, "Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication," 2014. Accessed: Apr. 17 2022. [Online]. Available: <https://www.3ds.com/fileadmin/PRODUCTS-SERVICES/DELMIA/PDF/Whitepaper/DELMIA-APRISO-Digital-Twin-Whitepaper.pdf>
- [48] F. Tao, M. Zhang, Y. Liu, and A. Nee, "Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment," *CIRP Annals*, vol. 67, no. 1, pp. 169–172, 2018, doi: 10.1016/j.cirp.2018.04.055.
- [49] M. Kunath and H. Winkler, "Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process," *Procedia CIRP*, vol. 72, pp. 225–231, 2018, doi: 10.1016/J.PROCIR.2018.03.192.
- [50] T. Y. Melesse, V. Di Pasquale, and S. Riemma, "Digital Twin models in industrial operations: State-of-the-art and future research directions," *IET Collaborative Intelligent Manufacturing*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1049/cim2.12010.
- [51] B. R. Barricelli, E. Casiraghi, and D. Fogli, "A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 167653–167671, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953499.
- [52] M. Ben-Daya, E. Hassini, and Z. Bahroun, "Internet of things and supply chain management: a literature review," *International Journal of Production Research*, vol. 57, 15-16, pp. 4719–4742, 2019, doi: 10.1080/00207543.2017.1402140.
- [53] S. Chehbi-Gamoura, R. Derrouiche, D. Damand, and M. Barth, "Insights from big Data Analytics in supply chain management: an all-inclusive literature review using the SCOR model," *Production Planning & Control*, 2019, doi: 10.1080/09537287.2019.1639839.
- [54] H. Schrödl, "Adoption of Cloud Computing in Supply Chain Management Solutions: A SCOR-Aligned Assessment," in *Lecture Notes in Computer Science, Web Technologies and Applications: 14th Asia-Pacific Web Conference, APWeb 2012, Kunming, China, April 11-13, 2012. Proceedings*, Q. Z. Sheng, G. Wang, C. S. Jensen, and G. Xu, Eds., Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 233–244.
- [55] M. Abdel-Basset, G. Manogaran, and M. Mohamed, "Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems," *Future Generation Computer Systems*, vol. 86, pp. 614–628, 2018, doi: 10.1016/j.future.2018.04.051.
- [56] A. Haddud, A. DeSouza, A. Khare, and H. Lee, "Examining potential benefits and challenges associated with the Internet of Things integration in supply chains," *Journal of Manufacturing Technology Management*, vol. 28, no. 8, pp. 1055–1085, 2017, doi: 10.1108/JMTM-05-2017-0094.

- [57] B. K. Chae and D. L. Olson, "Business analytics for supply chain: A dynamic-capabilities framework," *International Journal of Information Technology & Decision Making*, vol. 12, no. 1, pp. 9–26, 2013, doi: 10.1142/S0219622013500016.
- [58] S. V. D. Niaki and A. Shafaghat, "A Review of the concept of Supply Chain Digital Twin in the Era of Industry 4.0," *Journal of Applied Intelligent Systems & Information Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 47–57, 2021, doi: 10.22034/JAISIS.2021.317742.1038.
- [59] S. Shah, M. Bolton, and S. Menon, "A Study of Internet of Things (IoT) and its Impacts on Global Supply Chains," *2020 International Conference on Computation, Automation and Knowledge Management (ICCAKM)*, pp. 245–250, 2020, doi: 10.1109/ICCAKM46823.2020.9051474.
- [60] C. N. Verdouw, A. Beulens, and J. van der Vorst, "Virtualisation of floricultural supply chains: A review from an Internet of Things perspective," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 99, pp. 160–175, 2013, doi: 10.1016/j.compag.2013.09.006.
- [61] S. Alyahya, Q. Wang, and N. Bennett, "Application and integration of an RFID-enabled warehousing management system – a feasibility study," *Journal of Industrial Information Integration*, Advance online publication, 2016, doi: 10.1016/j.jii.2016.08.001.
- [62] E. Gutierrez-Franco, C. Mejia-Argueta, and L. Rabelo, "Data-Driven Methodology to Support Long-Lasting Logistics and Decision Making for Urban Last-Mile Operations," *Sustainability*, vol. 13, pp. 1–33, 2021, doi: 10.3390/su13116230.
- [63] F. Zantalis, G. Koulouras, S. Karabetsos, and D. Kandris, "A Review of Machine Learning and IoT in Smart Transportation," *Future Internet*, vol. 11, no. 4, pp. 1–23, 2019, doi: 10.3390/fi11040094.
- [64] W. Turki and B. Mounir, "A proposition of a decision support system for Reverse Logistics," in *2014 International Conference on Advanced Logistics and Transport (ICALT)*, Hammamet, Tunisia, 2014, pp. 120–125.
- [65] A. Degbotse, A. K. Ang, N. Q. Vuong, and J. S. K. Tan, "Predictive Analytics in Reverse Supply Chain Management Commodity Life Expectancy for Quality Engineering," *2017 IEEE 19th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, pp. 1–7, 2017.
- [66] M. A. Waller and S. E. Fawcett, "Data Science, Predictive Analytics, and Big Data: A Revolution That Will Transform Supply Chain Design and Management," *Journal of Business Logistics*, vol. 34, no. 2, pp. 77–84, 2013, doi: 10.1111/jbl.12010.
- [67] L. C. Wood, T. Reiners, and H. S. Srivastava, "Think Exogenous to Excel: Alternative Supply Chain Data to Improve Transparency and Decisions," *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 20, no. 5, pp. 426–443, 2017, doi: 10.1080/13675567.2016.1267126.
- [68] F. Kache and S. Seuring, "Challenges and opportunities of digital information at the intersection of Big Data Analytics and supply chain management," *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 37, no. 1, pp. 10–36, 2017, doi: 10.1108/IJOPM-02-2015-0078.
- [69] M. S. Sodhi, Z. Seyedghorban, H. Tahernejad, and D. Samson, "Why emerging supply chain technologies initially disappoint: Blockchain, IoT, and AI," *Production and Operations Management*, vol. 10, no. 1, pp. 1–21, 2022, doi: 10.1111/poms.13694.
- [70] M. D. Assuncao, R. N. Calheiros, S. Bianchi, M. A. S. Netto, and R. Buyya, "Big Data Computing and Clouds: Trends and Future Directions," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 79-80, no. 1, pp. 3–15, 2015, doi: 10.1016/j.jpdc.2014.08.003.
- [71] D. Bumblauskas, H. Nold, P. Bumblauskas, and A. Igou, "Big data analytics: transforming data to action," *Business Process Management Journal*, vol. 23, no. 3, pp. 703–720, 2017, doi: 10.1108/BPMJ-03-2016-0056.
- [72] V. N. Gudivada, Apon Amy, and J. Ding, "Data Quality Considerations for Big Data and Machine Learning: Going Beyond Data Cleaning and Transformations," *International Journal on Advances in Software*, vol. 10, no. 1, pp. 1–20, 2017.

- [73] J. A. Marmolejo-Saucedo, "Design and Development of Digital Twins: a Case Study in Supply Chains," *Mobile Networks and Applications*, vol. 25, pp. 2141–2160, 2020, doi: 10.1007/s11036-020-01557-9.
- [74] A. Čolaković and M. Hadžialić, "Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues," *Computer Networks*, Advance online publication, 2018, doi: 10.1016/j.comnet.2018.07.017.
- [75] S. Biswas and J. Sen, "A Proposed Architecture for Big Data Driven Supply Chain Analytics," *International Journal of Supply Chain Management*, pp. 1–24, 2016.
- [76] M. Chamekh, M. Hamdi, S. El Asmi, and T.-H. Kim, "Secured Distributed IoT Based Supply Chain Architecture," in *2018 IEEE 27th International Conference on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WETICE)*, Paris, 2018, pp. 199–202.
- [77] S. M. A. Burney, S. M. Ali, and S. Burney, "A survey of soft computing applications for decision making in supply chain management," *2017 IEEE 3rd International Conference on Engineering Technologies and Social Sciences (ICETSS)*, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ICETSS.2017.8324158.
- [78] G. González Rodríguez, J. M. Gonzalez-Cava, and J. A. Méndez Pérez, "An intelligent decision support system for production planning based on machine learning," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 31, no. 5, pp. 1257–1273, 2020, doi: 10.1007/s10845-019-01510-y.
- [79] Y. Elbanoby, M. Aborizka, and F. Maghraby, "Real-Time Data Management For IoT In Cloud Environment," *2019 IEEE Global Conference on Internet of Things (GCIoT)*, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1109/GCIoT47977.2019.9058394.
- [80] H. Ma, Y. Wang, and K. Wang, "Automatic detection of false positive RFID readings using machine learning algorithms," *Expert Systems with Applications*, vol. 91, pp. 442–451, 2018, doi: 10.1016/j.eswa.2017.09.021.
- [81] T. de Bruin, M. Rosemann, R. Freeze, and U. Kaulkarni, "Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model," in *16th Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*, Sydney, 2005.
- [82] J. Becker, R. Knackstedt, and J. Pöppelbuß, "Developing Maturity Models for IT Management: A Procedure Model and its Application," *Business & Information Systems Engineering*, vol. 1, no. 3, pp. 213–222, 2009, doi: 10.1007/s12599-009-0044-5.
- [83] R. Constantinescu and I. M. Iacob, "Capability maturity model integration," *Journal of Applied Quantitative Methods*, vol. 2, no. 1, pp. 31–37, 2007.
- [84] M. P. V. de Oliveira, K. McCormack, and P. Trkman, "Business analytics in supply chains – the contingent effect of business process maturity," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, no. 5, pp. 5488–5498, 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2011.11.073.
- [85] L. Wu, X. Yue, A. Jin, and D. C. Yen, "Smart supply chain management: a review and implications for future research," *The International Journal of Logistics Management*, vol. 27, no. 2, pp. 395–417, 2016, doi: 10.1108/IJLM-02-2014-0035.
- [86] H. Laux, R. M. Gillenkirch, and H. Y. Schenk-Mathes, *Entscheidungstheorie*, 9th ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2014.
- [87] A. R. Hevner, S. T. March, J. Park, and S. Ram, "Design Science in Information Systems Research," *Management Information Systems Quarterly*, vol. 28, no. 1, pp. 75–105, 2004.
- [88] I. Küsters, *Narrative Interviews: Grundlagen und Anwendungen*, 2nd ed. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2009.
- [89] IW Consult and GS1 Germany, *Elektronischer Datenaustausch (EDI)*. [Online]. Available: <https://www.prozeus.de/eBusiness/themen/edi/index.htm> (accessed: Aug. 14 2022).

- [90] D. Schaefer, *Digitale Auftragserfassung: Ein wichtiger Schritt in der Digitalisierung von Unternehmen*. [Online]. Available: <https://www.retarus.com/de/digitale-auftragserfassung-ein-wichtiger-schritt-in-der-digitalisierung-von-unternehmen/> (accessed: Aug. 14 2022).
- [91] B. Otto and H. Österle, *Corporate Data Quality: Voraussetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016.
- [92] ISO 8000-2, “Data quality - Part 2: Vocabulary,” 2018.
- [93] U. Herb, “Meta-Perspektiven: Open Access, Open Knowledge, Open Source,” in *Open Initiatives: Offenheit in der digitalen Welt und Wissenschaft*, U. Herb, Ed.: universaar, 2012, pp. 32–44.
- [94] N. Kamprath, “Einsatz von Reifegradmodellen im Prozessmanagement,” *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, vol. 48, no. 6, pp. 93–102, 2011, doi: 10.1007/BF03340648.
- [95] F. Backlund, D. Chronéer, and E. Sundqvist, “Maturity assessment: towards continuous improvements for project-based organisations?,” *International Journal of Managing Projects in Business*, vol. 8, no. 2, pp. 256–278, 2015, doi: 10.1108/IJMPB-05-2014-0047.
- [96] M. Bérubé, T. Giannelia, and G. Vial, “Barriers to the Implementation of AI in Organizations: Findings from a Delphi Study,” *Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 6702–6711, 2021, doi: 10.24251/HICSS.2021.805.
- [97] T. de Vass, H. Shee, and S. J. Miah, “IoT in Supply Chain Management: Opportunities and Challenges for Businesses in Early Industry 4.0 Context,” *Operations and Supply Chain Management*, vol. 14, no. 2, pp. 148–161, 2021, doi: 10.31387/oscm0450293.
- [98] Y. Duan, J. S. Edwards, and Y. K. Dwivedi, “Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data – evolution, challenges and research agenda,” *International Journal of Information Management*, vol. 48, pp. 63–71, 2019, doi: 10.1016/J.IJINFOMGT.2019.01.021.
- [99] M. Klumpp, “Automation and artificial intelligence in business logistics systems: human reactions and collaboration requirements,” *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 21, no. 3, pp. 224–242, 2018, doi: 10.1080/13675567.2017.1384451.
- [100] T. Schoenherr and C. Speier-Pero, “Data Science, Predictive Analytics, and Big Data in Supply Chain Management: Current State and Future Potential,” *Journal of Business Logistics*, vol. 36, no. 1, pp. 120–132, 2015, doi: 10.1111/jbl.12082.
- [101] A. Y. Ha, Q. Tian, and S. Tong, “Information Sharing in Competing Supply Chains with Production Cost Reduction,” *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 19, no. 2, pp. 246–262, 2017, doi: 10.1287/msom.2016.0607.
- [102] S. Ahmed *et al.*, “Towards Supply Chain Visibility Using Internet of Things: A Dyadic Analysis Review,” *Sensors*, vol. 21, no. 12, 2021, doi: 10.3390/s21124158.
- [103] H. S. Birkel and E. Hartmann, “Impact of IoT challenges and risks for SCM,” *Supply Chain Management*, vol. 24, no. 1, pp. 39–61, 2019, doi: 10.1108/SCM-03-2018-0142.
- [104] J. Bughin *et al.*, “Artificial intelligence: The next digital frontier?,” McKinsey Global Institute, 2017.
- [105] P. Helo and Y. Hao, “Artificial intelligence in operations management and supply chain management: an exploratory case study,” *Production Planning & Control*, vol. 96, no. 1, pp. 1–18, 2021, doi: 10.1080/09537287.2021.1882690.
- [106] M. M. Najafabadi, F. Villanustre, T. M. Khoshgoftaar, N. Seliya, R. Wald, and E. Muharemagic, “Deep learning applications and challenges in big data analytics,” *Journal of Big Data*, vol. 2, no. 1, pp. 1–21, 2015, doi: 10.1186/s40537-014-0007-7.
- [107] M. Shrivastav, “Barriers Related to AI Implementation in Supply Chain Management,” *Journal of Global Information Management*, vol. 30, no. 8, pp. 1–19, 2022, doi: 10.4018/JGIM.296725.

- [108] Q. Cao, D. G. Schniederjans, and M. Schniederjans, "Establishing the use of cloud computing in supply chain management," *Operations Management Research*, vol. 10, 1-2, pp. 47–63, 2017, doi: 10.1007/s12063-017-0123-6.
- [109] C. G. Cegielski, A. L. Jones-Farmer, Y. Wu, and B. T. Hazen, "Adoption of cloud computing technologies in supply chains," *International Journal of Logistics Management*, vol. 23, no. 2, pp. 184–211, 2012, doi: 10.1108/09574091211265350.
- [110] A. Chakroun, A. El Bouchti, and H. Abbar, "Logistics and Supply Chain Analytics: Benefits and Challenges," *Proceedings of the Second World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4)*, pp. 44–50, 2018.
- [111] N. J. Ogbuke, Y. Y. Yusuf, K. Dharma, and B. A. Mercangoz, "Big data supply chain analytics: ethical, privacy and security challenges posed to business, industries and society," *Production Planning & Control*, vol. 33, 2-3, pp. 123–137, 2020, doi: 10.1080/09537287.2020.1810764.
- [112] T. D. Moshood, G. Nawanir, S. Sorooshian, and O. Okfalisa, "Digital Twins Driven Supply Chain Visibility within Logistics: A New Paradigm for Future Logistics," *Applied System Innovation*, vol. 4, no. 2, pp. 1–24, 2021, doi: 10.3390/asi4020029.
- [113] A. Rasheed, O. San, and T. Kvamsdal, "Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 21980–22012, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970143.
- [114] S. Singh, E. Shehab, N. Higgins, K. Fowler, T. Tomiyama, and C. Fowler, "Challenges of Digital Twin in High Value Manufacturing," *SAE Technical Papers*, pp. 1–10, 2018.
- [115] J. S. Srail, E. Settanni, N. Tsolakis, and P. K. Aulakh, "Supply chain digital twins: Opportunities and Challenges Beyond the Hype," in *Proceedings of the 23rd Cambridge International Manufacturing Symposium University of Cambridge*, Cambridge, UK, 2019, pp. 1–6.

Anhang

Anhang A

Prozesstyp	Enable	Plan	Source	Make	Deliver	Return
Autor						
Abdel-Basset et al. (2018)	X			X	X	
Alyahya et al. (2016)					X	
Barricelli et al. (2019)				X		
Ben-Daya et al. (2019)	X			X		
Benkachcha et al. (2014)		X				
Bhutta und Ahmad (2021)		X				
Biswas und Sen (2016)		X	X	X	X	
Bousqaoui et al. (2017)		X				
Cao et al. (2017)	X					
Cavalcantea et al. (2019)			X		X	
Chae und Olson (2013)			X	X	X	
Chai et al. (2013)			X			
Chakroun et al. (2018)	X					
Chehbi-Gamoura et al. (2019)		X		X	X	X
Chistyakova et al. (2016)	X	X				
Degbotse et al. (2017)						X
Ding (2019)		X		X	X	
Fanti et al. (2017)		X			X	
Gahm (2020)		X				
Gill et al. (2019)	X					
González Rodríguez et al. (2020)		X				
Gutierrez-Franco et al. (2021)					X	
Haddud et al. (2017)	X	X			X	
Haße et al. (2019)	X					
Hopkins und Hawking (2018)	X				X	X
Ivanov und Dolgui (2019)	X	X				
Ivanov und Dolgui (2021)	X					
Kediya et al. (2021)	X	X	X		X	
Knoll et al. (2019)					X	

Kuehn (2018)	X	X				
Kunath und Winkler (2018)	X	X			X	
Lee et al. (2021)					X	
Ma et al. (2018)	X					
Matkovic et al. (2014)	X					
Palakshappa und Patil (2018)		X				
Pan et al. (2021)					X	
Park et al. (2021)		X				
Raman et al. (2018)		X				
Sanders (2016)	X	X	X	X	X	X
Santos et al. (2020)	X	X				
Schrödl (2012)		X	X	X	X	X
Shah et al. (2020a)		X	X	X	X	
Shah und Theodosoulaki (2018)	X	X	X			
Shevtshenko et al. (2020)		X		X		
Shrivastav (2022)	X	X	X	X	X	
Silva et al. (2017)		X				
Souza (2014)		X	X	X	X	X
Stan et al. (2021)					X	
Stefanovic (2015)		X				X
Tao und Zhang (2017)	X			X		
Tiwari und Jain (2013)	X	X	X			
Verdouw et al. (2013)			X			
Wang et al. (2020)		X				
Xing et al. (2016)	X					
Yan et al. (2014)					X	
Zantalis et al. (2019)					X	
Zhuang et al. (2018)	X			X		
Zong et al. (2021)			X			
	24	30	14	15	24	7
	<i>41,38%</i>	<i>51,72%</i>	<i>24,14%</i>	<i>25,86%</i>	<i>41,38%</i>	<i>12,07%</i>

Tabelle 4: Verteilung nach Thema (SCOR-Phase) – Eigene Darstellung

Anhang B

Autor	Technologie-Adaption					
	IoT	KI	CC	BDA	DT	Andere ¹
Abdel-Basset et al. (2018)	X					X
Abideen et al. (2021)		X			X	
Alam und El Saddik (2017)	X		X		X	
Alyahya et al. (2016)	X					
An (2012)		X				
Andres et al. (2016)			X			
Assuncao et al. (2015)			X	X		
Attadjei et al. (2018)					X	
Attaran (2012)	X					
Attaran (2017)			X			
Attaran (2020)	X		X	X		X
Aviles (2015)			X			
Awan et al. (2021)		X				
Balaman et al. (2018)		X				X
Barricelli et al. (2019)	X	X			X	
Baryannis et al. (2019)		X				X
Bedi et al. (2021)	X	X		X		X
Ben-Daya et al. (2019)	X					
Benkachcha et al. (2014)		X				
Bérubé et al. (2021)		X				
Bhoir und Patil (2014)			X			
Bhutta und Ahmad (2021)	X	X	X			X
Birkel und Hartmann (2019)	X					
Biswas und Sen (2016)			X	X		
Bousqaoui et al. (2017)		X				
Bughin et al. (2017)		X				
Burney et al. (2017)		X				
Calatayud et al. (2019)	X	X	X			

¹ Andere: Blockchain, AR/ VR, MCDM, etc.

Cao et al. (2017)			X			
Cavalcante et al. (2019)		X			X	
Cegielski et al. (2012)			X			
Chae und Olson (2013)		X		X		
Chai et al. (2013)		X				X
Chakroun et al. (2018)				X		
Chamekh et al. (2018)	X		X			
Chavez et al. (2017)				X		
Chehbi-Gamoura et al. (2019)				X		
Chen et al. (2015)				X		
Chistyakova et al. (2016)		X				
Čolaković und Hadžialić (2018)	X		X			
Dash et al. (2019)		X				
de Vass et al. (2021)	X			X		
Degbotse et al. (2017)		X		X		
Demirkan und Delen (2013)			X	X		
Ding (2019)					X	
Duan et al. (2019)		X		X		
Elbanoby et al. (2019)	X		X	X		
Fanti et al. (2017)			X			
Fatorachian und Kazemi (2020)	X		X	X		X
Fu et al. (2017)		X				X
Gahm (2020)			X			
Gerlach et al. (2021)					X	
Gesing et al. (2018)		X				
Gill et al. (2019)	X	X	X			X
González Rodríguez et al. (2020)		X				
Gudivada et al. (2017)		X		X		
Gupta und Jones (2014)	X		X			
Gutierrez-Franco et al. (2021)		X			X	
Haddud et al. (2017)	X					
Hasanova und Romanovs (2020)	X	X		X		X
Haße et al. (2019)	X			X	X	
Heilig et al. (2019)		X		X		
Helo und Hao (2021)		X				

Hopkins und Hawking (2018)	X		X	X		
Ivanov und Dolgui (2019)					X	X
Ivanov und Dolgui (2021)	X	X		X	X	X
Jacyna-Gołda und Izdebski (2017)		X				
Jarrahi (2018)		X				
Jeble et al. (2018)				X		
Kache und Seuring (2017)				X		
Karumanchi et al. (2019)			X			X
Kassner und Mitschang (2015)		X				
Kediya et al. (2021)	X	X				
Klumpp (2018)		X				
Knoll et al. (2019)		X				
Kochak und Sharma (2015)		X				
Koot et al. (2021)	X			X		
Kuehn (2018)		X				X
Kunath und Winkler (2018)					X	
Lee et al. (2021)		X				
Ma et al. (2018)	X	X				
Marmolejo-Saucedo (2020)					X	
Martens et al. (2012)			X			
Matkovic et al. (2014)			X			
Melesse et al. (2021)					X	
Miah (2015)			X			
Min (2015)		X				
Moshood et al. (2021)	X		X		X	X
Najafabadi et al. (2015)		X		X		
Neher (2021)	X			X		
Nguyen et al. (2018)				X		
Niaki und Shafaghat (2021)					X	
Ogbuke et al. (2020)				X		
Palakshappa und Patil (2018)		X		X		
Pan et al. (2021)		X			X	
Park et al. (2021)					X	X
Phase und Mhetre (2018)	X					
Phillips-Wren (2012)		X				

Puica (2020)			X			
Raman et al. (2018)				X		
Rasheed et al. (2020)		X		X	X	
Raut et al. (2020)	X		X	X		X
Rejeb et al. (2018)	X	X		X		
Rejeb et al. (2019)	X					X
Rukavitsyn et al. (2017)			X			
Sanders (2016)				X		
Santos et al. (2020)					X	
Schoenherr und Speier-Pero (2015)				X		
Schrödl (2012)			X			
Shah et al. (2020a)	X					
Shah et al. (2020b)	X					
Shah und Theodosoulaki (2018)				X		
Shevtshenko et al. (2020)					X	
Shrivastav (2022)		X				
Silva et al. (2017)		X				
Singh et al. (2018)					X	
Sodhi et al. (2022)	X	X				X
Souza (2014)		X		X		X
Srai et al. (2019)					X	
Stan et al. (2021)					X	
Stefanovic (2015)		X		X		
Tao et al. (2019)					X	
Tao und Zhang (2017)					X	
Tawde und Jaswal (2017)		X				
Teniwut und Hasyim (2020)		X		X		
Tiwari und Jain (2013)			X			
Toorajipour et al. (2021)		X				
Turki und Mounir (2014)	X					X
Turner et al. (2019)	X	X	X			
Verdouw et al. (2013)	X				X	
Waller und Fawcett (2013)				X		
Wang et al. (2016)				X		
Wang et al. (2020)					X	

Witkowski (2017)	X			X		
Wood et al. (2017)				X		
Wu et al. (2016)	X			X		
Xia et al. (2020)	X	X				
Xing et al. (2016)			X			
Yan et al. (2014)	X		X			
Zantalis et al. (2019)	X	X				
Zhang et al. (2021)					X	
Zhuang et al. (2018)	X			X	X	
Zong et al. (2021)		X				
	44	60	35	45	30	22
	<i>30,77%</i>	<i>41,96%</i>	<i>24,48%</i>	<i>31,47%</i>	<i>20,98%</i>	<i>15,38%</i>

Tabelle 5: Übersicht – Forschungsstand zu disruptiven Technologien – Eigene Darstellung

Anhang C

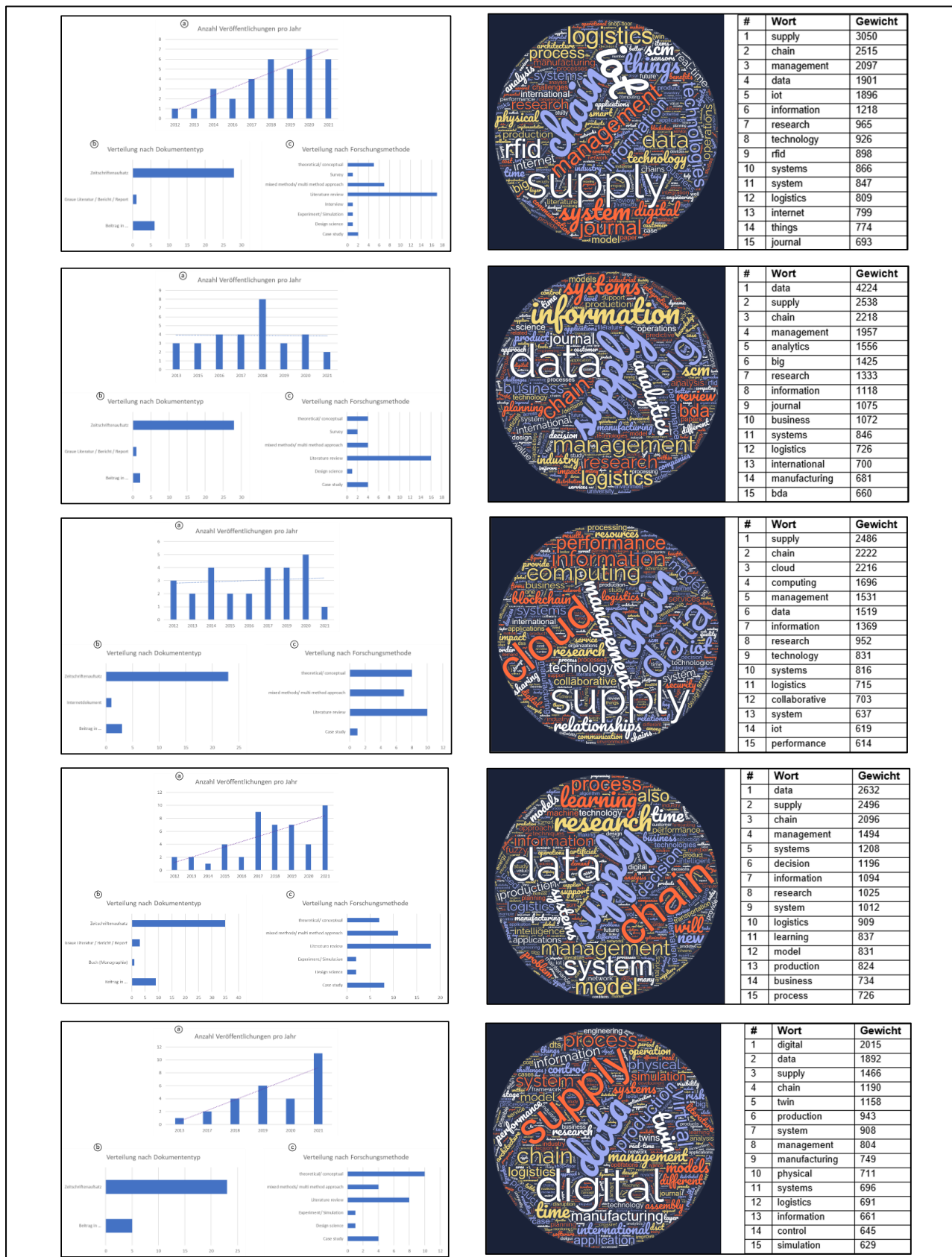


Abbildung 9: Literaturswertung über Verteilungsanalyse und Wortwolken (von oben nach unten: IoT, BDA, CC, KI, digitaler Zwilling) – Eigene Darstellung (in Anlehnung an wordclouds.com)

Anhang D

Referenz	Risiken und Herausforderungen	Betroffene Bereiche
[56], [74], [97], [101], [102], [103]	<ul style="list-style-type: none"> • Sorge um die Sicherheit und Privatsphäre, Vertrauensfragen (gesellschaftliche Herausforderung) • Hohe Kosten für die Skalierung, teilweise lange Amortisationszeit der anfänglichen Investitionen (ökonomische Herausforderung) • Sicherheitsfragen (Authentifizierung, Zugangskontrolle, Virenschutz, Kryptografie, etc.), fehlende Standards und Interoperabilität, Hardware- und Softwarebeschränkungen bezüglich heterogener Datenspeicherung und -verarbeitung (technologische Herausforderungen) • Fehlendes Wissen, mangelndes Bewusstsein für Vorteile sowie geringe Akzeptanz seitens der Mitarbeiter und des Managements, Angst Informationen umfassend zu teilen, komplexe Systemimplementierung und Datenverwaltung, Mangel an qualifizierten Humanressourcen (organisatorische Herausforderungen) 	IoT
[96], [104], [105], [106], [107]	<ul style="list-style-type: none"> • Befürchtung vor massenhaften Wegfall der Jobs, Interessenkonflikte (zwischen den verschiedenen Akteuren im SCM), Rechenschaftspflicht und Transparenz beim Einsatz von KI-Systemen, unklare rechtliche Rahmenbedingungen, fehlendes Vertrauen in KI-Lösungen (gesellschaftliche Herausforderung) • Teilweise hohe Amortisationszeit von KI-Projekten, teure Mitarbeiter durch Knappheit an hochqualifiziertem Personal, hohe Rechenkosten von KI-Modellen, Identifikation geeigneter Problemstellungen/ Anwendungsfälle (ökonomische Herausforderungen) • Fehlende IT-Infrastruktur, Unfähigkeit wertvolle und hochqualitative Daten zu erfassen bzw. aus der Datenmenge zu extrahieren, Zunahme von Schnittstellen/ der Dimensionalität und unterschiedlicher Datenformate, mangelnde Skalierbarkeit der Programme, fehlende Integrationsmöglichkeiten von Altsystemen (technologische Herausforderungen) • Hohe Nachfrage nach einer begrenzten Anzahl von KI-Experten, fehlende technische Fähigkeiten zur Implementierung von maschinellem Lernen, geringer Kenntnisstand zur KI, fehlende Akzeptanz von KI-Anwendungen unter den Beschäftigten, Fehlen klarer Ziele (organisatorische Herausforderungen) 	KI
[74], [108], [109]	<ul style="list-style-type: none"> • Datenschutz und Datensicherheit (gesellschaftliche Herausforderung) • Hohe Kosten (Verbindungskosten) bei großer Datenübertragung über das Internet, Trugschluss günstiger Preismodelle durch teilweise versteckte Kosten (ökonomische Herausforderungen) • Übertragung großer Datenmengen von einer Vielzahl von Edge-Geräten (vernetzte Sensoren, Smartphones, etc.) an die Cloud-Infrastruktur führt zu negativen Auswirkungen auf die Netzleistung in Form von Verzögerungen, Reduzierung der Bandbreite oder Überlastung (technologische Herausforderungen) • Anbieterabhängigkeit, unklare Bestimmungen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Daten bei Konkurs des Cloud-Providers (organisatorische Herausforderungen) 	CC

[33], [71], [100], [110], [111]	<ul style="list-style-type: none"> • Mangelndes Vertrauen in Daten, Informationssicherheit und Datenschutz, statistische Diskriminierung (gesellschaftliche Herausforderung) • Fehlende/ unklare Wirtschaftlichkeit des Geschäftsmodells, hohe Kosten für die Entwicklung, Modifizierung und Wartung als auch für verfügbare Lösungen, teure Mitarbeiter durch Knappheit an hochqualifiziertem Personal (ökonomische Herausforderungen) • Umgang mit Datenvielfalt, mangelhafte Datenqualität, Insellösungen mit fehlender Integration und teilweise unterschiedlicher Datengrundlage (technologische Herausforderungen) • Überforderung der Unternehmen durch ständig wachsende Datenflut, fehlende technische und analytische Kompetenzen, fehlende Strategie zur zielführenden Interpretation und Übersetzung der Mess- und Analysedaten in angemessene Handlungsoptionen (organisatorische Herausforderungen) 	BDA
[50], [112], [113], [114], [115]	<ul style="list-style-type: none"> • Diskussion und Sorge um Dateneigentum, Cyber-Sicherheit und Datenschutz, Misstrauen in Umgang mit Daten, fehlende einheitliche Regeln und Vorschriften, Angst vor dem gläsernen Unternehmen (gesellschaftliche Herausforderung) • Hohe Kosten (für Investitionen und Wartung), Servitisierung als Paradigmenwechsel (ökonomische Herausforderungen) • Zunahme der Komplexität von verknüpften Artefakten/ Prozessen und der Umwelt, Entwicklung einer perfekten Kopie der physischen Systeme über verschiedene Lieferkettenstufen momentan nicht im Rahmen des technisch Möglichen, mangelhafte Datenqualität, mangelnde Interoperabilität, Datenmanagement, Latenz bei Echtzeitkommunikation und Mensch-Maschine-Interaktionen, mangelnde Integration der Partner und Systeme entlang der Wertschöpfungs- bzw. Lieferkette (technologische Herausforderungen) • Fehlende/ unzureichende Standardisierung, Mangel an Know-how und interorganisationalem Wissenstransfer, Anbieterabhängigkeit, kein einheitliches Verständnis vom Konzept, Datensilos (organisatorische Herausforderungen) 	Digitaler Zwilling

Tabelle 6: Risiken und Herausforderungen bei der Entwicklung und Einführung einzelner disruptiver Technologien – Eigene Darstellung

Anhang E

	chaotisch	reaktiv	systematisch	proaktiv	optimiert
Kompetenzen	Klassische IT-Kenntnisse vorhanden; Unternehmen fehlt es an Möglichkeiten Industrie 4.0-Lösungen zu bewerten, aufzubauen und einzusetzen	Möglichkeit der Bewertung bestehender Infrastruktur im Hinblick auf Industrie 4.0; Technologienutzung ausschließlich von Experten/ Spezialisten	Aktive Unterstützung durch das Management; Ressourcen werden bereitgestellt; technologiebezogene Mitarbeiterschulungen	Industrie 4.0 wird umfangreich als Mitarbeiterproduktivität umgesetzt	Mitarbeiter sind engagiert; zentralisierte Führung
Compliance	Mitglieder der Organisation sind sich ihrer Verantwortung und der Auswirkungen ihres Handelns auf betriebliche Abläufe nicht bewusst; fehlendes Verständnis über Vorschriften und Industriestandards	Behandlung von Vorschriften und Industriestandards auf einmaliger Basis	eine oder mehrere Personen, die für die Überwachung und Aktualisierung von Vorschriften in der Organisation zuständig ist/ sind	Technologie im Einsatz, um mit den kontinuierlichen Aktualisierungen von Vorschriften und Standards Schritt zu halten; Team hat Erfolg und Misserfolg operationalisiert	neue Möglichkeiten und Risiken, die sich aus den Vorschriften ergeben werden analysiert; Überwachung und Test wird automatisiert soweit möglich
Qualifizierung/ Schulung	Die für die Einhaltung der Prozesse erforderlichen Rollen, Trainings und Kompetenzen sind nicht formell festgelegt	Die für die Einhaltung der Prozesse erforderlichen Rollen, Trainings und Kompetenzen sind festgelegt und werden im Allgemeinen eingehalten	Die für die Einhaltung der Prozesse erforderlichen Rollen, Trainings und Kompetenzen sind zur Rückverfügbarkeit einheitlich dokumentiert und werden konsequent eingehalten	Die für die Einhaltung der Prozesse erforderlichen Rollen, Trainings und Kompetenzen werden über alle vor- und nachgelagerten Prozesse hinweg koordiniert; Lebenslanges Lernen; Bereitschaft zur Veränderung; Etablierung von Wissensmanagementsystemen	Die für die Einhaltung der Prozesse erforderlichen Rollen, Trainings und Kompetenzen werden über alle vor- und nachgelagerten Prozesse hinweg koordiniert; Lebenslanges Lernen; Bereitschaft zur Veränderung; Etablierung von Wissensmanagementsystemen
Schutz & Sicherheit	fehlendes Bewusstsein für Datenschutz; kein Sicherheitssystem vorhanden	Datenschutz wird in Teilen berücksichtigt; Sicherheit abhängig von einzelnen Systemen	Datenschutz wird berücksichtigt; formale Projekte initiiert, um Lücken und Redundanzen aufgrund mehrerer isolierter Lösungen zu schließen	Datenschutz ist verinnerlicht und wird weitgehend angewendet; standardisierte Strategien und Verfahren existieren und sind systemgestützt	Datenschutz ist vollständig integriert; Sicherheit wird als zentraler gemeinsamer Dienst behandelt
Governance	keine Strategien und Verfahren (Richtlinien)	vereinzelt Strategien im Umlauf; wenige oder keine formellen Verfahren	Entwicklung von Strukturen	Strategien und Verfahren sind weit verbreitet; Unternehmen übernimmt Verantwortung	kontinuierliche Überprüfung und Anpassung; Stimme des Kunden ist der Schlüssel zum aktiven Feedback-Prozess
Auswertung	sporadisches Berichtswesen (intuitionsgestrieben)	kein Datenmanagementsystem vorhanden; grundlegende Analysewerkzeuge vereinzelt im Einsatz (deskriptive Statistik oder Korrelationsanalyse); Analyseergebnisse meist nur ad-hoc präsentiert	Ziel ist es, die richtigen Daten, zum richtigen Zeitpunkt, am richtigen Ort verfügbar zu machen; deskriptive & diagnostische Analysen	Fokus auf Fehlervermeidung; präskriptive Datenanalyse	Fokus auf Fehlervermeidung; prädiaktive Datenanalyse
Qualität	fehlendes Bewusstsein für Auswirkungen der Datenqualität; Auffassung/ Glaube, dass alle Informationen standardmäßig richtig sind	keine datenspezifischen Rollen; punktuelle Datenbereinigung innerhalb von Abteilungslos;	Fokus auf "saubere" Daten durch strukturierte Datenbereinigung; Datenformate und obligatorische Felder sind definiert und werden eingehalten	Fokus auf Fehlerentdeckung und Ursachenanalyse; Einsatz von definierten Erfolgsmetriken; regelmäßige Bewertung der Datenqualität und Analyse der Auswirkungen	Funktion des Chief Data Officer eingerichtet; Überwachung der Datenqualität als Teil der Standardabläufe; Etablierung einer Plattform zur Visualisierung und Überwachung von Daten; Datenqualität gilt als laufende strategische Initiative

Abbildung 10: Reifegradmodell (Teil 1) – Eigene Darstellung

	chaotisch	reaktiv	systematisch	proaktiv	optimiert	
Steuerung	Hierarchiestufen/ Ebenen	Asset (Maschine)/ Produkt	Control Device/ Kommunikation (mit der Umwelt und unter den Systemeinheiten)	automatisierte (dezentrale) Steuerung und Dokumentation	Connected World (Selbstoptimierung)	
	Informationssysteme	isolierte stand-alone-Systeme	veraltete Systeme; Architektur umfasst ausschließlich interne Daten; Informationen werden nur selten & unsystematisch geteilt	interne Daten & "Dinge";	interne, externe Daten und "Dinge"	
	KI	begrenzte oder gar keine KI-Lösungen im Einsatz; bestehende Strukturen werden informell genutzt; keine Daten vorhanden, die als Trainingsatz geeignet sind	Entdeckung der KI-Technologie; sporadische Durchführung von KI-Projekten; Integration der für das Training von KI-Lösungen erforderlichen Daten	KI-Projekte befinden sich in einem fortgeschrittenen Stadium; Festlegung der für die weitere Umsetzung der KI erforderlichen Infrastruktur; geeignete Datenwissenschaft ist vorhanden, um kritische Geschäftsentscheidungen mithilfe von KI zu treffen	Vollständige Etablierung der KI-Infrastruktur und Standardisierung; proaktive Datenanalyse; Rollen, Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten sind für sämtliche KI-Projekte klar definiert; Daten sind in Echtzeit verfügbar	
	IoT	Isolierte Sensoren und MZM-Anwendungen; eingeschränkte Funktionen	verbundene Geräte; einfache Protokolle	verwaltete Dienste; gesicherte Fernverwaltung; zuverlässige Qualität der Dienste	intelligente Entscheidungen; angewandte kontextbezogene Analytik; Gewinnung von Wissen und Erkenntnissen	konvergente Technik; Zusammenspiel mit anderen Disziplinen; einheitliche intelligente Lösungen
Technologie	CC	kein Cloud Ansatz; keine Cloud Elemente im Einsatz; Systeme werden von Teams in Silos verwaltet	rudimentäres Bewusstsein für Cloud Computing; einige Teams beginnen mit der Implementierung einzelner Cloud-Elemente; es bestehen unterschiedliche, redundante Ansätze	betroffene Parteien haben Ansätze harmonisiert, das Konzept geprüft und akzeptiert; dokumentierte Konzept wird befolgt	Alle Dienste und Anwendungen werden automatisch bereitgestellt; Funktionalitäten werden auf Grundlage konsistent erfasster Metriken stetig verbessert	
	BDA	strukturierte Daten sind die Basis für die Erstellung von retrospektiven Berichten und deskriptiven Analysen	horizontale Skalierung; Behandlung fortschrittlicher Analysen in Teilen des Unternehmens	Erfassung, Kennzeichnung und Dokumentation zusätzlicher Daten und deren Metadaten für eine bessere Sichtbarkeit und Steuerung; Beginn der Operationalisierung fortgeschrittener analytischer Anwendungsfälle	Nutzung von Automatisierung und maschinellem Lernen zur Verbesserung der Daten- und Mustererkennung; Implementierung von Analysemodellen in die Geschäftsstruktur	Einsatz von Algorithmen des maschinellen Lernens für einen sich selbst verbessernden Datenspeicher mit intelligenter Datenbereinigung, -sicherheit und -verwaltung
	DT	Updatehäufigkeit auf Jahresbasis; keine Simulationsfähigkeit; Darstellung von Betriebsdaten aus Sensoren und betriebstechnischen Systemen	Updatehäufigkeit auf Wochenbasis; Konnektivität unilateral; statische Simulationsfähigkeit; Analyse historischer Trends und potenzieller Ursachen für Ausfälle/Verschlechterungen	Updatehäufigkeit auf Tagesbasis; Konnektivität bilateral; Einzelfall Simulationsfähigkeit (einzelne definierte Szenarien); Modellierung des wahrscheinlichen künftigen Verhaltens auf der Grundlage der Analyse von Betriebsparametern; Kombination von Betriebsmodellen mit Unternehmens- und externen Daten für eine operative und strategische Sicht auf Anlagen und das Unternehmen im jeweiligen Kontext	Updatehäufigkeit auf Stundenbasis; Konnektivität automatisch (gesteuert gemäß Kontext); dynamische Simulationsfähigkeit; digitaler Zwilling als Teil einer umfassenden multidimensionalen Unternehmensanalysefähigkeit, die künstliche Intelligenz einsetzt, um Interventionen zu empfehlen und Handlungsalternativen für die Wertschöpfungskette aufzuzeigen	Sofortige Updates, die echtzeitgesteuert sind (ereignisbasierend); vorausschauende/ präskriptive Simulationsfähigkeit; digitaler Zwilling als Herzstück der Organisation, der in der Lage ist, selbstständig einzugreifen und neue Maßnahmen zu ergreifen, um Effizienz, Rentabilität, Zuverlässigkeit und Sicherheit zu erhalten und nachhaltig zu verbessern

Abbildung 11: Reifegradmodell (Teil 2) – Eigene Darstellung

	chaotisch	reaktiv	systematisch	proaktiv	optimiert	
Prozesse	Materialfluss	kennen fortschrittliche Lösungen zur Verbesserung des Materialflusses, nutzen sie aber nicht	einzelne fortschrittliche Lösungen zur Verbesserung des Materialflusses werden bereits eingesetzt	fortschrittliche Lösungen zur Verbesserung des Materialflusses sind breit implementiert	alle möglichen fortschrittlichen Lösungen zur Verbesserung des Materialflusses sind implementiert	
	Informationsfluss	nicht über fortschrittliche Lösungen zur Verbesserung des Informationsflusses informiert	kennen fortschrittliche Lösungen zur Verbesserung des Informationsflusses, nutzen sie aber nicht	einzelne fortschrittliche Lösungen zur Verbesserung des Informationsflusses werden bereits eingesetzt	alle möglichen fortschrittlichen Lösungen zur Verbesserung des Informationsflusses sind implementiert	
	Standards	wenige oder keine standardisierten Verfahren rund um den Betrachtungsumfang	grundlegende Prozessanalysen führen zu vereinzelten ad-hoc-Abläufen	erste Modellierung von abteilungsübergreifenden Prozessen zur Vorbereitung der Automatisierung	automatisierte Prozesse umfassen Systeme und Abteilungen	robuster Umgang mit Ausnahmesituationen und Möglichkeit des Experimentierens innerhalb des Rahmens
	Automatisierungsgrad	manuell	assistiert	teilautomatisiert	hochautomatisiert	autonom
Strategie	Integration	fehlendes Bewusstsein für Notwendigkeit der Integration	Integrationsbedarf erkannt, jedoch fehlt Wissen/ Kompetenzen zur Bewältigung	Integration wird eingeleitet	vollständige Integration führt zu Synergieeffekten	
	Führung	vorausschauende Aktivitäten finden nur selten statt; Veränderungen tendieren dazu als Überraschung wahrgenommen zu werden, worauf Reaktionen ohne vollständiges Verständnis der Auswirkungen eingeleitet werden; Ziele und Pläne sind oft implizit und nicht dokumentiert; die Führungsebene ist sich der allgemeinen Richtung und der Auswirkungen nicht bewusst; Aktivitäten werden unternommen, ohne dass eindeutig klar ist, wie sie umgesetzt werden sollen	die Organisation hat eine informelle Struktur geschaffen, die größere Veränderungen vorherzusehen und schnell Reaktionspläne aufstellen kann; Ziele und Pläne werden in der Regel dokumentiert, aber in erster Linie an Führungskräfte und Schlüsselpersonen in der Organisation vermittelt;	Vorausschauende Aktivitäten stehen regelmäßig auf der Tagesordnung aller Führungsebenen; Organisation weitergegeben; jeder ist sich der Auswirkungen bewusst und richtet seine Arbeit entsprechend aus	Vorausschauende Aktivitäten und Diskussionen über die Zukunft sind ein wichtiger Bestandteil der Planungsaktivitäten; Überwachung laufender Veränderungen, kombiniert mit gut durchdachten Plänen und Auswirkungen, ermöglicht der Organisation rechtzeitig und erfolgreich auf das Umfeld zu reagieren; jeder in der Organisation verfolgt die Ziele und Pläne, um seine Entscheidungen zu treffen und die täglichen Aufgaben zu erfüllen	Organisation verfügt sowohl über erfolgreiche Prozesse zur Überwachung von und Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen als auch die Fähigkeit diese Veränderung in die gewünschte Richtung zu beeinflussen; Mitglieder der Organisation werden nicht nur in die täglichen Geschäftsentscheidungen einbezogen, sondern auch in die unmittelbare Feedbackschleife, die die Ziele und Ergebnisse verfeinert und stetig anpasst; Optimierung von der Außenperspektive; Vorantreiben der Unternehmens- & Branchentransformation
	Adaption	fehlende Vision und Strategie	Vision und Strategie werden intern vorangetrieben	Vision ist festgelegt und Maßnahmen sind definiert	Strategie ist klar definiert	Strategie wird als führend in der Branche wahrgenommen
	Transparenz	Organisation stellt vereinzelt Informationen für das externe Umfeld unsystematisch zur Verfügung	Organisation bietet und ermöglicht fallbasiert den Zugang zu Informationen für das externe Umfeld	Organisation stellt der externen Umwelt verständliche Informationen zur Verfügung	Organisation ermöglicht die Nachvollziehbarkeit der bereitgestellten Informationen	Organisation ermöglicht den Dialog mit dem externen Umfeld über die bereitgestellten Informationen
Stakeholder	Kollaboration	kein Datenaustausch mit Lieferanten/ Kunden oder zwischen Teilsystemen	Austausch von spezifischen Daten; Übermittlung von Daten in Papierform	Austausch von zusätzlichen Daten; Datenaustausch über ERP-System	automatischer Austausch über gesamte Lieferkette; automatische Datenübernahme	

Abbildung 12: Reifegradmodell (Teil 3) – Eigene Darstellung

	chaotisch	reaktiv	systematisch	proaktiv	optimiert
Plan	kein Datenaustausch zwischen Teilsystemen	Managementsystem erlaubt den Zugriff auf Informationen aus anderen Bereichen und den Materialfluss zu steuern	Management erlaubt in Echtzeit auf alle relevanten Informationen/ Daten aus anderen Bereichen zuzugreifen	automatische Bereitstellung von aufbereiteten Kontextdaten aus anderen Abteilungen	Informationsaustausch findet zwischen allen Bereichen statt; Daten müssen nicht gegengeprüft werden
Make	Datenübermittlung in Papierform	Daten dokumentiert, Rückmeldung in Papierform, die später in ein digitales Format umgewandelt wird	Rückmeldung aus Produktion und Beschaffung werden über ein Terminal im ERP-System übermittelt; Daten werden für Kennzahlensysteme in Echtzeit genutzt	Prozessdaten und Qualität werden in Echtzeit analysiert und zur Planung von Ressourceneinsatz und Wartung sowie zur Fehlererkennung genutzt	Daten werden zur proaktiven Vermeidung von Störungen durch Anpassung des Ressourceneinsatzes genutzt
Source	Aufträge werden telefonisch oder persönlich in Papierform übergeben	Aufträge werden digital erfasst	das Informationssystem hat ein vollständiges Bild der vorhandenen Aufträge und der neuen Aufträge, die in Echtzeit eingehen	Informationen der IT-Systeme werden mit den direkten Partnern in der Wertschöpfungskette automatisch ausgetauscht; Verknüpfungen und Wechselwirkungen verschiedener Auftragsarten sind bekannt und werden durchgängig berücksichtigt	auf Grundlage umfassender Prognosen werden die zu erwartenden Auftragsmengen mit Lagerbeständen, Personalkapazitäten, etc. verknüpft und harmonisiert
Deliver	Auftragsdaten werden während der Auftragsabwicklung nicht ausgetauscht	spezielle Auftragsdaten, wie z.B. Zeitpunkt von Sonderaktionen, Point of Sale, Prognosedaten, etc., können nach Rücksprache manuell übermittelt werden	Auftragsdaten werden automatisch ausgetauscht	automatischer Austausch von Auftragsdaten mit direkten Partnern in der Wertschöpfungskette und Zugriff auf relevante externe Unternehmensinformationen	automatischer Austausch von Auftragsdaten mit Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette und Zugriff auf relevante externe Unternehmensinformationen
Return	Reklamationen werden telefonisch oder in Papierform übergeben	Reklamationen werden digital erfasst	Status der Reklamationen lässt sich online nachverfolgen	automatischer Austausch von Informationen bezüglich Reklamationen	auf Grundlage umfassender Prognosen lässt sich der Lagerbestand optimal auf mögliche Ausfälle anpassen, sodass zum Zeitpunkt des Versagens/ der Reklamation zeitnah die Bereitstellung des Materials gewährleistet werden kann
Enable	ad hoc; Geschäftsleitung sieht keine Notwendigkeit für Risikomanagement; keine ethischen Grundsätze oder Leitlinien vorhanden	Organisation reagiert auf Situationen und Risikoprobleme, nachdem sie eingetreten sind; Reaktion auf unerwünschte Ereignisse durch Spezialisten; einzelne Rollen für wenige Risiken definiert (typischerweise Finanzen, Versicherung, etc.)	von oben vorgegebener Ton; Richtlinien, Verfahren und Verantwortlichkeiten definiert und kommuniziert; Bewertung in der Regel qualitativ	unerwünschte Ereignisse werden proaktiv behandelt; leistungsbezogene Messgrößen im Einsatz; kultureller Wandel im Gange; Management von unten nach oben	Risikomanagement in die Entscheidungsfindung integriert; Wechselwirkungen werden umfassend untersucht; Aktive Beteiligung aller Mitarbeiter im Rahmen ihrer aktuellen Tätigkeit

Abbildung 13: Funktionsspezifische Erweiterung des Reifegradmodells – Eigene Darstellung

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/77091

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20221103-173004-3



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung 4.0 Lizenz (CC BY 4.0) genutzt werden.