

Strategische Technologiefrüherkennung für die Intralogistik 4.0 in der Nutzfahrzeugindustrie

Entwicklung einer Vorgehensweise zur Gestaltung von Technologie-Zielbildern

Christina Westermaier¹, Jörg Puchan²

Abstract: Die heutigen Bestrebungen zur Digitalisierung und Autonomisierung im Kontext von Industrie 4.0 forcieren auch in der Logistik grundlegende Veränderungen. Neue Ansätze und technologische Weiterentwicklungen in diesem Zusammenhang versprechen dabei ein großes Potenzial zur Bewältigung der steigenden Komplexität und zur Lösung aktueller und künftiger Herausforderungen. Unternehmen müssen dazu jedoch über den aktuellen Hype hinausblicken und die Chancen und Gefahren der Industrie 4.0 erkennen, um Zielbilder zu definieren, die den Weg in die Welt von morgen vorzeichnen. Ziel der diesem Beitrag zugrunde liegenden Masterarbeit war es deshalb, eine systematische Vorgehensweise zu entwickeln, um Unternehmen bei der Identifikation und Kommunikation von relevanten Informationen zu unterstützen. Dabei werden konventionelle Ansätze des strategischen Technologiemanagements um eine anwendungs- und prozessorientierte Sichtweise auf die Intralogistik erweitert. Die Ergebnisse entstanden in Zusammenarbeit mit einem Unternehmen der Automobilindustrie sowie einem Forschungsprojekt an einer Universität und wurden sowohl wissenschaftlich als auch anwendungsbezogen validiert und verprobt.

Keywords: Intralogistik, Industrie 4.0, Logistik 4.0, Strategisches Technologiemanagement, Technologiefrüherkennung

1 Einleitung

Bestehende Methoden der Wertschöpfung in der produzierenden Industrie stoßen unter anderem angesichts steigender Anforderungen an die Kosteneffizienz, Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Stabilität und Nachhaltigkeit sowie eines allgemein verschärften Wettbewerbs an ihre Grenzen [Ar08] [BHV14] [Ny08]. Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren neue Einsatzmöglichkeiten von Technologien im Rahmen einer vierten industriellen Revolution diskutiert [Ro16]. Vor allem im Bereich der Intralogistik bzw. „internen Logistik“ verspricht die damit verbundene organisatorische und technologische Neuausrichtung ein hohes wirtschaftliches Potenzial. So soll die Etablierung von cyber-physi-

1 Hochschule München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen, Lothstraße 64, 80335 München, christina.westermaier@web.de

2 Hochschule München, Fakultät für Wirtschaftsingenieurwesen, Lothstraße 64, 80335 München, puchan@hm.edu

schen Systemen, die Verbindung zwischen realer und virtueller Welt ermöglichen und die notwendige Basis für autonome Funktionalitäten schaffen [ES18] [Fo21]. Aufgrund des rasanten technologischen Fortschritts in der jüngeren Vergangenheit und der vielen Trends und Schlagwörter, die im wissenschaftlichen Diskurs thematisiert werden, fehlt Unternehmen jedoch eine konkrete Vorstellung, wie eine Industrie 4.0 realisiert werden soll [Ca17]. Ziel der diesem Beitrag zugrunde liegenden Masterarbeit war es deshalb, eine systematische Vorgehensweise zu entwickeln, um Unternehmen frühzeitig bei der Technologie-Identifikation und -folgenabschätzung in den Prozessen der Intralogistik zu unterstützen. Dazu werden in den folgenden Abschnitten zunächst das methodische Vorgehen (Kapitel 2) und der theoretische Bezugsrahmen (Kapitel 3) dargelegt. Anschließend wird die entwickelte Vorgehensweise mit ihren vier Schritten beschrieben (Kapitel 4) und im Weiteren diskutiert (Kapitel 5).

2 Methodisches Vorgehen

Um die Konzeption einer Vorgehensweise methodisch und wissenschaftlich zu fundieren, wurde der iterative Problemlösungsansatz „Design Science“ zur Anwendung gebracht. Entlang von sechs sequenziellen Phasen und Fragestellungen nach dem Prozessmodell der Design Science Research Methodology sollte so ein Artefakt entworfen werden [Pe07]:

Problem identifizieren und motivieren

Um eine Vorgehensweise zu entwickeln, welche die Herausforderungen bei der strategischen Planung von Technologien in der Intralogistik adressiert, war zunächst eine ausführliche Literaturrecherche zum aktuellen Stand der Forschung durchzuführen (Vgl. Kapitel 3). Ein besonderes Interesse lag dabei auf dem aktuellen Methodenbestand. Hierzu wurden die Begriffe Vorgehensweise, Technologiefreherkennung, Logistik 4.0 und entsprechende Synonyme in die Suche einbezogen und mit Hilfe von AND/UND Operatoren verknüpft. Ergebnisse konnten vor allem durch eine weiterführende Vorwärts- und Rückwärtsverkettung erzielt werden, weshalb hier auf eine exakte Darstellung eines Schlagwortverzeichnisses und Trefferzahlen verzichtet wird.

Definition der Ziele einer Lösung

Anschließend wurden neun Kriterien definiert, um die Anforderungen an eine ideale Lösung zu beschreiben. Diese beziehen sich zum einen auf den Anwendungsbereich, in welchem die Vorgehensweise eingesetzt werden soll (Technologischer Wandel, langfristige Planung, produzierendes Unternehmen mit mehreren Standorten, Intralogistik) und zum anderen auf die Inhalte und Charakteristik der Herangehensweise (Rechercheprozess, ressourcenschonend, updatefähig, Bewertungsansatz, Dokumentation / Kommunikation).

Entwerfen und Entwickeln / Demonstration

Auf dieser Basis erfolgte die Bewertung und der Vergleich der bestehenden Ansätze, die im Rahmen der Literaturrecherche als relevant eingestuft wurden. Die Bewertung basiert auf einer dreistufigen Skala, welche den Grad der Erfüllung der Kriterien zum Ausdruck bringt. Die Ausprägungen unterscheiden dabei zwischen „Kriterium nicht erfüllt“, „Kriterium teilweise erfüllt“ und „Kriterium voll erfüllt“. Unter Berücksichtigung der resultierenden Ergebnisse entstand das grundsätzliche Konzept der Methode, welches anschließend in iterativen Zyklen mit Fachkräften aus den Bereichen Logistik, Technologieinnovation und Human Resources überarbeitet wurde. Die Demonstration der Vorgehensweise erfolgte mit ihrer Anwendung in der Intralogistik eines Unternehmens der Nutzfahrzeugindustrie.

Validierung

Für eine abschließende Bewertung der Vorgehensweise, war zu beurteilen, inwiefern die heutigen Schwierigkeiten im Umgang mit neuen Technologien durch den Einsatz der entwickelten Vorgehensweise behoben werden können. Dazu erfolgte zum einen die Präsentation und offene Diskussion der Ergebnisse beim Praxispartner. Zum anderen wurden fünf semistrukturierte Experteninterviews durchgeführt, die entlang von neun Fragen die konzipierten Schritte sowie den Gesamteindruck der Methode beleuchten. Zudem erfolgt eine Rückführung zu den vorab definierten Kriterien einer Lösung.

Publikation

Die Publikation der Ergebnisse, erfolgte durch die Masterarbeit und den Ergebnisbericht beim Praxispartner. Darüber hinaus entstanden ein wissenschaftlicher Beitrag für die International Conference of Supply Chain Management [Ko22] sowie dieser Beitrag.

3 Stand der Technik und Forschung

Um die zugrunde liegende Problemstellung folgerichtig abzuleiten, bedarf es zunächst einer kurzen Beschreibung der theoretischen Grundlagen.³

Prozesse in der Intralogistik

Den Untersuchungsgegenstand im Rahmen dieser Arbeit bildet die Intralogistik, die sich mit der Organisation, Steuerung, Durchführung und Optimierung der innerbetrieblichen Materialflüsse, der Informationsströme und dem Warenumschlag in Industrie, Handel und öffentlichen Einrichtungen beschäftigt [Ar06]. Um die damit verbundenen Geschäftsprozesse im Weiteren zu systematisieren und einheitlich darzustellen, konnten die Vorteile von

³ Stark verkürzte Darstellung der theoretischen Grundlagen aufgrund des limitierten Beitragumfangs. Zugang zur Vollversion der Forschungsarbeit auf Anfrage bei den Autoren.

sogenannten Referenzmodellen herausgestellt werden, die auf Erfahrungswissen zurückgreifen [Ny08]. Im Bereich der operativen Prozesse der Intralogistik lassen sich so nach der Bundesvereinigung Logistik sechs Prozessbausteine und Aufgabengebiete untergliedern: Wareneingang, innerbetrieblicher Transport, Lagerung, Kommissionierung, Verpackung, Warenausgang [Bu19].

Industrie 4.0 und Logistik 4.0

Unter dem Begriff Industrie 4.0 wird im Kern die technische Integration von cyber-physischen Systemen (CPS) in die Produktion und Logistik sowie die Anwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen verstanden [KWH13]. Der Begriff Logistik 4.0 umfasst dabei allein den Einfluss der entsprechenden technologischen Veränderungen auf den speziellen Bereich der Logistik [SS19]. Entwicklungen sind hier z. B. Technologien zur Identifikation, Augmented und Virtual Reality, Big Data Analytics, autonome Roboter und künstliche Intelligenz [St17].

Strategisches Technologiemanagement

Die Technologiefrüherkennung stellt eine Teilaufgabe des Technologiemanagements dar und verfolgt das Ziel, Chancen und Risiken im Unternehmensumfeld frühzeitig zu erkennen, um Entwicklungspotenziale abzuleiten [SK11] [Go20]. Im Rahmen dieser Arbeit konnten dazu insgesamt sieben existierende Ansätze identifiziert werden [We11] [SL10] [Re06] [Cu17] [WPU17] [Te15] [Be19].

Forschungsbedarf

Obwohl Einigkeit darüber besteht, dass Industrie 4.0 eine disruptive Auswirkung auf die produzierende Industrie nehmen wird, fehlt in Unternehmen ein einheitliches Verständnis darüber, wie das Konzept konkret umzusetzen ist [Ca17]. Die existierenden Methoden zeigen bisher einen starken Fokus auf die Dimension Technologie und vernachlässigen eine anwendungsorientierte Sicht auf das Zusammenspiel von Prozess und Technologie in der logistischen Kette [BSP18]. Um das „Was“ und „Warum“ der Veränderungen jedoch aktiv zu adressieren und eine Basis für die Zustimmung und Bereitschaft der Mitarbeitenden zu schaffen, gewinnen klar definierte und einheitliche Zielbilder immer mehr an Bedeutung [Pe19]. In der bisherigen Forschung finden sich nach Recherchen dieser Arbeit aber noch keine Ansätze, die derartige Dokumente bzw. Informationen hervorbringen. Aus diesem Grund soll eine systematische Methode entwickelt werden, die Unternehmen frühzeitig bei der Identifikation neuer technologischer Möglichkeiten für die Intralogistik unterstützt. Der Fokus liegt somit auf der entsprechenden Informationsrecherche und -aufbereitung für die Kommunikation.

4 Entwicklung einer Vorgehensweise

Für die Konzeption der Vorgehensweise wurden insgesamt sechs der bestehenden Ansätze berücksichtigt. Die Basis in Form der prozessualen Strukturierung in vier Schritten stammt dabei aus den Konzepten [SL10] [We11] mit den zutreffendsten Gesamtergebnissen in Hinblick auf die vorab definierten Anforderungen. Erweiterungen wurden darüber hinaus durch Ansätze mit einer herausragenden Bewertung in einzelnen Kriterien (z.B. Intralogistik) vorgenommen [Cu17] [WPU17] [Te15] [Be19]. So entstand ein technologie- und anwendungsorientiertes Konzept für die Intralogistik, wobei dennoch Defizite in einer ausführlichen und auf die Logistik abgestimmten Kommunikation der Ergebnisse festzustellen waren. Um diese Lücke zu schließen, wurden eigenständig Konzepte für die Entwicklung von Technologie-Steckbriefen und Technologie-Zielbildern integriert. Die untenstehende Abbildung 1 zeigt dazu einen Überblick zum Gesamtergebnis in Form der vier entwickelten Schritte, den dazugehörigen Arbeitspaketen und beteiligten Personen.

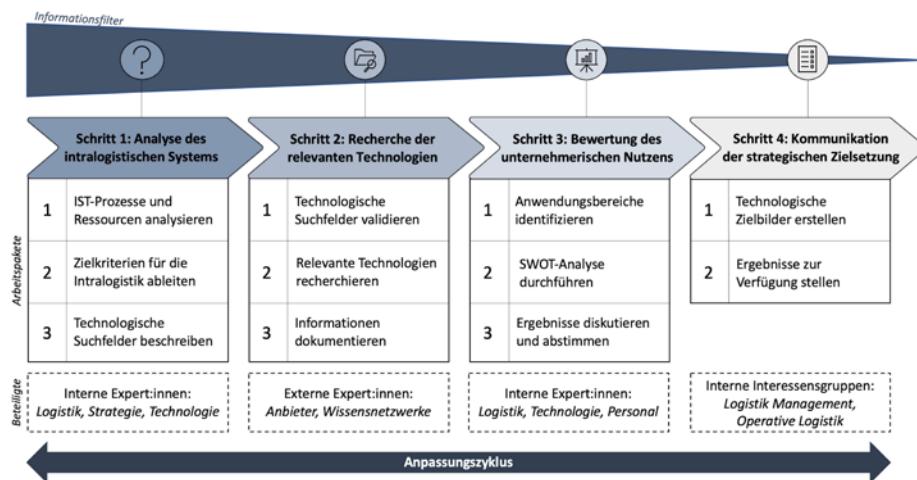


Abb. 1: Vorgehensweise zur strategischen Technologiefrüherkennung

Erster Schritt: In einem ersten Schritt ist es erforderlich, den Grundstein für eine zielgerichtete und effektive Herangehensweise zu legen, indem der Informationsbedarf für das weitere Vorgehen so genau wie möglich bestimmt wird. Dazu ist die Ausgangssituation der Logistik mit Hilfe von standardisierten Prozessbausteinen für den Material- und Informationsfluss zu erfassen (1) sowie die strategische Zielsetzung für die Intralogistik abzuleiten (2). Auf dieser Basis kann sodann eine Eingrenzung der relevanten Informationen für die Intralogistik der Zukunft vorgenommen werden (3). Um die erforderlichen Informationen zu sammeln, sollten im Unternehmen bereits vorhandene Dokumente wie Prozessdokumentationen oder Strategiedokumente berücksichtigt und Workshops mit relevanten Expertinnen und Experten der verschiedenen Werke durchgeführt werden. So resultieren als Gesamtergebnis technologische Suchfelder (z.B. autonome Entladung), welche die strate-

gischen Zielsetzungen und neuen technologischen Anwendungsmöglichkeiten in den einzelnen Prozessen (z.B. Wareneingang, Kommissionierung) zusammenfassen und als Basis für die anschließende Recherche fungieren.

Zweiter Schritt: Das Ziel des zweiten Schritts ist es, eine informatorische Grundlage bereitzustellen, die dem in Schritt 1 definierten Informationsbedarf gerecht wird und eine Bewertung der Informationen im Unternehmenskontext ermöglicht. Dazu steht die strukturierte Einbindung von externen Quellen (z.B. Technologieradar der Bundesvereinigung Logistik, Gartner Hype Cycle) im Fokus, um eine fundierte Wissensbasis zum aktuellen Stand der Technik zu generieren. Die Arbeitspakete umfassen deshalb die Überprüfung der gewählten Eingangsfilter in Form der technologischen Suchfelder (1), um darauf basierend eine gezielte aber hinreichend umfassende Recherche zu den relevanten Technologien (z. B. Drohnen, fahrerlose Transportsysteme) vorzunehmen (2). Im Anschluss können die identifizierten Technologien zu Technologiefeldern (z.B. autonomes Fahren) zusammengefasst werden, um Informationen zu Technologien mit einem ähnlichen Wirkprinzip in Form von Technologie-Steckbriefen im Teil 1 zu dokumentieren (3). Diese repräsentieren auf übersichtliche Art und Weise die charakterisierenden Informationen des technologischen Wirkprinzips sowie Umsetzungsmöglichkeiten und Besonderheiten je Technologiefeld.

Dritter Schritt: In einem dritten Schritt sind die erhobenen Informationen nun weiter aufzubereiten und zu verdichten, um die bisherigen Informationen auf das Unternehmen anzuwenden. Hierzu ist der erweiterte Wissensstand aus Schritt 2 zu nutzen, um einen Überblick über die Anwendungsmöglichkeiten je Technologiefeld und die damit verbundenen Veränderungen in den individuellen Logistikprozessen des Unternehmens zu schaffen (1). Auf dieser Basis kann der unternehmerische Nutzen durch einen qualitativen Vergleich der heutigen und zukünftigen Logistikabläufe in Form einer Strengths – Weaknesses – Opportunitites – Threats – Analyse (SWOT) bewertet werden (2). Diese Ergebnisse sind anschließend beispielsweise mit Hilfe von internen Experteninterviews oder Workshops in interdisziplinären Teams zu diskutieren und abzustimmen, um eine Rückführung der Informationen in den Unternehmenskontext vorzunehmen (3). Die Dokumentation aller Ergebnisse erweitert die bisherigen Technologie-Steckbriefe um die Unternehmenssicht (Teil 2).

Vierter Schritt: Abschließend wird in einem letzten Schritt das Ziel verfolgt, die Erkenntnisse zu den Veränderungen in der Intralogistik des Unternehmens zu kommunizieren. Für eine sukzessive Einbindung der Mitarbeitenden sind die bisherigen Ergebnisse deshalb in Form von Technologie-Zielbildern aufzubereiten (1). Diese Dokumente verweisen zum einen auf weiterführende Informationen in Form der Technologie-Steckbriefe und ermöglichen zum anderen die einheitliche Kommunikation umfassender Informationsunterlagen über verschiedene Kanäle (z. B. Arbeitskreise, Abteilungsleitungen) im Unternehmen (2). So soll mithilfe eines Technologie-Zielbilds sowohl die zu erwartende Veränderung entlang der strategischen Ziele im Unternehmen und zum anderen die konkrete Auswirkung auf die logistischen Abläufe im Material- und Informationsfluss abgebildet werden. Dadurch wird ein anwendungsbezogenes Verständnis für die technologischen Veränderungen in der Intralogistik gefördert.

5 Diskussion und Fazit

In einem letzten Kapitel sollen die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit kritisch diskutiert und ein Ausblick auf den zukünftigen Forschungsbedarf gegeben werden. Zur Validierung der Ergebnisse werden dabei die vier Schritte der entwickelten Vorgehensweise herangezogen, die im Rahmen von Interviews und Gruppendiskussionen betrachtet wurden. Die im Rahmen der Validierung festgestellten kritischen bzw. erfolgsentscheidenden Faktoren sollten in der Methode entsprechend prominent platziert und unbedingt beachtet respektive durchgeführt werden.

Schritt 1: Der Einsatz von neuen Technologien hat das Potenzial, ganze Prozessketten zu verändern. Um erste Ansatzpunkte zu identifizieren, ist es jedoch unerlässlich zu bestimmen, welche Material- und Informationsflussaktivitäten im Unternehmen mit welcher Intention verändert werden sollen.

Schritt 2: Die Recherche ist aufgrund der Schnelllebigkeit der Entwicklungen auf dem Markt ein sehr wichtiger Schritt. Eine zentrale Stelle für diese Aufgabe ist deshalb erfolgsentscheidend, um den hohen Aufwand bei der Informationsbeschaffung aufgrund der starken Technologievielfalt zu minimieren und das Wissen unternehmensweit zu nutzen.

Schritt 3: Bei der Entscheidung für neue Technologien müssen eine Vielzahl von internen und externen Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Eine SWOT-Analyse ist daher ein geeignetes und ergänzendes Instrument, um einen prägnanten ersten Eindruck zu erzeugen.

Schritt 4: Ohne gute Kommunikation und die Einbeziehung aller betroffenen Mitarbeiter sind Veränderungsprojekte zum Scheitern verurteilt. Da sich durch den Einsatz neuer Technologien auch Tätigkeiten und Prozesse und damit Qualifikationen verändern, ist es notwendig, die Veränderungen aktiv zu kommunizieren und zu veranschaulichen, z. B. mit Videomaterial, um Ängsten und Bedenken zu begegnen.

Zukünftiger Forschungsbedarf

In Hinblick auf den zukünftigen Forschungsbedarf sollte die entwickelte Vorgehensweise auf die Intralogistik weiterer Unternehmen im Bereich der Automobil- und Nutzfahrzeugindustrie angewendet werden. Nur so kann geprüft werden, ob die erarbeiteten Hilfestellungen ausreichend unterstützen, um ein besseres Verständnis für die zukünftigen Entwicklungen in der Intralogistik eines Unternehmens zu erzeugen. Darüber hinaus konnten im Rahmen dieser Arbeit starke Veränderung durch neue Technologien für den Arbeitsalltag des Menschen festgestellt werden. In diesem Zusammenhang sollte kritisch geprüft werden, ob die Inhalte der Methode ausreichen, um Qualifizierungsbedarfe der Zukunft abzuleiten und ein adäquates Change-Management umzusetzen.

Literaturverzeichnis

- [Ar06] Arnold, D.: Intralogistik. Potentiale, Perspektiven, Prognosen, Springer Verlag, VDI-Buch, 2006.
- [Ar08] Arnold, D. et. al.: Handbuch Logistik, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [Be19] Behrendt, F. et. al.: Der Intelligente Logistikraum: Neue Gestaltungsformen im Kontext der digitalen Transformation. Industrie 4.0 Management, 2019(4), S. 35-38, 2019.
- [BHV14] Bauernhansl, T., ten Hompel M., Vogel-Heuser, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2014.
- [BSP18] Blöchl, S., Schneider, M., Pichlmaier, S.: Industrie 4.0 in der logistischen Kette. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113(12), S. 863-868, 2018.
- [Bu19] Bundesvereinigung Logistik: Life-Cycle Costing und Performance-quantifizierung von Cyber-Physicalen Systemen in der Intralogistik. https://www.bvl.de/files/1951/2125/2131/Abschlussbericht_Industrie4.0Profitabel.pdf, 2019.
- [Ca17] Capgemini Consulting: Industry 4.0 – Eine Einschätzung von Capgemini Consulting, https://www.capgemini.com/consulting/wp-content/uploads/sites/30/2017/07/capgemini-consulting-industrie-4.0_0_0.pdf, Stand: 27. September.2021.
- [Cu17] Cuhls, K.: Unternehmensstrategische Auswertung von Foresight-Ergebnissen. In Möhrle, M., Isenmann, R.: Technologie-Roadmapping, Springer Berlin Heidelberg, 2017.
- [ES18] Endres, F., Sejdic, G.: Cyber-Physische Systeme in der Intralogistik. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113(5), S. 346-349, 2018.
- [Fo21] Fottner, J. et. al.: Autonomous Systems in Intralogistics. State of the Art and Future Research Challenges. Logistics Research 14:2, S. 1-41, 2021.
- [Go20] Goehermann, J.: Technologiemanagement, Springer-Gabler, Wiesbaden, 2020.
- [Ko22] Kohl, M., Westermaier, C., Puchan, J., Fottner, J.: Developing a Company-Specific Technology Vision for Intralogistics Processes. In Association for Computing Machinery: 2022 5th International Conference on Computers in Management and Business. Singapore, S. 144-150, 2022.
- [KWH13] Kagermann, H., Wahlster, J., Helbig, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0, Plattform Industrie 4.0, 2013.
- [Ny08] Nyhuis,P.: Beiträge zu einer Theorie der Logistik, Springer-Verlag, Berlin, 2008.
- [Pe07] Peffers, K. et. al.: A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. Journal of Management Informations Systems 24(3), S. 45-77, 2007.
- [Pe19] Petry, T.: Digital Leadership. Erfolgreiches Führen in Zeiten der Digital Economy, 2. Auflage, Haufe Group, Freiburg, 2019.
- [Re06] Reger, G.: Technologie-Früherkennung: Organisation und Prozess. In Gassmann, O., Kobe, C.: Management von Innovation und Risiko, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006.

- [Ro16] Roth, A.: Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis, Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2016.
- [SK11] Schuh, G., Klappert, S.: Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [SL10] Schimpf, S., Lang-Koetz, C.: Technologiemonitoring, <http://publica.fraunhofer.de/dokumente/N-146352.html>, 2010.
- [SS19] Speringer, M., Schnelzer, J.: Differentiation of Industry 4.0 Models, <http://www.ra-un.org/publications>, 2019.
- [St17] Strandhagen, J. et. al.: The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. Advances in Manufacturing 5(4), S. 344-358, 2017.
- [Te15] Technische Universität Darmstadt: Generisches Vorgehensmodell zur Einführung von Industrie 4.0 in mittelständischen Unternehmen der Serienfertigung, <https://www.darmstadt.ihk.de/blueprint/servlet/resource/blob/3344884/7fe3af982b9147b216d9da67db0a1b34/pilotprojekt-cypiflex-data.pdf>, 2015.
- [We11] Wellensiek, M. et. al.: Technologiefrüherkennung. In Schuh, G., Klappert, S.: Handbuch Produktion und Management 2, 2. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011.
- [WPU17] Weinert, N., Plank, M., Ullrich, A.: Metamorphose zur intelligenten und vernetzten Fabrik. Ergebnisse des Verbundforschungsprojekts MetamoFAB. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2017.