

Bennet Zander

# Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen

MOREMEDIA



Springer Gabler

---

# Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen

---

Bennet Zander

# Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen

 Springer Gabler

Bennet Zander  
Lehrstuhl für Allgemeine  
Betriebswirtschaftslehre, Maritime  
Wirtschaft und Logistik  
Universität Bremen  
Bremen, Deutschland

Dissertation Universität Bremen, 2024

ISBN 978-3-658-44979-7      ISBN 978-3-658-44980-3 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-44980-3>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <https://portal.dnb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2024

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Karina Kowatsch  
Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.  
Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Wenn Sie dieses Produkt entsorgen, geben Sie das Papier bitte zum Recycling.

---

## Danksagung

An dieser Stelle bedanke ich mich ganz besonders bei Frau Prof. Dr. Kerstin Lange für ihre exzellente und engagierte Betreuung meiner Promotion. Die Diskussionen mit ihr und ihre vielfältigen Anregungen waren nicht nur für die vorliegende Dissertation von hohem Wert, sondern bereits zuvor während meines gesamten Studiums. Durch ihre Offenheit und ihr Vertrauen hat sie maßgeblich zu meiner Entwicklung beigetragen. Ebenso danke ich Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. Hans-Dietrich Haasis, der mir die Promotion ermöglicht hat und jederzeit mit seinem Wissen zur Verfügung stand und immer ein offenes Ohr hatte.

Mein größter Dank gilt meiner Familie, ohne die diese Arbeit nicht denkbar gewesen wäre. Meinen Eltern, meinem Bruder und meinen Großeltern danke ich dafür, dass sie mich uneingeschränkt unterstützt haben und mir stets ein förderliches Umfeld geboten haben. Ein letztes ausdrückliches Dankeschön geht an meinen Onkel. Nur durch seine unermüdliche Hilfe und Förderung war dies alles erreichbar.

---

## Kurzfassung

Deutschland strebt bis spätestens 2045 eine Treibhausgasneutralität an. Um den Vorsatz zu erreichen, müssen in allen Wirtschaftssektoren Maßnahmen in diese Richtung unternommen werden. Mit Blick auf die Bauwirtschaft, einem der wichtigsten Wirtschaftszweige, tragen bestehende Gebäude weltweit zu 36 % der Treibhausgasemissionen aufgrund ihres hohen Energiebedarfs bei. Das Bauwesen spielt daher eine entscheidende Rolle bei der Verlangsamung des Klimawandels und steht zukünftig vor einer Transformation. Insbesondere intelligente Fabriken können einen wesentlichen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten. In diesen Fabriken kann durch den Einsatz von Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien die Produktion von individuellen Fassaden- und Dachpaneelen für die energetische Sanierung des Gebäudebestands entsprechend eines industriellen Maßstabs erfolgen.

Um intelligente Fabriken im Bauwesen zu realisieren, gilt es, die Lieferketten neu zu gestalten. Durch das Hinzufügen einer weiteren Stufe der Wertschöpfung ergeben sich Änderungen in den Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- sowie Baustellenprozessen. In diesem Zusammenhang ist es das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine digitale Logistikkette für die unternehmensübergreifende Verknüpfung von Prozessen, Systemen und Akteuren zu konzeptionieren. Die Logistikkette soll zudem in der Lage sein, sich aus eigener Substanz bei Veränderungen in der Systemumwelt anpassen zu können, um Risiken zu minimieren, Innovationen zu fördern und wettbewerbsfähig zu bleiben.

Das Vorgehen orientiert sich an Design Science Research. Zur Einordnung der Thematik in das wissenschaftliche Umfeld erfolgt eine systematische Literaturanalyse. Im Anschluss wird die Logistikkette nach Vorgabe der Systemtheorie

entwickelt. Zur Prüfung auf ihre Umsetzbarkeit wird ein Fallbeispiel durchgeführt. Zuletzt erfolgt basierend auf den erlangten Erkenntnissen eine Evaluation der Ergebnisse.

Die Arbeit zeigt, dass für die Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen physische Dinge, wie Maschinen, Anlagen, Fahrzeuge und Produkte, mit digitalen Produktions- und Logistiksystemen integriert werden müssen, um eine durchgängige Vernetzung zu ermöglichen. Die Grundlage für die Verknüpfung stellen Cyber-Physische Systeme, einheitliche Kommunikationsstandards und Plattformen dar. Für die Erzeugung einer digitalen Logistikkette bedarf es ferner der Schaffung eines digitalen Kerns, der die relevanten Daten zusammenführt, analysiert und weiterleitet. Hierdurch liegt am Ende ein lückenloser Nachweis der Herkunft und der Prozessschritte der Produkte vor. Die Systemintegration gewährleistet Transparenz und Rückverfolgbarkeit über den Material- und Produktstatus und schützt vor Cyberbedrohungen. Die Logistikkette bildet die Grundlage für die Realisierung und Integration einer intelligenten Fabrik im Bauwesen, sichert ihre Versorgung und trägt dazu bei, langfristig CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	1
1.1	Motivation und Relevanz	3
1.2	Zielsetzung	7
1.3	Forschungsrahmen	9
1.3.1	Forschungsprozess	13
1.3.2	Forschungsmethodik	15
1.4	Struktur der Arbeit	16
<b>2</b>	<b>Einordnung der Thematik in das wissenschaftliche Umfeld</b>	19
2.1	Literaturanalyse zur Identifikation des Wissenschaftsstands	20
2.1.1	Design	21
2.1.2	Auswertung	24
2.2	Logistikketten als Objekt der Untersuchung	28
2.2.1	Einführung und Begriffsdefinition	28
2.2.2	Bausteine der Logistikkette	31
2.2.2.1	Akteure	32
2.2.2.2	Subsysteme	35
2.2.2.3	Logistikketten-Netzwerk	37
2.2.3	Logistikkettendesign und -planung	38
2.2.4	Zukunft der logistischen Ketten	41
2.2.4.1	Industrie 4.0	43
2.2.4.2	Logistik 4.0	47
2.2.4.3	Technologiebereiche der Logistik 4.0	49
2.2.4.4	Sensortechnologien und IoT-Anwendungen	53
2.2.4.5	Adaptive Logistiksysteme	55
2.2.4.6	Digitale Wertschöpfungsnetzwerke	57

2.2.5	Technologische Voraussetzungen adaptiver digitaler Logistikketten .....	61
2.2.6	Aktueller Stand der anwendungsorientierten Forschung .....	63
2.3	Intelligente Fabriken .....	64
2.3.1	Einführung und Begriffsdefinition .....	66
2.3.2	Eigenschaften .....	70
2.3.3	Aufbau und Funktionsweise .....	73
2.3.3.1	Datenerzeugung, -verarbeitung und -austausch .....	79
2.3.3.2	Kommunikationsschnittstellen und -standards .....	82
2.3.4	Technologische Voraussetzungen intelligenter Fabriken .....	85
2.3.5	Aktueller Stand der anwendungsorientierten Forschung .....	87
2.4	Bauwesen .....	89
2.4.1	Einführung und Begriffsdefinition .....	89
2.4.2	Steigerung der Energieeffizienz beim Bauen im Bestand .....	92
2.4.2.1	Beschaffenheit und Sanierungsbedarf des Gebäudebestands .....	95
2.4.2.2	Energiebilanz von Gebäuden .....	97
2.4.2.3	Optionen der energetischen Sanierung .....	98
2.4.3	Auswirkungen der Digitalisierung auf das Bauwesen ....	103
2.4.3.1	Status Quo .....	105
2.4.3.2	Building Information Modeling .....	106
2.4.3.3	Smart Construction Factories .....	110
2.4.4	Aktueller Stand der anwendungsorientierten Forschung .....	111
2.5	Zusammenfassung .....	113
<b>3</b>	<b>Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette .....</b>	<b>117</b>
3.1	Systemtheoretische Ansätze .....	118
3.2	Spezifikation des Systems .....	123
3.2.1	Logistikketten im traditionellen Bauwesen .....	125
3.2.1.1	Akteure im Bauwesen .....	126
3.2.1.2	Strukturen bei der herkömmlichen energetischen Sanierung .....	131

---

3.2.2	Logistikkette einer intelligenten Fabrik im Bauwesen ...	134
3.2.2.1	Akteure und Fertigungsstrukturen .....	134
3.2.2.2	Rechte, Normen und Versicherungen beim Bauen im Bestand .....	136
3.2.3	Anforderungen an die adaptive digitale Logistikkette ....	139
3.2.4	Visualisierung und Notation der betrachteten Prozesse .....	142
3.2.4.1	Prozessvisualisierung .....	143
3.2.4.2	Prozessnotation .....	145
3.2.5	Abgrenzung der Untersuchung .....	147
3.2.6	Vorgehen bei der Entwicklung der adaptiven digitalen Logistikkette .....	150
3.3	Vertriebs- und Bauplanung .....	152
3.3.1	Literaturbasierte Beschreibung .....	153
3.3.2	Konzeptionierung des Prozessmodells .....	155
3.4	Beschaffungslogistik .....	162
3.4.1	Literaturbasierte Beschreibung .....	163
3.4.2	Konzeptionierung des Prozessmodells .....	165
3.5	Produktionslogistik .....	174
3.5.1	Literaturbasierte Beschreibung .....	174
3.5.2	Konzeptionierung des Prozessmodells .....	177
3.6	Distributionslogistik .....	184
3.6.1	Literaturbasierte Beschreibung .....	184
3.6.2	Konzeptionierung des Prozessmodells .....	186
3.7	Baustellenlogistik .....	191
3.7.1	Literaturbasierte Beschreibung .....	191
3.7.2	Konzeptionierung des Prozessmodells .....	192
3.8	Integriertes Gesamtkonzept .....	198
3.8.1	Schaffung einer einheitlichen IT-Umgebung .....	198
3.8.1.1	OT- und IT-Infrastruktur einer Smart Construction Factory .....	199
3.8.1.2	IT-Infrastruktur einer digitalen Logistikkette .....	204
3.8.2	Einbeziehung von Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien .....	210
3.8.3	Betrachtung der Rückführungslogistik .....	215
3.9	Zusammenfassung .....	217

---

<b>4</b>	<b>Technisch-betriebswirtschaftliche Bewertung sowie Überlegungen zur Machbarkeit und Übertragbarkeit</b> .....	219
4.1	Modellanwendung .....	220
4.2	Technisch-betriebswirtschaftliche Bewertung .....	228
4.2.1	Technische Bewertung .....	228
4.2.1.1	Systemanbieter .....	228
4.2.1.2	Wirksamkeit der Adaptivität .....	234
4.2.2	Betriebswirtschaftliche Bewertung .....	239
4.2.2.1	Steigerung der Anzahl der Sanierungen bei gleichzeitiger Kostensenkung .....	239
4.2.2.2	Beschleunigungspotenziale in der Logistikkette .....	241
4.2.3	Nachhaltigkeitsbewertung .....	243
4.2.3.1	Ökologie .....	245
4.2.3.2	Ökonomie .....	246
4.2.3.3	Soziales .....	248
4.2.4	Angepasstes integriertes Gesamtkonzept .....	250
4.3	Zusammenfassung .....	253
4.4	Schlussbetrachtung .....	255
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und wissenschaftliche Erkenntnisse</b> .....	261
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	269

---

# Abkürzungsverzeichnis

API	Application Programming Interface
AR	Augmented Reality
ASCM	Association for Supply Chain Management
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie e.V.
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BIM	Building Information Modeling
BIP	Bruttoinlandsprodukt
BMAS	Bundesministerium für Arbeit und Soziales
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministerium des Innern und für Heimat
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
BMWSB	Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen
CAD	Computer Aided Design
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
CPS	Cyber-physische Systeme
CRM	Customer Relationship Management
D2D	Device-to-Device
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
DIN	Deutsches Institut für Normung
DOAJ	Directory of Open Access Journals
DSRM	Design Science Research-Methode
EPS	Expandiertes Polystyrol
ERP	Enterprise Resource Planning
ESB	Enterprise Service Bus
FTS	Fahrerlose Transportsysteme

---

GPS	Global Positioning System
HLK	Heizungs-, Lüftungs-, Klimatechnik
HMI	Human Machine Interface / Mensch-Maschine-Schnittstellen
HRM	Human Resource Management
HTML	Hypertext Markup Language
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IaaS	Infrastructure-as-a-Service
ID	Identifikation
Ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung
IIoT	Industrial Internet of Things
INDU-ZERO	Industrialisation of house renovations towards energy-neutral
IoT	Internet of Things
iPaaS	Integration Platform-as-a-Service
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnologie
JIT	Just-in-Time
JSON	JavaScript Object Notation
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kWh	Kilowattstunde
LDL	Logistikdienstleister
Lkw	Lastkraftwagen
MES	Manufacturing Execution System
MQTT	Message Queuing Telemetry Transport Protocol
OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
OPC UA	Open Platform Communications Unified Architecture
OSI	Open Systems Interconnection
OT	Operative Technologie
PaaS	Platform-as-a-Service
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanungs- und -steuerungssystem
PUR	Polyurethan-Hartschaum
REST	Representational State Transfer
RTU	Remote Terminal Unit
SaaS	Software-as-a-Service
SCADA	Supervisory Control & Data Acquisition
SCM	Supply Chain Management

---

SCOR	Supply-Chain-Operations-Reference
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SRM	Supplier Relationship Management
STEP	Standard for the Exchange of Product Data
TMS	Transportation Management System
TUL	Transport, Umschlag und Lagerung
VR	Virtual Reality
WLAN	Wireless Local Area Network
WMS	Warehouse Management System
XML	eXtensible Markup Language
YMS	Yard Management System

---

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1	Forschungsbereiche der Arbeit .....	7
Abbildung 1.2	Design Science Ansatz .....	10
Abbildung 1.3	Design Science Research Methodology Process .....	13
Abbildung 1.4	Struktur der Arbeit .....	17
Abbildung 2.1	Struktur Kapitel 2 .....	20
Abbildung 2.2	Die drei Stufen eines effektiven Literaturrechercheprozesses .....	21
Abbildung 2.3	Selektionsprozesses der systematischen Literaturanalyse .....	24
Abbildung 2.4	Anzahl der Beiträge auf Basis der Literaturanalyse ...	25
Abbildung 2.5	Anzahl der relevanten Veröffentlichungen pro Jahr (2011–2022) .....	26
Abbildung 2.6	Evolution der Logistikkette .....	30
Abbildung 2.7	Aufbau einer Logistikkette .....	33
Abbildung 2.8	Systematische Darstellung der Zulieferpyramide .....	34
Abbildung 2.9	Subsysteme der Logistik entlang der Logistikkette ...	35
Abbildung 2.10	Logistikketten-Netzwerk .....	37
Abbildung 2.11	Ebenen der logistischen Netzwerkplanung .....	40
Abbildung 2.12	Nulldistanz zwischen Unternehmen und Märkten .....	45
Abbildung 2.13	Vernetzung von drei Dimensionen durch Industrie 4.0 .....	46
Abbildung 2.14	Konzeptioneller Rahmen der Logistik 4.0 .....	49
Abbildung 2.15	Zentrale Technologiebereiche der Logistik 4.0 .....	50
Abbildung 2.16	Aufbau von CPS .....	52
Abbildung 2.17	Beziehung zwischen IoT, Big Data, KI und digitalen Zwillingen .....	54

Abbildung 2.18	Vernetzung in einem digitalen Wertschöpfungsnetzwerk .....	59
Abbildung 2.19	Entwicklungsstufen einer intelligenten Fabrik .....	68
Abbildung 2.20	Automatisierungspyramide .....	74
Abbildung 2.21	Aufbau einer intelligenten Fabrik am Beispiel der aufgelösten Automatisierungspyramide .....	77
Abbildung 2.22	Architektur der Computing-Plattformen in der IoT-basierten Fertigung .....	81
Abbildung 2.23	Wachstum des Bauwesens und BIP (2000–2022) .....	91
Abbildung 2.24	Lebenszyklus von Gebäuden .....	94
Abbildung 2.25	Energetische Sanierung im Vorher-Nachher Vergleich .....	99
Abbildung 2.26	Bestandteile des Building Information Model .....	107
Abbildung 2.27	Scan-to-BIM-Darstellung .....	109
Abbildung 3.1	Struktur Kapitel 3 .....	118
Abbildung 3.2	Konzeption eines Systems und seiner Systemgrenze .....	121
Abbildung 3.3	Logistikketten-Netzwerk im Bauwesen .....	127
Abbildung 3.4	Aufbau einer Logistikkette bei der herkömmlichen Sanierung .....	132
Abbildung 3.5	Aufbau einer Logistikkette bei der seriellen Sanierung .....	135
Abbildung 3.6	Herausforderungen in der Logistikkette einer intelligenten Fabrik im Bauwesen .....	140
Abbildung 3.7	Symbole der Notation .....	146
Abbildung 3.8	Untersuchte Prozesse in der Logistikkette (grob) .....	147
Abbildung 3.9	Gesamtübersicht der untersuchten Prozesse (fein) .....	150
Abbildung 3.10	Prozessdarstellung der Vertriebs- und Bauplanung .....	157
Abbildung 3.11	Prozessdarstellung der Beschaffungslogistik .....	168
Abbildung 3.12	Prozessdarstellung der Produktionslogistik .....	179
Abbildung 3.13	Prozessdarstellung der Distributionslogistik .....	187
Abbildung 3.14	Prozessdarstellung der Baustellenlogistik .....	194
Abbildung 3.15	Module eines ERP-Systems .....	200
Abbildung 3.16	OT- und IT-Infrastruktur einer Smart Construction Factory .....	201
Abbildung 3.17	IT-Infrastruktur einer digitalen Logistikkette im Bauwesen .....	207
Abbildung 4.1	Struktur Kapitel 4 .....	220
Abbildung 4.2	Energetische Sanierung einer Reihenhauszeile .....	226

---

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1	Einordnung der Arbeit in das Design Science Research Framework .....	12
Tabelle 2.1	Übersicht der suchbegriffsspezifischen Datenbankergebnisse .....	26
Tabelle 2.2	Auffassungen über den Begriff Logistikkette .....	29
Tabelle 2.3	Designprinzipien intelligenter Fabriken .....	71
Tabelle 2.4	Ebenen der Automatisierungspyramide .....	75
Tabelle 2.5	Technische Lebensdauer einzelner Bauteile und Austauschfaktoren .....	94
Tabelle 3.1	Charakteristika einfacher und komplexer Systeme .....	122
Tabelle 3.2	Fortschrittliche Technologien in der adaptiven digitalen Logistikkette einer intelligenten Fabrik im Bauwesen .....	211
Tabelle 4.1	Netto-Arbeitsaufwand für die Sanierung einer Reihenhausezeile .....	242



Getrieben von der vierten industriellen Revolution investieren Produktionsunternehmen zusehends in Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien. Durch die nahtlose Integration von Daten und Prozessen sollen autonome Produktions- und Logistikumgebungen geschaffen werden, in der Fertigungsanlagen, Fahrzeuge, Produkte und Systeme unabhängig miteinander kommunizieren. **Intelligente Fabriken entstehen.**<sup>1</sup> Ihre Entwicklung zielt darauf ab, den Ressourceneinsatz flexibler, effizienter und nachhaltiger zu gestalten, Verschwendung zu vermeiden und den Menschen weitestgehend aus operativen Produktionsprozessen auszugliedern. Zudem eröffnen intelligente Fabriken die Möglichkeit, neue Geschäftsmodelle für eine prägende Zukunft der Fertigungsindustrie zu entwickeln.<sup>2</sup>

Die durch Industrie 4.0 prognostizierten **Auswirkungen auf die Wirtschaft** sind beachtlich. So rechnet die Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) mit einer Verdopplung des weltweiten Bruttoinlandsproduktes (BIP) bis 2060.<sup>3</sup> Alleine die Einführung von intelligenten Fabriken könnte der Weltwirtschaft einen zusätzlichen Mehrwert von mindestens 2 Bio. € einbringen.<sup>4</sup> Insbesondere die deutsche Volkswirtschaft wird mit einem Industrieanteil von 23 % am BIP, verglichen mit dem europäischen Durchschnitt von 15 %, vom digitalen Wachstum betroffen sein. Doch während sich die meisten Studien gegenwärtig auf die Branchen Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik,

---

<sup>1</sup> Vgl. Ruile, H. (2019), S. 151.; Scheer, A.W. (2017), S. 38 f.

<sup>2</sup> Vgl. Bauernhansl, T. et al. (2016), S. 8 f.

<sup>3</sup> Vgl. OECD (2023).

<sup>4</sup> Vgl. Petit, J.P. et al. (2019), S. 16.

Automobilbau, chemische Industrie, Landwirtschaft und Informations- und Kommunikationstechnologie beziehen, ist das in dieser Arbeit fokussierte Bauwesen bisher seltener Untersuchungsgegenstand gewesen.

Häufig erscheint das Bauwesen, gemessen an der Innovationskraft des Automobil-, Maschinen- oder Anlagenbaus, mit seinen eher stereotypischen Prozessen und analogen Techniken vergleichsweise belanglos. Dennoch ist laut dem *Bundesministerium des Innern und für Heimat* (BMI) die **Bauwirtschaft eine der Schlüsselindustrien für die Volkswirtschaft** und einer der größten Wirtschaftszweige, der im Jahr 2022 in Deutschland einen Umsatz von 344 Mrd. € erzielte und 2,6 Mio. sozialversicherungspflichtige Menschen beschäftigte.<sup>5</sup> Dies ermöglichte einen Beitrag von 5,9 % zur gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung sowie einen Anteil der Bauinvestitionen am BIP von 11,6 %, wodurch die Bauwirtschaft sogar vor den Industriebereichen des Fahrzeugbaus, Maschinenbaus oder der Informations- und Kommunikationswirtschaft liegt.<sup>6</sup>

Aktuell sieht sich die **Baubranche mit einer Vielzahl von Herausforderungen konfrontiert**. Ein Wohnraumangel führt zu steigenden Mieten und Schwierigkeiten bei der Suche nach Wohnungen in Ballungszentren. Durch veraltete Bauwerke entstehen beträchtliche CO<sub>2</sub>-Emissionen, wodurch ein dringender Bedarf an Sanierungen im Altbau vorliegt. Darüber hinaus erschweren Zinserhöhungen, begrenzte Verfügbarkeiten von Baumaterialien und Arbeitskräften, Lieferkettenverzögerungen sowie die Inflation die Realisierung von Bauprojekten und setzen sowohl Bauunternehmen als auch Bauherren unter Druck.<sup>7</sup>

Speziell die **Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bauwesen** gewann in den vergangenen Jahren immer mehr an Relevanz. Da Gebäude weltweit zu 36 % der Treibhausgasemissionen aufgrund ihres hohen Energiebedarfs für Heizung, Kühlung und Elektrizität beitragen, spielt die Baubranche eine entscheidende Rolle zur Verlangsamung des Klimawandels.<sup>8</sup> Neben der Erfüllung der internationalen Klimaabkommen, wie dem Paris Agreement oder European Green Deal, hat sich Deutschland mit dem Klimaschutzgesetz bestimmte Minderungsziele gesetzt und beabsichtigt bis 2045 eine Treibhausgasneutralität.<sup>9</sup> Um dies zu erreichen,

---

<sup>5</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt (2023).

<sup>6</sup> Vgl. BMAS (2019), S. 12.; Kraus, P., Weitz, H. (2022), S. 3 ff.

<sup>7</sup> Vgl. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie (2022).

<sup>8</sup> Vgl. United Nations Environment Programme (2020), S. 4 ff.

<sup>9</sup> Dies bedeutet, dass Deutschland bis 2045 keine Netto-Treibhausgasemissionen mehr verursachen soll. Verbleibende Emissionen müssen durch andere Kompensationen ausgeglichen werden. Es muss ein Gleichgewicht zwischen den Emissionen und deren Abbau herrschen (vgl. BMWK (2022), S. 6).

wurden Maßnahmen im Klimaschutzprogramm 2030 definiert.<sup>10</sup> Zukünftig gilt es jedoch neben den Regulierungen und Gesetzgebungen auch, die Öffentlichkeit für die Vorhaben zu sensibilisieren und Anreize zu schaffen. In diesem Zusammenhang ist die Kooperation von Politik und Wirtschaft sowie die Vernetzung von Branchenakteuren von Bedeutung, um realistische Lösungen und Methoden zu finden und umzusetzen.

Allerdings ist die Baubranche in Bezug auf die Themen Innovationskraft und Digitalisierung oft noch zu analog, obwohl **ein erhebliches Optimierungspotenzial besteht**, indem fortschrittliche Technologien effizient eingesetzt werden. Dabei kann insbesondere die Entwicklung und Integration von intelligenten Fabriken ein starkes Wachstum ermöglichen, da in diesen die Fertigung von individuellen Wohnobjekten entsprechend eines industriellen Maßstabs erfolgt. Durch die Verzahnung von Industrie und Bauwesen würden neue, effizientere Fertigungsstrukturen entstehen, die sowohl den benötigten Wohnungsbedarf decken als auch Arbeitsbelastungen sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen reduzieren können.<sup>11</sup>

Um die **Integration von intelligenten Fabriken im Bauwesen** Realität werden zu lassen, müssen zuvor verschiedene Vorarbeiten durchgeführt werden. U. a. sind die Lieferketten zu analysieren, da sich die Strukturen und Prozesse durch die erstmals hinzukommende zentrale Produktion in einer intelligenten Fabrik grundlegend ändern würden. Bei deren Neugestaltung ist besonders die digitale Verknüpfung der beteiligten Unternehmen zu beachten.<sup>12</sup> Die Analyse der notwendigen Systeme, ihre Vernetzung sowie die Auswirkungen auf die Akteure der Logistikkette sind Teil dieser Arbeit und werden im Verlauf erörtert.

Ausgehend von der Motivation und Relevanz für Wissenschaft und Praxis (Abschnitt 1.1) werden in diesem einleitenden Kapitel die Problemstellung und Zielsetzung beschrieben (Abschnitt 1.2). Abschnitt 1.3 erklärt den methodischen Forschungsrahmen. Das Kapitel endet mit Abschnitt 1.4, in dem die Struktur der Arbeit zur Erreichung des Forschungsziels beschrieben wird.

---

## 1.1 Motivation und Relevanz

Die zugrundeliegende **Problemstellung** der vorliegenden Arbeit ist auf eine Kombination aus drei Bereichen zurückzuführen:

---

<sup>10</sup> Vgl. Bundesregierung (2023).

<sup>11</sup> Vgl. Klinc, R., Turk, Ž. (2019), S. 393 ff.; Boton, C. et al. (2021), S. 2331 ff.

<sup>12</sup> Vgl. Simbeck, K., Bühler, M. (2018), S. 195 ff.; Schmidtke, N. et al. (2018), S. 5 f.

- die Implementierung intelligenter Fabriken in bestehende Lieferketten;
- das Komplexitätsproblem in der Logistik;
- der ungenügende Digitalisierungsstand und zu hohe CO<sub>2</sub>-Ausstoß im Bauwesen.

Prinzipiell kann unter Industrie 4.0 „die Durchführung von industriellen Produktionsprozessen mit Hilfe von hochentwickelten Informations- und Kommunikationstechnologien“<sup>13</sup> verstanden werden. Im Kern bedeutet dies die Transformation einer herkömmlichen Fabrik zu einer Smart Factory.<sup>14</sup> Grundidee einer **intelligenten Fabrik** ist die Erzeugung einer selbstorganisierenden Produktions- und Logistikumgebung, um die individueller werdenden Anforderungen von Kunden bei gleichzeitiger Kostensenkung zu erfüllen. In den Fabriken sollen fortan die beteiligten Objekte wie Maschinen, Werkstücke, Ladungsträger und Fahrzeuge eigenständig und in Echtzeit über das Internet miteinander kommunizieren.<sup>15</sup> Allerdings bringt die Implementierung intelligenter Fabriken in bestehende Lieferketten Anforderungen mit sich. Hierzu zählen neben der Aufbringung der finanziellen Mittel für die Investitionen auch die Schaffung einer durchgängigen Datenintegration im Unternehmen und zwischen den Akteuren der Lieferkette. Weiter müssen Datenschutzfragen beantwortet sowie Veränderungen in der Unternehmenskultur und Arbeitsweise berücksichtigt werden.

Da erst ein funktionierendes Logistiksystem Industrie, Handel und Gesellschaft mit dem versorgen kann, was gebraucht wird, hat die **Logistik einen hohen Stellenwert für moderne Volkswirtschaften** und ist ein Weichensteller für zukünftige Entwicklungen. Mit der vierten industriellen Revolution wird auch sie, auf Basis einer erhöhten Informationsverfügbarkeit, den nächsten Entwicklungssprung vollziehen. Ziel ist es, Rückschlüsse aus Daten zu ziehen, um sich fortan schnell an ein volatiles Umfeld anzupassen zu können.<sup>16</sup>

Allerdings ist die Logistik laut *Göpfert, ten Hompel* und *Wehberg* bereits seit den 1990er Jahren durch die steigende Koordinationsintensität ihrer Prozesse von einem **Komplexitätsproblem** geprägt. Dieses lässt sich durch individualisierte Konsumstile, tiefere und breitere Produktionsprogramme sowie hochentwickelte Technologien mit unterschiedlichen Kommunikationsstandards begründen.<sup>17</sup> Durch die Entwicklung von intelligenten Fabriken und die benötigte

---

<sup>13</sup> Steven, M., Dörseln J.N. (2020), S. 9.

<sup>14</sup> Vgl. Wegener, D. (2019), S. 74.

<sup>15</sup> Vgl. Ruile, H. (2019), S. 151.; Yao, X. et al. (2017), S. 2806 f.

<sup>16</sup> Vgl. Günthner, W. et al. (2017), S. 98.

<sup>17</sup> Vgl. Wehberg, G. (2019), S. 368.

durchgängige Vernetzung der an der Leistungserstellung beteiligten Objekte ist ein erneuter Anstieg der technologischen Komplexität zu erwarten, sofern keine Anpassungen unternommen werden, da sich die Logistikprozesse aufgrund der Selbststeuerung grundlegend ändern werden.<sup>18</sup>

Der Wandel in Richtung einer autonomen Produktions- und Logistikumgebung erfordert **adaptive Systeme**, welche sich selbstständig einem volatilen Umfeld anpassen und Entscheidungen eigenständig treffen können, um die Komplexität für den Menschen zu verringern.<sup>19</sup> In diesem Zusammenhang bezweifeln *Günthner et al.* sogar, dass es aufgrund der Verbundenheit von Produktion und Logistik „eine Industrie 4.0 ohne adaptive Logistiksysteme geben wird“<sup>20</sup>. Auch *Fürstenberg et al.* sind der Meinung, dass intelligente Fabriken erst mit einer digital vernetzten Logistik verwirklicht werden können und die in den kommenden Jahren zu erforschenden Technologien „als Teile eines Puzzles zur Realisierung des Leitbilds beitragen“<sup>21</sup> werden.

Insgesamt führt dies zu einer **Wechselwirkung** zwischen dem Komplexitätsproblem in der Logistik und intelligenten Fabriken, welche die Notwendigkeit der in dieser Arbeit betrachteten Entwicklung eines adaptiven Systems steigern. Durch Anwendung von Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien in der Logistik sollen sowohl die Komplexität reduziert als auch selbstorganisierende digitale Logistikketten gebildet werden. Indem diese nicht nur die Produktions-, sondern ebenfalls die Beschaffungs- sowie Distributionsprozesse intelligenter Fabriken effizienter gestalten, schaffen sie zudem eine wichtige Basis für deren Implementierung in bestehende Lieferketten.<sup>22</sup> Die Logistik ist also nicht nur die herausragende Anwendungsdomäne der Industrie 4.0, sondern vor allem für die praktische Realisierung intelligenter Fabriken notwendig.<sup>23</sup>

Im Forschungsgebiet der Industrie 4.0 wurde die Produktionsumgebung innerhalb einer Fabrik für die autonome Herstellung von Gütern bisher eingehend erforscht.<sup>24</sup> Die Wissensstände beziehen sich jedoch länderübergreifend überwiegend auf Industrie- und Pharmaunternehmen, den Online-Versandhandel und

---

<sup>18</sup> Vgl. Steven, M., Dörseln J.N. (2020), S. 9.

<sup>19</sup> Vgl. Roessler, M., Haschemi, M. (2019), S. 64 ff.; Witkowski, K. (2017), S. 763 ff.

<sup>20</sup> Günthner, W. et al. (2017), S. 121.

<sup>21</sup> Fürstenberg, K., Kirsch, C. (2017), S. 290.

<sup>22</sup> Vgl. Büyüközkan, G., Göçer, F. (2018), S. 157 f.

<sup>23</sup> Vgl. ten Hompel, M., Henke, M. (2017), S. 247.

<sup>24</sup> Ein intelligentes Produkt kennt seine physischen Eigenschaften und speichert seine Fertigungsinformationen in maschinell lesbarer Form. Anhand dieser Daten kann es seinen Weg durch die Fertigungsanlage und die einzelnen Produktionsschritte eigenständig steuern.

Energieversorger. Die Kombination aus intelligenten Fabriken, Bauwesen und Logistik stand hingegen kaum im Vordergrund. Erste Untersuchungen legen in dieser Hinsicht dar, dass es auch im Bauwesen zukünftig möglich sein wird, ganze Hauseinheiten zentral zu fertigen.<sup>25</sup> Die **Absicht solcher „Smart Construction Factories“ ist die standardisierte, schnellere und kostengünstigere Herstellung von Wohnobjekten im Vergleich zum herkömmlichen Bauwesen**, in dem Gebäude noch von Hand vor Ort gebaut werden.<sup>26</sup> Durch die Fertigung im industriellen Maßstab sollen die Herausforderungen im Bauwesen bewältigt werden, indem Arbeitsbelastungen reduziert als auch Kosten gesenkt werden.

Dabei eignet sich nicht nur der Neubaubereich als Erkenntnisobjekt. Die Fassaden- und Dachpaneele können ebenfalls zur **energetischen Gebäudesanierung** verwendet werden, wodurch ferner der Altbau- sowie Renovierungsmarkt Zielgruppe der Fabriken wird.<sup>27</sup> So sind auch in der Strategie des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) energetische Sanierungen als Baustein zur Erreichung einer fortwährenden Entwicklung angeführt.<sup>28</sup> Durch die Sanierungen kann ein Beitrag zum Klimaschutz und der Erfüllung des Klimaschutzprogrammes der Bundesregierung geleistet werden. Dieses fordert neben der Treibhausgasneutralität bis 2045 bis 2030 eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 65 % gegenüber 1990 in den Sektoren Verkehr, Gebäude, Kleinindustrie, Landwirtschaft und Abfall.<sup>29</sup> mit Blick auf die Vorgaben des Pariser-Klimaabkommens müssten alleine im europäischen Nordseeraum rund 22 Mio. Bestandsimmobilien in den nächsten 30 Jahren saniert werden, um 79 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> jährlich einsparen zu können. Dies bedeutet eine Renovierungsrate von über 3 % pro Jahr, was dem Dreifachen der derzeitigen Rate entspricht.<sup>30</sup>

Durch die Verwirklichung von intelligenten Fabriken, die den stereotypischen Prozessen und analogen Techniken effizient entgegenwirken, könnten vier entscheidende **Herausforderungen des Bauwesens** gelöst werden:

1. Reduzierung der Bau- und Renovierungskosten,
2. Beschleunigung des Bau- und Renovierungstempos,
3. Digitalisierung der Baubranche und Lieferketten,

---

<sup>25</sup> Vgl. Oesterreich, T.D., Teuteberg, F. (2016), S. 122 f.

<sup>26</sup> Vgl. Vestin, A. et al. (2018), S. 460 f.

<sup>27</sup> Vgl. Lange, K., Krämer, U.B. (2019), S. 3 f.; Decorte, Y. et al. (2020), S. 2.

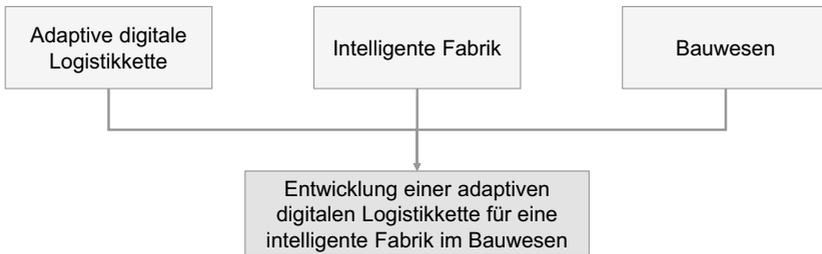
<sup>28</sup> Vgl. BMWSB (2023a).

<sup>29</sup> Vgl. Bundesregierung (2019).

<sup>30</sup> Vgl. Lange, K., Krämer, U.B. (2019), S. 1 f.; Decorte, Y. et al. (2020), S. 1.

#### 4. Senkung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes.

Zusammenfassend zeigen die vorliegenden Aspekte, dass ein dringender Bedarf in der Errichtung intelligenter Fabriken im Bauwesen sowie der methodischen Entwicklung ihrer adaptiven digitalen Logistikketten besteht. Hieraus ergeben sich die Betrachtungsbereiche bzw. Forschungsbeiträge dieser Arbeit (siehe Abbildung 1.1).



**Abbildung 1.1** Forschungsbereiche der Arbeit<sup>31</sup>

Die betrachtete intelligente Fabrik fokussiert die Herstellung von Fassaden- und Dachpaneelen zur energetischen Sanierung, zu denen typische Gestaltungselemente eines Gebäudes wie Fenster und Türen zählen, die zusätzlich durch Photovoltaikanlagen, Heizungs- und Lüftungssysteme ergänzt werden. Nach der Fertigung werden diese von außen an das zu sanierende Objekt montiert. Als Gebäude kommen insbesondere Wohngebäude, aber auch Gewerbegebäude und Lagerhallen in Frage.

---

## 1.2 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit setzt sich das Ziel, die **digitale Darstellung der Logistikkette einer intelligenten Fabrik im Bauwesen** im Kontext der Design Science Forschung zu entwickeln. Unter einer digitalen Logistikkette wird in diesem Kontext die kontinuierliche elektronische Verbindung und Datenintegration aller Akteure und deren IT-Systeme sowie Objekte, wie Produkte, Maschinen, Anlagen und Fahrzeuge, prozessübergreifend entlang der Lieferkette verstanden.<sup>32</sup>

---

<sup>31</sup> Eigene Darstellung.

<sup>32</sup> Vgl. Korpela, K. et al. (2017), S. 4183.

Die Logistikkette soll bei Veränderungen in der Systemumwelt adaptiv ihren Material- und Informationsfluss anpassen können, um für die steigende Dynamik moderner Wertschöpfungsnetzwerke geeignet zu sein. Mit der Erstellung soll ein Beitrag zur Industrialisierung und Digitalisierung von Produktions- und Logistikprozessen im Bauwesen geleistet werden, der zugleich bei der Reduzierung der Komplexität in der Logistik und der Realisierung einer intelligenten Fabrik im Bauwesen unterstützen kann.

Die Entwicklung basiert auf der Untersuchung der Beschaffungs-, Produktions- und Distributionsprozesse einer intelligenten Fabrik, der Baustellenlogistik sowie den Schnittstellen mit Lieferanten, Dienstleistern, Händlern und Kunden.<sup>33</sup> Als Beschreibungsrahmen wird die Systemtheorie verwendet, um dem ganzheitlichen Planungs- und Steuerungsanspruch der Logistik gerecht zu werden.

Entsprechend der Zielsetzung sowie der zuvor erläuterten Problemstellung und Motivation ergibt sich für diese Arbeit die zentrale Fragestellung:

**„Welche Kriterien sind bei der Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen heranzuziehen und welche Gestaltungselemente sind entsprechend einer möglichst vollständigen Kriterien Erfüllung wie zu berücksichtigen?“**

Aus der spezifischen Beantwortung der Fragestellung lassen sich weiter **drei Hypothesen** ableiten, die im Verlauf der Arbeit getestet werden sollen. Deren Überprüfung soll belegbare Erkenntnisse liefern, die es ermöglichen, fundierte Schlussfolgerungen für die Fragestellung zu ziehen. Zudem helfen die Hypothesen dabei, die wissenschaftliche Gültigkeit der Arbeit und die Zuverlässigkeit der Ergebnisse sicherzustellen, die Aufmerksamkeit auf relevante Inhalte zu lenken und Fehlinterpretationen zu vermeiden.<sup>34</sup> Die Hypothesen lauten:

1. Eine adaptive digitale Logistikkette ist für die Realisierung und den Betrieb einer intelligenten Fabrik notwendig.
2. Das Konzept einer adaptiven digitalen Logistikkette ist nur durch fortschrittliche Technologien erfüllbar.

---

<sup>33</sup> Da sich die Entsorgungslogistik auf anfallende Rückstände aus den Teilbereichen statt auf die Produktionsgüter bezieht und sich deren Materialflüsse in die entgegengesetzte Richtung der Logistikkette bewegen, wird sie in der Konzeptentwicklung nur am Rande berücksichtigt. Die Ersatzteillogistik wird nicht betrachtet.

<sup>34</sup> Vgl. Balzert, H. et al. (2008), S. 5 ff.

3. Die im Bauwesen beteiligten Akteure der Lieferkette müssen ihre logistischen Prozesse und Informationstechnologie-Strukturen anpassen, um die Entwicklung einer durchgängigen digitalen Logistikkette zu ermöglichen.

**Zielgruppe dieser Arbeit** sind Wissenschaftler:innen<sup>35</sup> der angewandten Forschung sowie Produktions- und Logistikunternehmen, die sich mit der Gestaltung intelligenter Fabriken und deren logistischen Ver- und Entsorgungskonzepten im Bauwesen beschäftigen. Weiter werden sowohl Investoren als auch Bauunternehmen angesprochen, die sich für Möglichkeiten der seriellen Gebäudesanierung interessieren, sowie zuletzt Ämter und Initiativen, die sich für die Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Erhöhung der Sanierungsrate einsetzen. Die **theoretische Bedeutung** der Arbeit leistet einen Beitrag zur Erforschung digitaler Logistikketten von intelligenten Fabriken im Bauwesen und stellt dabei die Auswirkungen auf Lieferketten und deren Akteure dar. Der **praktische Nutzen** besteht darin, dass die entwickelten Ansätze das Potenzial zur Verbesserung der industriellen Fertigung und logistischen Abwicklung haben.

Für die Beantwortung der Fragestellung und Prüfung der Hypothesen ist ein systematischer **Forschungsrahmen** notwendig, der sich in einen Forschungsprozess und die darin verwendeten Forschungsmethoden unterteilen lässt.

---

## 1.3 Forschungsrahmen

**Wissenschaft** bezeichnet den Vorgang, neue Erkenntnisse durch die Anwendung gültiger Methoden systematisch zu gewinnen und zu vermitteln, um so den Vorrat an Wissen zu vergrößern.<sup>36</sup> Zweck einer wissenschaftlichen Tätigkeit sind die Darstellung, Beschreibung und Verbreitung gewonnener Ergebnisse, die in einem kausalen Zusammenhang stehen. Aufgabe der Wissenschaftstheorie ist, mit wissenschaftlichen Methoden den Fortschrittsgrad hinsichtlich des Forschungsgegenstandes zu dokumentieren.<sup>37</sup>

Gegenstand dieser Arbeit ist die Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen. Da hierdurch das Ziel der Gestaltung eines Informationssystems avisiert wird, kann die Entwicklung

---

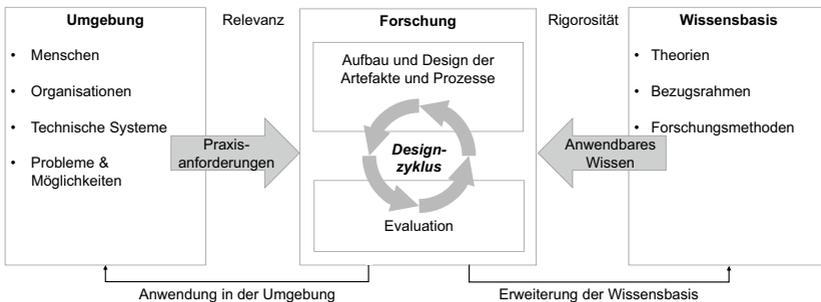
<sup>35</sup> Um die Lesbarkeit dieser Arbeit zu verbessern, erfolgt im weiteren Verlauf die Verwendung der männlichen Form. Es ist zu betonen, dass sämtliche Begriffe im Sinne der Geschlechtergleichstellung und unabhängig von geschlechtlichen Unterschieden interpretiert werden sollten.

<sup>36</sup> Vgl. Kornmeier, M. (2007), S. 4.

<sup>37</sup> Vgl. Balzert, H. et al. (2008), S. 6.; Kommesser, S., Büttemeyer, W. (2020), S. 4 f.

entsprechend der „**Design Science Research-Methode**“ nach *Hevner et al.* erfolgen.<sup>38</sup> Dieser Forschungsrahmen ist ein problemlösungsorientierter Ansatz, in welchem auf Basis von wissenschaftlichen und praktischen Kriterien sogenannte „**Design Artifacts**“ kreiert und evaluiert werden, um organisatorische Probleme zu lösen. Ein Artefakt stellt zumeist eine technologische Lösung für einen spezifischen Forschungsgegenstand dar, wobei es sich sowohl um einen theoretischen Rahmen, ein Modell oder auch eine Software handeln kann. Entscheidend ist, dass die beabsichtigte Lösung evaluiert und zur Behebung eines definierten Problems genutzt werden kann.<sup>39</sup>

Der **Fokus von Design Science Research** liegt im Verständnis bestehender Phänomene (Research) sowie der Entwicklung von Neuem (Design).<sup>40</sup> Die Auswahl der Forschungsmethodik ist dabei eng mit der Diskussion von Rigorosität und Relevanz wissenschaftlicher Erkenntnisse verbunden, also dem Problem der wissenschaftlichen Fundierung bei gleichzeitiger Berücksichtigung der Praxisrelevanz.<sup>41</sup> *Hevner et al.* unterteilen den Design Science Ansatz in die drei Bereiche Umgebung, Wissensbasis und Forschung sowie deren Schnittstellen Praxisanforderungen und anwendbares Wissen (siehe Abbildung 1.2).<sup>42</sup>



**Abbildung 1.2** Design Science Ansatz<sup>43</sup>

<sup>38</sup> Vgl. Hevner, A.R. et al. (2004), S. 76 f.

<sup>39</sup> Vgl. Trepper, T. (2015), S. 11 f.; Vaishnavi, V., Kuechler, W. (2015), S. 20.

<sup>40</sup> Vgl. Vaishnavi, V. et al. (2019), S. 1.

<sup>41</sup> Vgl. Hevner, A.R., Chatterjee, S. (2010), S. 126.; Gregor, S., Hevner, A.R. (2013), S. 337 f.; Trepper, T. (2015), S. 13.

<sup>42</sup> Vgl. Hevner, A.R. et al. (2004), S. 78 f.

<sup>43</sup> Vgl. Hevner, A.R. et al. (2004), S. 78 ff.

Während bei der Erarbeitung einer fundierten Wissensbasis Theorien, Bezugsrahmen und Forschungsmethoden beschrieben werden, bezieht sich die Umgebung auf die Berücksichtigung von Menschen, Organisationen, technischen Systemen sowie Problemen und Möglichkeiten in der Anwendungsdomäne. Im **Designzyklus** werden die Methoden der Wissensbasis zusammen mit den Einflussfaktoren der Umgebung so lange kombiniert und evaluiert, bis das Artefakt selbst in der Umgebung angewendet werden kann und eine Erweiterung der Wissensbasis schafft.<sup>44</sup>

**Bezogen auf die vorliegende Arbeit stellt die adaptive digitale Logistikkette für eine intelligente Fabrik das zu entwickelnde Artefakt dar.** Entsprechend werden auf der Umgebungsseite die Anforderungen des Bauwesens in der Praxis samt seinen Akteuren, Netzwerken und deren Produktspezifikationen analysiert. Auf der gegenüberstehenden Wissensbasis werden die für die Logistikkette notwendigen Theorien und Bezugsrahmen (Systemtheorie) sowie Forschungsmethoden (systematische Literaturanalyse und Fallbeispiel) definiert.<sup>45</sup> Anschließend werden sowohl die Praxisanforderungen als auch das anwendbare Wissen der Entwicklung des Artefakts im Designzyklus hinzugefügt.

Um eine Forschungsarbeit final dem Design Science Ansatz zuordnen zu können, müssen auch bei der Auswahl der Forschungsaktivitäten und Art des Resultats bestimmte Anforderungen erfüllt werden.<sup>46</sup> Eine gängige Struktur bietet das von *March et al.* entworfene **Design Science „Research Framework“**, in welchem vier Arten der Forschungsergebnisse sowie -aktivitäten unterschieden werden, die das Artefakt annehmen kann.

Die vier Kategorien der **Forschungsergebnisse** lauten:<sup>47</sup>

- **Construct:** Ein Konstrukt beschreibt das Vokabular und die Konzeptualisierung einer Domäne, mit der Probleme innerhalb der Domäne beschrieben und ihre Lösungen spezifiziert werden.
- **Model:** Ein Modell ist eine Reihe von Aussagen, die Beziehungen zwischen Konstrukten und Situationen als Problem- und Lösungserklärung darstellen.
- **Method:** Eine Methode besteht aus einer Reihe von Schritten (bspw. einem Algorithmus oder einer Richtlinie), mit denen eine Aufgabe ausgeführt wird.
- **Instantiation:** Eine Instanziierung ist die praktische Realisierung eines Artefakts in der entsprechenden Umgebung.

---

<sup>44</sup> Vgl. Hevner, A.R. (2007), S. 88 f.

<sup>45</sup> Vgl. Hevner, A.R. (2007), S. 90 f.

<sup>46</sup> Vgl. Hevner, A.R. et al. (2004), S. 78.

<sup>47</sup> Vgl. March, S., Smith, G. (1995), S. 256 ff.

Neben den Forschungsergebnissen werden auch die **Forschungsaktivitäten** in vier Kategorien unterteilt:<sup>48</sup>

- **Build:** Konstrukte, Modelle, Methoden und Instanziierungen werden als Artefakte gebaut, um eine bestimmte Aufgabe auszuführen. Das Erstellen beweist die Machbarkeit. Die Artefakte werden hierbei zum Untersuchungsgegenstand.
- **Evaluate:** Das Artefakt wird bewertet, um festzustellen, ob Fortschritte erzielt wurden. Die Bewertung zeigt die Nutzbarkeit. Die Auswertung erfordert die Definition von Kriterien, die eine Bewertung der Artefakte ermöglicht.
- **Theorize:** Theorien erläutern die beobachteten Eigenschaften des Artefakts und seine Interaktion mit der Umgebung unter Berücksichtigung der Naturgesetze, die das Artefakt beeinflussen, und den Akteuren, welche die Umgebung regeln.
- **Justify:** Die Verallgemeinerung einer Theorie muss durch das Sammeln von Beweisen logischer oder mathematischer Natur belegt werden.

Die Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette für eine intelligente Fabrik im Bauwesen ist dem **Forschungsergebnis** „**Model**“ sowie den **Aktivitäten** „**Build**“ und „**Evaluate**“ zuzuordnen. Es wird ein Modell bestehend aus Funktionen erzeugt, welches die Beziehungen zwischen Systemen, Prozessen und Akteuren eines Netzwerks darstellt und entsprechend seiner Fähigkeit zur Problemlösung ihren Material- und Informationsfluss selbstständig anpasst (siehe Tabelle 1.1). Dabei wird das Artefakt im Verlauf der Erstellung entsprechend der Systemtheorie für jeden Teilbereich der Logistikkette entworfen, dann in einem integrierten Gesamtkonzept zusammengeführt und anschließend auf seine Realisier- und Nutzbarkeit anhand eines Fallbeispiels geprüft. Zuletzt erfolgt eine technisch-betriebswirtschaftliche Bewertung.

**Tabelle 1.1** Einordnung der Arbeit in das Design Science Research Framework<sup>49</sup>

		Forschungsaktivitäten			
		Build	Evaluate	Theorize	Justify
<b>Forschungsergebnisse</b>	<b>Construct</b>				
	<b>Model</b>	Adaptive digitale Logistikkette			
	<b>Method</b>				
	<b>Instantiation</b>				

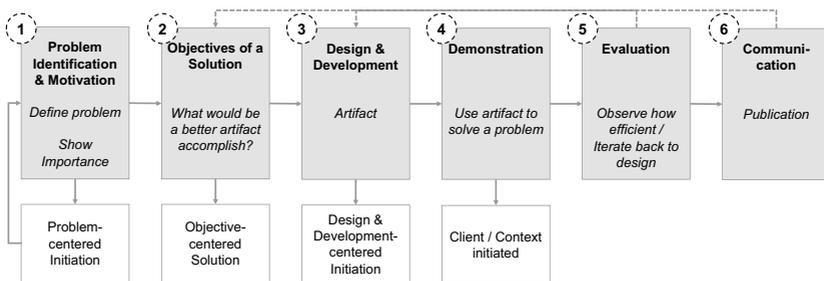
<sup>48</sup> Vgl. March, S., Smith, G. (1995), S. 258 f.

<sup>49</sup> Vgl. March, S., Smith, G. (1995), S. 255.

Um ein Artefakt und dessen zugrundeliegende Zielsetzung entsprechend ihrer Anforderungen aufzubauen, wurden spezifische Modelle entwickelt, die beim methodischen Vorgehen unterstützen.<sup>50</sup> Die bekannteste Möglichkeit stellt hierbei der von *Peffers et al.* definierte Design Science Research Methodology Process (DSRM-Prozess) dar, welcher demzufolge auch als **Vorgehensmodell für diese Arbeit** fungiert.

### 1.3.1 Forschungsprozess

Der **DSRM-Prozess** beschreibt ein strukturiertes Vorgehen für die Entwicklung von Artefakten nach dem Design Science Ansatz mit dem Ziel, ein hochwertiges Modell für die Merkmale der Forschungsergebnisse bereitzustellen (siehe Abbildung 1.3).<sup>51</sup>



**Abbildung 1.3** Design Science Research Methodology Process<sup>52</sup>

Der DSRM-Prozess ist in **sechs Phasen** unterteilt:<sup>53</sup>

1. Zu Beginn erfolgen die Identifikation und Analyse des Forschungsproblems nebst Darstellung der Motivation eine Lösung zu finden sowie das Aufzeigen der Relevanz des zu erforschenden Mehrwerts, den das Artefakt bieten soll.

<sup>50</sup> Vgl. Weiß, M. (2019), S. 18.

<sup>51</sup> Vgl. Peffers, K. et al. (2007), S. 56 ff.

<sup>52</sup> Vgl. Peffers, K. et al. (2006), S. 93.

<sup>53</sup> Vgl. Peffers, K. et al. (2006), S. 94 ff.; Peffers, K. et al. (2007), S. 56 ff.