

---

# Inhaltsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| <b>1 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 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 |
| 3       | <b>Entwicklung einer adaptiven digitalen Logistikkette .....</b>        | 117 |
| 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<br>Bauen im Bestand . . . . .           | 136 |
| 3.2.3 Anforderungen an die adaptive digitale Logistikkette . . . . .                   | 139 |
| 3.2.4 Visualisierung und Notation der betrachteten<br>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<br>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<br>Construction Factory . . . . .         | 199 |
| 3.8.1.2 IT-Infrastruktur einer digitalen<br>Logistikkette . . . . .                    | 204 |
| 3.8.2 Einbeziehung von Digitalisierungs- und<br>Automatisierungstechnologien . . . . . | 210 |
| 3.8.3 Betrachtung der Rückführungslogistik . . . . .                                   | 215 |
| 3.9 Zusammenfassung . . . . .  | 217 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>4 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 Zusammenfassung und wissenschaftliche Erkenntnisse . . . . .</b>   | 261 |
| <b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>   | 269 |