

1 Einleitung

Das Fließband hat als serieller Taktgeber ausgedient.

Nur mit einem immer gleichen Produkt ergab die Fließbandfertigung Sinn.

(Hubert Waltl – ehem. Audi-Produktionsvorstand)¹

1.1 Motivation der Arbeit

Matrixstrukturierte Montagesysteme gewinnen in der Forschung zunehmend Aufmerksamkeit. Als flexible Organisationsform sollen sie den andauernden Herausforderungen durch kürzere Innovationszyklen und volatile Marktbedingungen montageseitig begegnen. Dabei brechen matrixstrukturierte Montagesysteme mit wesentlichen Paradigmen der linienstrukturierten Fließmontage, welche seit mehr als 100 Jahren als Befähiger der wirtschaftlichen Montage von großen Losgrößen gilt. Wo bisher Taktzeiten und eindirektionale Verkettungen von Montagestationen vorherrschen, sehen matrixstrukturierte Montagesysteme taktzeitunabhängige und zweidimensional angeordnete Montagestationen vor. Dadurch können Aufträge individuelle Pfade durch das Montagesystem nehmen, indem nicht relevante oder belegte Montagestationen übersprungen werden. Die Zuordnung von Aufträgen zur jeweils nächsten Montagestation sowie die Auswahl der nächsten Montageoperation erfolgt dabei kurzfristig und unter Berücksichtigung aktueller Gegebenheiten im Montagesystem. Dadurch kann auf unvorhergesehene Ereignisse wie bspw. Stationsausfälle, Abweichungen von Vorgabezeiten oder Änderungen im Produktionsprogramm reagiert werden. Diese Zuordnung erfolgt in matrixstrukturierten Montagesystemen durch die Montagesteuerung. Dabei regelt die Montagesteuerung nicht nur die Zuordnung von Aufträgen und Montageoperationen, sondern ebenso die Zuweisung von Montagepersonal zu Montagestationen und die notwendige Materialbereitstellung.

Die zahlreichen Freiheitsgrade sowie die zum Betrieb notwendige Reaktionsfähigkeit erschweren die Realisierung einer Montagesteuerung für matrixstrukturierte Montagesysteme. So sind Verfahren auszuschließen, die zu einem initialen Zeitpunkt eine statische Montagestations- bzw. Maschinenbelegungsplanung auf Basis vollständiger (Eingangs-)Informationen² erzeugen. Vielmehr gilt es die Montage als störungsbehaftetes System mit nicht vorhersagbaren Zustandsänderungen und ungeplanten Ereignissen anzusehen. Entsprechend sind im Anwendungskontext Verfahren zum Online-Scheduling in den Fokus gerückt. Diese verarbeiten Informationen wie bspw. die aktuelle Verfügbarkeit von Montagestationen im laufenden Montagebetrieb und treffen darauf aufbauend Entscheidungen. Anzumerken ist, dass sich die Vernachlässigung globaler Informationen negativ auf die Optimalität von Entscheidungen auswirken kann.³

¹ Interview in: POLL (Das Ende des Fließbands), 2016.

² In der Literatur wird in diesem Fall von Offline-Scheduling (engl. für Maschinenbelegungsplanung bzw. Ablaufplanung) gesprochen.

³ Vgl. POPPENBORG et al. (Online scheduling of flexible job-shops), 2012, S. 498.

Als geeigneter Ansatz zur Modellierung der Montagesteuerung in matrixstrukturierten Montagesystemen haben sich dezentrale Agentensysteme herausgestellt.⁴ Ziel eines Agentensystems ist das Lösen eines komplexen Problems mithilfe mehrerer, zueinander in Beziehung stehenden Agenten. Hierzu wird ein Problem in Teilaufgaben zerlegt und einzelnen Agenten zur Bearbeitung zugeordnet.⁵ Agenten sind als (Software-)Einheiten bestrebt, ihre inhärenten Entwicklungsziele durch eigenständiges Handeln zu erreichen.⁶ Exemplarisch sei im Anwendungskontext die agentenbasierte Montagesteuerung nach BURGGRÄF et al. genannt. BURGGRÄF et al. modellieren die Zuordnung eines Auftrags zu einer Montagestation sowie die anschließende Auswahl eines Auftrags aus der Warteschlange einer Montagestation als separate Teilprobleme. Montagestationen und Aufträge verhandeln als Agenten, indem sie Informationen austauschen und eigenständig ihre Entwicklungsziele verfolgen.⁷

Bisherige Ansätze zur Modellierung der Montagesteuerung in matrixstrukturierten Montagesystemen fokussieren insbesondere die Zuordnung von Montageaufträgen zu Montagestationen als Kernaufgabe der Montagesteuerung. Die Auftragsfreigabe, welche als Teil der Montagesteuerung anzusehen ist, stand bisher nicht im Fokus. Simulationsmodelle matrixstrukturierter Montagesysteme beruhen bisher auf zufälliger, alternierender oder periodischer Auftragsfreigabe. Diese Herangehensweise widerspricht den Grundprinzipien matrixstrukturierter Montagesysteme, indem keine Prüfung von kapazitiven Bestandsgrenzen des Montagesystems oder auch der Bearbeitbarkeit von Aufträgen erfolgt. Gerade in der variantenreichen und disruptiven betrieblichen Praxis ist es jedoch unabdingbar, dass Aufträge erst dann freigegeben werden, wenn ein Montagesystem absehbar über ausreichende Kapazitäten zur Auftragsbearbeitung verfügt. Eine unzureichende Berücksichtigung kapazitiver Restriktionen kann zu Engpässen und Ablaufstörungen im Montagesystem führen. Mögliche Auswirkungen dieser sind wiederum schwankende oder auch längere Durchlaufzeiten von Aufträgen sowie temporäre Unter- und Überlastung von Montageressourcen. Vielmehr gilt es Aufträge, deren störungsfreie Bearbeitung nicht absehbar ist, zurückzuhalten.⁸ Anders als in linienstrukturierten Fließmontagen ist zugunsten der Stabilität und Leistungsfähigkeit eines matrixstrukturierten Montagesystems auf vorgegebene Reihenfolgen⁹ bei der Einschleusung von Aufträgen sowie an den Montagestationen zu verzichten.¹⁰ Folglich ist keine terminierte Vorhersage des Kapa-

⁴ Vgl. BURGGRÄF et al. (Agentensysteme in der Montage), 2020, S. 172ff.; LEUSIN et al. (Multi-Agent System Approach for Production Control), 2018, S. 1459; SCHÖNEMANN et al. (Matrix-structured manufacturing systems), 2015, S. 110; MAY et al. (Multi-Agent Production Control for Matrix Production Systems), 2021, S. 3ff.; TAN et al., 2020, S. 2.

⁵ Vgl. MÖNCH (Agentenbasierte Produktionssteuerung), 2006, S. 4.

⁶ Vgl. ZAWISZA (Agentensysteme zur dezentralen PPS), 2018, S. 56ff.

⁷ Vgl. BURGGRÄF et al. (Agentensysteme in der Montage), 2020, S. 170ff.

⁸ Vgl. SCHUKAT et al. (Order release in matrix-structured assembly systems), 2022.

⁹ In linienstrukturierten Fließmontagen durchlaufen einzelne Aufträge das Montagesystem bzw. die zugehörigen Montagestationen in der gleichen Reihenfolge, wie sie freigegeben und in das System eingeschleust wurden. Diese Reihenfolge wird in der Praxis auch als Perlenkette bezeichnet.

¹⁰ Vgl. GRESCHKE (Matrix-Produktion), 2020, S. 238f.

zitätsbedarfs eines spezifischen Auftrags möglich. Diese ist jedoch Voraussetzung zur Durchführung eines Belastungsabgleichs¹¹ innerhalb einer bestandsregelnden Auftragsfreigabe, welche zur Vermeidung von Überlastungen eines Montagesystems darstellt. Diese Problematik wird zusätzlich durch die reaktive Zuordnung von Aufträgen zu Montagestationen, welche die Montagesteuerung nach Freigabe eines Auftrags steuert, verstärkt. Die deterministische sowie eindeutige Vorhersage des Kapazitätsbedarfs eines spezifischen Auftrags bedingt, dass sowohl die Reihenfolge der Bearbeitung der Montageschritte als auch die Reihenfolge der Belegung der jeweils notwendigen Montagestationen bekannt sind. Der Pfad eines Auftrags, welcher diese Reihenfolgen bestimmt, wird beim Online-Scheduling jedoch erst reaktiv im laufenden Montagebetrieb bestimmt.¹² Dennoch können die technisch möglichen Pfade anhand des Montagesystems sowie auftragsspezifischen Produkts hergeleitet werden. Dabei sind Routing- und Sequenzflexibilität zu unterschieden. Routingflexibilität beschreibt in matrixstrukturierten Montagesystemen die Möglichkeit, dieselbe Montageoperation an unterschiedlichen Montagestationen durchzuführen. Dadurch können Aufträge, welche die gleichen Montageoperationen beinhalten, unterschiedliche Pfade während ihrer Bearbeitung durchlaufen. Folglich kann der zugehörige Kapazitätsbedarf nicht eindeutig einer Montagestation zugeordnet werden. Sequenzflexibilität beschreibt hingegen die Möglichkeit, die zur Bearbeitung eines Auftrags notwendigen Montageoperationen in varierender Reihenfolge durchzuführen.¹³ In Summe führen Routing- und Sequenzflexibilität bei reaktiver Zuordnung von Montageaufträgen zu Montagestationen sowie Auswahl der jeweils zu bearbeitenden Montageoperationen dazu, dass selbst bei Bekanntsein des Freigabezeitpunkts eines Auftrags eine Vielzahl möglicher Pfade und damit möglicher Belastungszustände existieren.

Die skizzierte Unsicherheit hinsichtlich der möglichen Pfade eines Auftrags und den resultierenden Kapazitätsbedarfen führt dazu, dass die Auftragsfreigabe in matrixstrukturierten Montagesystemen als komplexes Problem anzusehen ist. Die vorliegende Arbeit nimmt sich diesem Problem an und verfolgt das übergeordnete Ziel, die postulierten Wirtschaftlichkeits- und Leistungspotenziale matrixstrukturierter Montagesysteme der Praxis zugänglich zu machen. Hierzu knüpft sie an bestehende Vorarbeiten zur agentenbasierten Montagesteuerung des Autors an und entwirft eine Methodik¹⁴ zur agentenbasierten, kapazitätsorientierten Auftragsfreigabe.

¹¹ Abgleich von Kapazitätsangebot und -nachfrage bspw. bezogen auf ein Montagesystem, eine Montagestation oder auch spezifische Ressourcen.

¹² Vgl. BURGGRÄF et al. (Agentensysteme in der Montage), 2020, S. 171ff.

¹³ Vgl. BURGGRÄF et al. (Modeling agile assembly systems), 2020, S. 1074.

¹⁴ Eine Methodik stellt eine zielgerichtete Vorgehensbeschreibung bestehend aus Methoden, Modellen und Hilfsmitteln dar. Eine im Anwendungskontext detaillierte Definition folgt im Kapitel 4.1.1.

1.2 Forschungsziel

Gemäß den vorangegangenen Ausführungen kann das Ziel dieser Dissertation wie folgt formuliert werden:

Ziel ist die Entwicklung einer Methodik zur agentenbasierten, kapazitätsorientierten Auftragsfreigabe für matrixstrukturierte Montagesysteme, welche Freigabeentscheidungen unter Berücksichtigung des aktuellen Montagesystemzustands sowie individueller Auftragsmerkmale trifft.

Die Umsetzung einer auf die Eigenschaften matrixstrukturierter Montagesysteme angepassten Methodik zur Auftragsfreigabe schafft die technologische Grundlage zur Einführung dieser in der Praxis. Gleichzeitig ist es Voraussetzung zur Realisierung der in der Wissenschaft postulierten Potenziale matrixstrukturierter Montagesysteme. Zur weiteren Strukturierung der zur Erreichung der Zielsetzung notwendigen Forschungsaktivitäten sowie zur Gestaltung eines zielgerichteten Forschungsprozesses wird gemäß KUBICEK eine grundlegende Forschungsfrage definiert. Diese grenzt den Betrachtungs- und Lösungsbereich ein.¹⁵ Die handlungsleitende Forschungsfrage dieser Dissertation lautet:

Wie können kapazitätsorientierte Freigabeentscheidungen in matrixstrukturierten Montagesystemen operationalisiert werden?

Die Beantwortung der handlungsleitenden Forschungsfrage wird durch weitere Unterfragen (UF), welche spezifische Themenbereiche adressieren, unterstützt und strukturiert. Diese sind wie folgt formuliert:

- UF-1: Wie ist eine bestandsregelnde Auftragsfreigabe für matrixstrukturierte Montagesysteme zu gestalten, welche trotz fehlender Informationen bzgl. Freigabezeitpunkt sowie Pfad eines jeden Auftrags Bestandsgrenzen berücksichtigt?
- UF-2: Wie ist eine Evaluationsumgebung zu gestalten, welche das Implementieren sowie das Testen der Methodik zur Auftragsfreigabe ermöglicht?
- UF-3: Können Funktionalität und Mehrwert der implementierten Methodik systematisch nachgewiesen und quantifiziert werden?

1.3 Forschungskonzeption

Diese Arbeit und das Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfrage folgt dem allgemeinen Verständnis und Vorgehen wissenschaftlicher Forschung. Wissenschaftliche Forschung stellt einen strukturierten Prozess dar, welcher nach BINDER UND KANTOWSKY „eine neue Wirklichkeit“ für den Forschenden und die Forschungsgemeinde zum Ergebnis hat.¹⁶ Die Ausgestaltung und Detaillierung der neuen Wirklichkeit als Forschungsergebnis, benennt AHLSTRÖM als

¹⁵ Vgl. KUBICEK (Heuristische Bezugsrahmen), 1976, S. 24ff.

¹⁶ Vgl. BINDER und KANTOWSKY (Technologiepotentiale), 1996, S. 3f.

„Beitrag zum Wissen“, welcher als Voraussetzung auf einer Neuheit basieren muss.¹⁷ Die Strukturierung des Forschungsprozess folgt dabei einem Forschungsansatz, welcher den gesamten Prozess von Problembeschreibung bis hin zur Lösungsfindung systematisch unterstützt und als Orientierung dient. Als grundlegender Forschungsansatz wird im Rahmen dieser Dissertation die Design Science Research (DSR)-Methodik gewählt, welche nachstehend eingeführt und begründet wird. Abschließend wird das Forschungsumfeld des Autors beschrieben, welches grundlegend zu dem Erfahrungswissen des Autors beigetragen hat.

1.3.1 Design Science Research als Forschungsansatz

Das der Dissertation zugrundliegende Vorgehen zur Erzielung der Forschungsergebnisse orientiert sich an der DSR-Methodik. Diese stellt als Forschungsansatz einen konzeptionellen Ordnungsrahmen für wissenschaftliche Forschung dar. Ziel der DSR-Methodik ist es, dem Forschenden Leitlinien für das Verständnis, die Durchführung und die Bewertung von Forschungsarbeiten zur Verfügung zu stellen, um die Erzielung und Relevanz eines Forschungsergebnisses sicherzustellen.¹⁸ Das Ergebnis der DSR-Methodik wird auch als Artefakt bezeichnet, welches die zielgerichtete Lösung des erfassten und beschriebenen organisatorischen Problems darstellt.^{19,20} Der Begriff Design Science hebt die Bedeutung hervor, dass die Gestaltung von realen Lösungen und die Ausrichtung auf das Wissen und die Fähigkeit für praktische Anwendungen im Vordergrund steht.²¹ Die Ursprünge des Forschungsansatzes liegen im Ingenieurwesen und der Informatik.²² Der Einsatz der Methodik soll daher vor allem die Wissensgenerierung so unterstützen, dass Fachleute der betreffenden Disziplinen das Wissen anwendungs- und lösungsorientiert nutzen können.²³ Dementsprechend dienen Designtheorien nicht nur präskriptiven, sondern auch funktionalen Zwecken.²⁴ Aus diesen Gründen eignet sich die DSR-Methodik besonders für das in dieser Dissertation zugrundeliegende Forschungsdefizit, da neben der theoretischen Problemstellung auch eine funktionale Lösung adressiert und implementiert wird.

Nach HEVNER besteht DSR aus den drei Säulen *Application Environment*, *Research* und *Knowledge Base* sowie sieben Richtlinien, mit denen die Anwendung sichergestellt wird.²⁵ Da-

¹⁷ Vgl. AHLSTRÖM (Research process), 2016, S. 47.

¹⁸ Vgl. HEVNER et al. (Design Science), 2004, S. 75.

¹⁹ Vgl. HEVNER et al. (Design Science), 2004, S. 82.

²⁰ Als Forschungsergebnis können auch weitere Artefakte entstehen, die als Lösungselemente zu verstehen sind.

²¹ Vgl. VAN AKEN (Design Science), 2005, S. 22.

²² Vgl. SIMON (Sciences of the artificial), 1996.

²³ Vgl. VAN AKEN (Design Science), 2005, S. 20.

²⁴ Vgl. BASKERVILLE und PRIES-HEJE (Designtheorie), 2010, S. 261.

²⁵ Vgl. HEVNER et al. (Design Science), 2004, S. 80ff.

rauf aufbauend erweiterte HEVNER das Modell um die *Design Science Research Cycles: Relevance, Design und Rigor Cycle*²⁶, welche das iterative Vorgehen verdeutlichen (vgl. Abbildung 1.1).

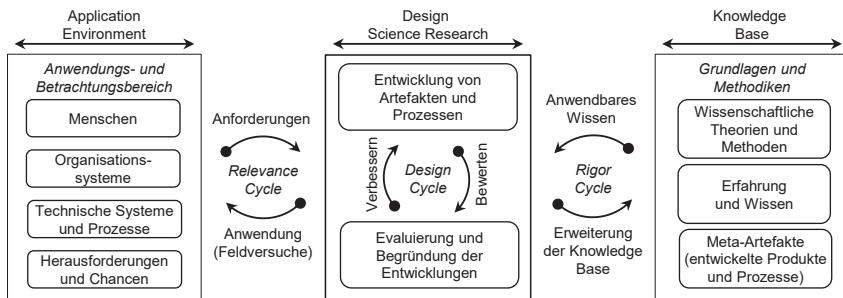


Abbildung 1.1: *Design Science Research Cycles nach HEVNER*²⁷

Die *Application Environment* (engl. für Anwendungsumfeld bzw. -bereich) definiert das Problem sowie den Betrachtungsbereich, in dem sich das zu betrachtende Forschungsproblem befindet. Es umfasst dazu alle beteiligten Personen, organisatorische und technische Systeme sowie relevante Herausforderungen und Chancen.²⁸ Der *Relevance Cycle* verbindet die *Application Environment* mit dem Forschungsinhalt (*Design Science Research*), indem relevante Anforderungen und konkrete Probleme aufgezeigt werden. Weiterhin sieht der *Relevance Cycle* die spätere Anwendung der Forschungsergebnisse bspw. in Form von Feldtests in der Praxis vor. Ist das Umfeld und die Problemstellung klar definiert, wird die *Design Science Research* zur Erarbeitung der Forschungsergebnisse durchgeführt. Zentrales Element ist der *Design Cycle* welcher iterativ zwischen den Kernaktivitäten, der Entwicklung der Artefakte und der Bewertung dieser wechselt. Die Artefakte, als Lösungselement des zugrundeliegenden Problems, können verschiedener Art sein, bspw. Konstrukte, Modelle, Methoden oder Theorien. Im iterativen *Design Cycle* wird das Artefakt inkrementell entwickelt und anschließend hinsichtlich der Problemlösung und Anwendung bewertet. Als Grundlage für die Entwicklung von Artefakten wird die *Knowledge Base* als Wissensbasis genutzt. Diese enthält wissenschaftliche Methodiken, Grundlagen und Erfahrungen. Weiterhin bildet sie die methodische Grundlage zur Bewertung innerhalb des *Design Cycles*. Betrachtet wird die *Knowledge Base* innerhalb des *Rigor Cycles*, welcher das anwendbare Wissen für die mittlere Säule der DSR-Methodik zur Verfügung stellt. Ein im *Design Science Research* erzeugtes Forschungsergebnis wird anschließend als Teil des *Relevance Cycles* im geeigneten Umfeld bspw. durch Feldtests angewandt. Gleichzeitig erweitern die Forschungsergebnisse bzw. neuen Artefakte mit dem *Rigor Cycle* die *Knowledge Base*. Zu dieser Erweiterung zählen sowohl die Anwendbar-

²⁶ Vgl. HEVNER (Design Science Research), 2007, S. 88.

²⁷ I. A. a. HEVNER (Design Science Research), 2007, S. 88; HEVNER et al. (Design Science), 2004, S. 80.

²⁸ Vgl. SIMON (Sciences of the artificial), 1996.

keit von bestehenden Grundlagen und Methodiken, als auch durch die Entwicklung von Artefakten aufgedeckten Defizite und Lücken innerhalb der *Knowledge Base*. Somit wird die *Knowledge Base* für zukünftige Forschungsaktivitäten erweitert.²⁹

Die DSR-Methodik wird sowohl für die Bearbeitung der Forschungsfrage dieser wissenschaftlichen Arbeit, als auch im wissenschaftlichen Umfeld des Autors, bspw. in Forschungsprojekten der RWTH Aachen University angewendet. Diese Forschungsprojekte bilden wiederum einen wesentlichen Teil der Wissensbasis des Autors.

1.3.2 Wissenschaftliches Umfeld

Die Bearbeitung des zugrundeliegenden Forschungsdefizits und -ziels basiert vor allem auf dem fundierten Erfahrungswissen des Autors. Dieses entstand durch die Beschäftigung als wissenschaftlicher Mitarbeiter und Gruppenleiter in der Abteilung Fabrikplanung am Lehrstuhl für Produktionssystematik am Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University (WZL) sowie zuvor in der Gruppe Automotive Assembly am Lehrstuhl Production Engineering of E-Mobility Components der RWTH Aachen University (PEM). Dabei hat der Autor diverse (Forschungs-)Projekte im Themengebiet zukünftiger, innovativer Montageorganisationsformen bearbeitet sowie geleitet. Besonders erwähnenswert durch ihre hohe Relevanz für die betrachtete Forschungsfrage dieser Dissertation sind:

- Forschungsprojekt *LoCoMo*: Das Forschungsprojekt *LoCoMo* (Low-Cost-Montageeinheiten) hatte zum Ziel, die Montage in der automobilen Serienproduktion zu flexibilisieren. Derzeit ist der wesentliche Anteil der Wertschöpfung der Automobilendmontage zentralisiert in wenigen großen Serienproduktionsstätten. Zur Erzielung einer hohen Produktionseffizienz sind die Montageeinheiten stark spezialisiert und mittels einer Taktfertigung gesteuert. Bei fallenden Stückzahlen infolge einer stärkeren Individualisierung und Derivatisierung der Fahrzeuge stoßen solche starren Produktionssysteme an ihre Grenzen und können mitunter wirtschaftlich nicht mehr effizient agieren. Es werden innovative Konzepte für die zukünftige, wirtschaftliche Fertigung von Fahrzeugen benötigt. Ein Lösungskonzept stellen die im Forschungsprojekt *LoCoMo* entwickelten flexiblen Low-Cost-Montageeinheiten dar. Anstatt starrer Fließbänder und Montageeinheiten basiert das Konzept auf flexiblen Montagestationen, welche von autonom-fahrenden Fahrzeugchassis individuell angesteuert werden. Unterstützt wird das Konzept durch eine entsprechende Steuerungslogistik sowie teil-automatisierten 3D-Druck von Justage-Elementen zur Steigerung der Prozesseffizienz.
- Forschungsprojekt *AIMFREE*: Das Forschungsprojekt *AIMFREE* hatte die Parallelisierung von Montagestationen sowie die Erhöhung der Wandlungsfähigkeit und Flexibilität automobiler Endmontage zum Ziel. Dabei wurden im Forschungsprojekt alle notwendigen Aspekte eines solchen agilen Montagesystems aufgegriffen und hinsichtlich einer praxisgerechten Anwendung bearbeitet. Dies beinhaltet ebenso die initiale Systemgestaltung sowie die Planung und Steuerung. Ein wesentlicher Bestandteil und damit auch Forschungsschwerpunkt bei der Gestaltung agiler Montagesysteme ist die

²⁹ Vgl. HEVNER et al. (Design Science), 2004, S. 79f.

Auflösung der starren Verkettung in linienstrukturierten Montagesystemen. Die Validierung der entwickelten Ergebnisse erfolgte sowohl mit Projektpartnern aus der Automobilindustrie (insb. Porsche AG) als auch in der Maschinenhalle des WZL. Dadurch wird die Anwendbarkeit der Ergebnisse in der Praxis sichergestellt.

Durch die Durchführung von zahlreichen Industrie- und Konsortialprojekten wurde zudem praxisnahes Wissen zu verschiedenen technologischen Themen und Lösungsansätzen der Montage der Zukunft gesammelt. In der Projektbearbeitung und -leitung arbeitete der Autor an dem Übertrag der aus den Forschungsprojekten gewonnenen Erkenntnissen in die industrielle Praxis. Ergänzt wird das Erfahrungswissen durch Aufbereitung der Erkenntnisse aus Forschungs- und Industrieprojekten in verschiedenen Lehr- und Weiterbildungsveranstaltungen sowie in zahlreichen Studien und internationalen Veröffentlichungen. Weitere Grundlagen zur Produktion und Produktionstechnik wurden durch das vorhergehende Maschinenbaustudium geschaffen sowie durch ein Studium der Wirtschaftswissenschaften ergänzt.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit orientiert sich an der zuvor vorgestellten DSR-Methodik. In Abbildung 1.2 werden daher die Kapitel sowie Unteforschungsfragen dieser Arbeit den jeweiligen Säulen bzw. Cycles zugeordnet.

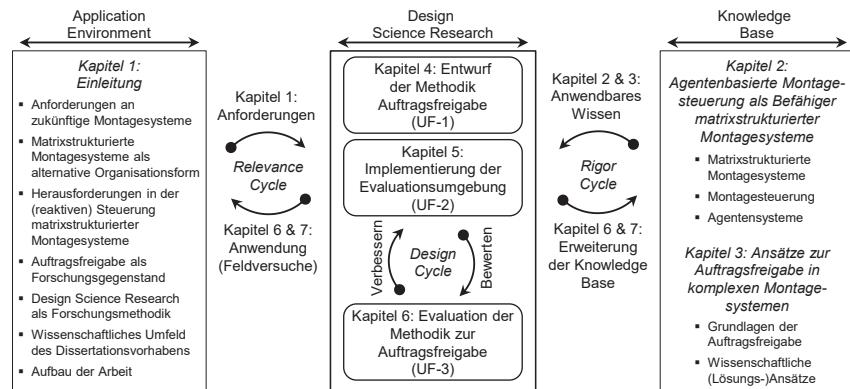


Abbildung 1.2: Aufbau der Arbeit angelehnt an die DSR-Methodik³⁰

Das zweite Kapitel befasst sich mit der *Knowledge Base* und definiert damit die grundlegenden Begrifflichkeiten, die für das Verständnis dieser Arbeit fundamental sind. Dies umfasst insbesondere die Sicht auf die industrielle Montage als System, die Merkmale matrixstrukturierter Montagesysteme sowie Funktionen der Montagesteuerung und die Rolle von Agentensystemen im Anwendungskontext. Dabei schließt das Kapitel mit einem Ausblick auf die Notwen-

³⁰ I. A. a. HEVNER (Design Science Research), 2007, S. 88; HEVNER et al. (Design Science), 2004, S. 80.

digkeit der Adaption von bekannten Verfahren zur Auftragsfreigabe für matrixstrukturierte Montagesysteme ab. Der identifizierte Handlungsbedarf wird verdeutlichen, dass für eine Realisierung der postulierten Potenziale matrixstrukturierter Montagesysteme die Entwicklung einer Methodik zur kapazitätsorientierten, agentenbasierten Auftragsfreigabe sowie deren Anbindung an die Montagesteuerung unabdinglich ist.

Das dritte Kapitel erweitert die *Knowledge Base* und stellt zunächst die Grundlagen der Auftragsfreigabe vor. Nach einer Diskussion der Übertragbarkeit dieser auf matrixstrukturierte Montagesysteme werden in Ergänzung systematisch dedizierte Ansätze identifiziert und untersucht, welche zur Beantwortung der (Unter-)Forschungsfragen herangezogen werden können. Abschließend wird der Forschungsbedarf zusammengefasst.

Das vierte Kapitel ist der mittleren Säule der DSR-Methodik zuzuordnen und behandelt somit den eigentlichen Forschungsinhalt. Auf Basis der Erkenntnisse und Anknüpfungspunkte aus der *Application Environment* sowie *Knowledge Base* wird der Lösungsraum eingegrenzt und eine Methodik zur agentenbasierten, kapazitätsorientieren Auftragsfreigabe entworfen. Hierzu werden diejenigen (Teil-)Modelle entwickelt, die in Summe der Beantwortung der UF-1 dienen, sowie die Grundlage der nachfolgenden Implementierung bilden. Dies beinhaltet weiterhin die Formulierung spezifischer Algorithmen zur späteren Implementierung der entworfenen Methodik. Das Kapitel 4 schließt mit einer Analyse des erwarteten Mehrwerts sowie den Limitationen der entwickelten Methodik ab.

Das fünfte Kapitel befasst sich mit der Implementierung der Methodik zur agentenbasierten, kapazitätsorientieren Auftragsfreigabe. Hierzu wird zunächst eine Evaluationsumgebung eingeführt, welche die Auftragsbearbeitung in matrixstrukturierten Montagesystem mithilfe einer agentenbasierten Montagesteuerung simuliert. Anschließend wird beschrieben, wie die Methodik zur Auftragsfreigabe als Agent in der Evaluationsumgebung softwaretechnisch umgesetzt wird. Das Kapitel beantwortet damit die UF-2.

Im sechsten Kapitel findet die Evaluation der entwickelten sowie implementierten Methodik auf Basis der im vorangegangenem Kapitel vorgestellten Evaluationsumgebung statt. Hierzu wird anhand eines systematischen Testings die Funktionalität der implementierten Methodik überprüft sowie anderseits der Mehrwert gegenüber bisherigen Ansätzen zur Auftragsfreigaben in matrixstrukturierten Montagesystemen untersucht. Damit dient das Kapitel der Beantwortung von UF-3 sowie auch der übergeordneten Forschungsfrage. Letzteres umfasst auch die Reflexion und Diskussion des Beitrags zur *Knowledge Base* sowie *Application Environment* im Sinne der DSR-Methodik.

Im abschließenden Kapitel 7 werden zunächst die Ergebnisse der Dissertation zusammengefasst. Abschließend wird ein Ausblick auf zukünftige Forschungsbedarfe und -aktivitäten gegeben.