

Agentenbasierter Ansatz zur Steuerung von Refabrikationssystemen

Bachelorarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Bachelor of Science (B. Sc.)“ im Studiengang
Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für
Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität
Hannover

vorgelegt von

Name: Voß



Vorname: David



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 15.09.2020

Inhaltsverzeichnis

Abstract	IV
Abbildungsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Forschungsfrage	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Aufbau der Arbeit	3
2 Grundlagen	5
2.1 Refabrikationssysteme und -prozesse	5
2.2 Steuerungsansatz der Verteilten Künstlichen Intelligenz	9
2.2.1 Künstliche Intelligenz	9
2.2.2 Verteilte Künstliche Intelligenz	11
2.2.3 Multiagenten-Systeme	12
3 Systematische Literaturrecherche	17
3.1 Motivation für eine agentenbasierte Steuerung von Refabrikationssystemen	17
3.2 Umfang der Literaturrecherche	19
3.3 Ergebnisse der Literaturrecherche	21
3.3.1 Objektorientierter Ansatz: O-MaSE	24
3.3.2 Agentenorientierter Ansatz: DACS	29
3.3.3 Wissensbasierter Ansatz: MAS-CommonKADS	31
3.3.4 Ansatz zur Realisierung des Steuerungssystems	33
4 Anforderungsanalyse	35
4.1 Einzelfallbeschreibung	35
4.2 Anforderungsspezifikationen für Refabrikationssysteme	38
4.3 Identifizierung der Ziele	39
4.4 Gestaltung der Domäne	41
5 Steuerungsentscheidungen in Refabrikationssystemen	44
5.1 Analyse der Steuerungsentscheidungen	44
5.1.1 Identifizierung der Steuerungsentscheidungen	44
5.1.2 Identifikation der Steuerungsabhängigkeiten	48
5.2 Agentenrollen	49
6 Agentifizierung des Steuerungsansatzes	56
6.1 Klassifizierung der Agentenaufgaben	56
6.2 Identifizierung der Agenten	59
6.2.1 Auftragsagenten	60
6.2.2 Ablaufagenten	60
6.2.3 Maschinenagenten	61
6.2.4 Produktagenten	63

6.2.5 Logistikagenten	63
6.3 Struktur eines Multi-Agenten-Systems für Refabriktionssysteme	64
7 Diskussion und Limitationen	66
8 Fazit und Ausblick	69
9 Literaturverzeichnis	72
A Anhang	1
A.1 Steuerungsentscheidungen im RS der Firma KGC	1

1 Einleitung

Die weltweite Population der Menschen wächst jedes Jahr kontinuierlich an [Ortlieb C.P., 2013, S. 125f], gleichzeitig steigt dementsprechend auch der Verbrauch an ökologischen Gütern bei schrumpfenden Aufnahmekapazitäten des Planeten Erde [Lamla, 2016, S. 251]. Diese Veränderungen fordern einen Übergang von der Linearwirtschaft, bei der Ressourcen und Produkte nach Benutzung entsorgt werden, zu einer Kreislaufwirtschaft, in der nachhaltige, intelligente soziotechnische Systeme verwendet werden, um Produkte mehrfach nutzen zu können [Okorie, 2020, S.2].

Geschlossene Lieferketten (Closed-Loop Supply Chains) erweitern die einmalige Nutzung von Produkten in Form einer umgekehrten Lieferkette (Reverse Supply Chain). In dem Prozess der umgekehrten Lieferkette werden nicht mehr nutzbare Produkte (Cores) eingesammelt und aufgearbeitet, sodass diese im Anschluss wiederverwendbar sind. Diese Produkte können dabei entweder repariert, rekonditioniert oder refabriziert werden. [Guide et al., 2003, S. 1]

Refabrikation stellt dabei den höchsten Standard, in Bezug auf Qualität, Garantie und Arbeitsaufwand, im Bereich der Aufarbeitung von Cores dar [Ijomah et al., 2007, S. 714] und bildet somit einen wichtigen Bestandteil der Kreislaufwirtschaft.

Der weltweite Megatrend in der Produktion geht immer weiter in Richtung der *Smart Factories* (intelligente Fabriken) und der *Industrie 4.0* [R. Verbeet, 2020, S. 1]. Der Begriff *Industrie 4.0* fällt dabei immer häufiger und bezeichnet einen neuen Typ der Industrialisierung, bei der intelligente Maschinen, Lagersysteme und Produktionsanlagen autonom Informationen austauschen, Aktionen ausführen und sich gegenseitig unabhängig steuern können. [Kagermann et al., 2013, S. 5]

Industrie 4.0 steht somit stellvertretend für den Übergang von den heutigen Fabriken zu intelligenten Fabriken und soll den Herausforderungen von kürzeren Produktlebenszyklen, individualisierten Produkten und steigendem Wettbewerb begegnen [Weyer et al., 2015, S. 579].

1.1 Motivation und Forschungsfrage

Dem Bereich der Refabrikation wird in den letzten Jahren immer mehr Aufmerksamkeit geschenkt, dies hat in der Forschung großen Anklang gefunden [Kerin and Pham,

[2020], S. 2]. Die Anwendung von *Industrie 4.0* Komponenten, zur Unterstützung der Kreislaufwirtschaft, an Produkten, an Aufbereitungsanlagen, sowie in den Unternehmenssteuerungssystemen, wird als intelligente Refabrikation bezeichnet [Kerin and Pham, 2020], S. 20].

Multiagenten-Systeme (MASs) bieten eine Möglichkeit die *Industrie 4.0* Komponenten zu repräsentieren [Weyrich et al., 2014], S. 6] und sind damit als Implementierungsansatz für *Industrie 4.0*-Systeme geeignet. Multiagenten-Systeme erfüllen viele Voraussetzungen zur Realisierung intelligenter, industrieller Systeme und damit auch zur Realisierung intelligenter Refabrikationssysteme (RSs) [R. Verbeet, 2020], S.13ff].

Agentensysteme besitzen die Fähigkeit, Aufgaben flexibel zu bearbeiten und mithilfe von Kommunikation und Interaktionen untereinander Konflikte zu lösen. Mithilfe dieser autonomen und intelligenten Agentensysteme können komplexe Abläufe bewältigt und die Effizienz der RSs nachhaltig erhöht werden. [R. Verbeet, 2020], S.6]

Anhand dieser Überlegungen stellt sich die folgende Forschungsfrage:

Wie kann ein Refabrikationssystem mithilfe eines Multiagenten-Systems gesteuert werden?

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines agentenbasierten Ansatzes zur Steuerung von RSs. Das zu entwickelnde MAS soll dazu beitragen, die durchschnittlichen Durchlaufzeiten der Cores zu senken, die Auslastung des Refabrikationsprozesses (RP) zu erhöhen und gleichzeitig die Qualität der Produkte beizubehalten.

Dafür wird eine Problem- und Anforderungsanalyse, sowie eine darauf aufbauende Analyse der Steuerungsentscheidungen durchgeführt. Abschließend werden anhand der Teilergebnisse die Aufgaben der Agenten klassifiziert und letztlich die Agenten identifiziert.

Die Entwicklung des MAS erfolgt dabei anhand der DACS und der O-MaSE Methode. Die DACS Methode ist speziell zur Entwicklung von MAS für die Steuerung von Produktionssystemen ausgelegt. Die O-MaSE Methode dient zur Erweiterung der DACS Methode und soll zur Erfassung der organisationalen Strukturen beitragen. Des Weiteren wird die Entwicklung anhand einer Einzelfallstudie des RS der Firma Komatsu Germany GmbH - Construction Division (KGC) durchgeführt.

Es wird erwartet, dass unterschiedliche Typen von Agenten benötigt werden, um eine Steuerung des Gesamtsystems zu ermöglichen. Weiterhin lässt sich vermuten, dass einige Agenten hauptsächlich Koordinationsaufgaben übernehmen werden, während andere Agenten primär für die Ausführung von Aufgaben zuständig sind. Letztlich ist zu erwarten, dass das entwickelte Multiagenten-System Aufschluss darüber gibt, ob und inwiefern es zur Automatisierung eines RS beiträgt.

1.3 Aufbau der Arbeit

Zu Beginn werden die grundlegenden Begriffe beschrieben und erläutert. Die Begriffe *Refabrikationssysteme und -prozesse* und *Multiagenten-Systeme* sind ein zentrales Thema dieser Arbeit und somit essenziell zum Verständnis. Im Anschluss daran wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, in der die bisherige Anwendung von MASs im Bereich der Refabrikation untersucht werden. Darauf aufbauend werden die verschiedenen Entwicklungsmethoden für MASs identifiziert und verglichen. Dabei wird auf drei dieser Methoden genauer eingegangen und begründet, welche für die Entwicklung eines MAS zur Steuerung von RSs am besten geeignet ist.

Nachdem die Auswahl der Methode zur Entwicklung eines MAS erfolgt ist, wird im nächsten Schritt eine Anforderungsanalyse durchgeführt. Um den Entwicklungsprozess eines agentenbasierten Steuerungsansatzes für RSs präzise nachvollziehen zu können, erfolgt dieser anhand einer Einzelfallstudie des RS der Firma KGC. In der Anforderungsanalyse werden die Ziele eines RS definiert, die Anforderungen spezifiziert und die Domäne visualisiert.

Anschließend werden die Steuerungsentscheidungen und Steuerungsabhängigkeiten am Beispiel der Fallstudie identifiziert. Dadurch sollen die unterschiedlichen Steuerungsprozesse, die in einem RS ablaufen, ersichtlich werden. Auf Basis der Ergebnisse erfolgt eine Einordnung der Agenten in den Kontext der RSs. Dazu werden die Rollen für Agenten modelliert und beschrieben.

Anhand der gesammelten Informationen sollen die benötigten Aufgaben der Agenten klassifiziert und die Agententypen identifiziert werden. Im letzten Schritt werden die Agententypen strukturiert. Aus einer strukturierten Anordnung der Agenten soll dann zuletzt ein MAS entstehen.

Nach der Identifizierung der Agententypen und Agentenaufgaben werden die Ergebnisse mit den Anforderungen an das MAS verglichen, diskutiert und überprüft, ob und wie die gesetzten Ziele erreicht wurden.

Abschließend werden die Limitationen dieser Arbeit erläutert und ein Fazit mit Ausblick auf weitere Forschungen dieser Arbeit gezogen.

8 Fazit und Ausblick

Ziel dieser Bachelorarbeit war es, einen agentenbasierten Ansatz zur Steuerung von RSs zu entwickeln. Das entwickelte MAS sollte dabei zur Senkung der durchschnittlichen Durchlaufzeiten der Cores, zur Erhöhung der Auslastung des RP und zur gleichzeitigen Beibehaltung der Qualität der Produkte im RS beitragen. Dazu wurden die Anforderungen von RSs an ein MAS und die Steuerungsentscheidungen eines RS anhand einer Einzelfallstudie analysiert. Anschließend wurden die Agententypen, sowie deren Aufgaben und Interaktionen identifiziert.

Dafür wurden zunächst die grundlegenden Begriffe *Refabrikationsprozess*, *Refabrikationssystem*, *künstliche Intelligenz*, *Verteilte Künstliche Intelligenz* und *Agenten bzw. Multiagenten-Systeme* erläutert. Daraus zeigte sich, dass es sich bei RSs um komplexe Systeme handelt, die durch hohe Unsicherheiten geprägt sind. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass in der Literatur verschiedene Agentenarchitekturen mit unterschiedlichen Attributen existieren.

Anschließend wurde eine strukturierte Literaturrecherche zu den Themen *Multiagenten-Systeme in der Refabrikation* und *Agentenorientierte Designmethoden* durchgeführt. Festzustellen ist, dass MAS in der Literatur bisher kaum Anwendung im Bereich der Refabrikation gefunden haben. Daneben wurden zwei Methoden identifiziert, die zur Entwicklung des MAS angewendet wurden.

Nachfolgend wurde das RS der Firma KGC beschrieben und die Anforderungen an das zu entwickelnde MAS analysiert. Dabei sind konkrete Ziele erkennbar, die durch Agenten erreicht werden müssen. Weiterhin wurden die Objekte eines RS erklärt und deren Zusammenhänge visualisiert.

Aufbauend auf den Anforderungen an das MAS wurden die Steuerungsentscheidungen und Steuerungsabhängigkeiten identifiziert. Daraus ergeben sich die verschiedenen Steuerungsprozesse, die in einem RS ablaufen. Auf Basis dieser Informationen wurden Agentenrollen modelliert. Mithilfe der Agentenrollen werden die Agenten in den Kontext des RS eingeordnet, sodass hierdurch die Rolle der Agenten im Zusammenhang mit dem RS ersichtlich wird.

Anhand der Teilergebnisse vorheriger Analysen und Modellierungen wurden die Aufgaben der Agenten, zur Erzielung der Anforderungen, identifiziert und klassifiziert. Daraus haben sich verschiedene Gruppen von Aufgaben gebildet, die von den Agenten ausgeführt

werden müssen. Abschließend wurden die Agententypen identifiziert und erläutert. Aus einer strukturierten Anordnung der Agenten ist letztlich das MAS zur Steuerung von RSs entstanden. Mittels der Klassifizierung der Agenten und der Identifizierung der ausführenden Agententypen wurde die Forschungsfrage „Wie kann ein Refabrikationssystem mithilfe eines Multiagenten-Systems gesteuert werden?“ beantwortet.

Das entwickelte MAS besteht dabei aus fünf verschiedenen Agententypen, die zur Steuerung der Bereiche *Auftragseingang und -ausgang*, *Prozessplanung*, *Transport und Überwachung der Komponenten*, *Bearbeitung der Komponenten* und *Logistik* eingesetzt werden.

Zusammenfassend steuert das MAS folgende Vorgänge:

- Eine automatisierte und dynamische Auftragserteilung und -abwicklung zur besseren Planung für Auftragnehmer und Auftraggeber.
- Eine automatisierte und flexible Prozessplanung, sobald der Zustand des Cores ermittelt wurde.
- Eine automatisierte Routenplanung und Steuerung des Transportsystems.
- Eine Automatisierte Ein- und Auslagerung der verschiedenen Teile im Lager.
- Eine detaillierte Fehlermeldung bei Störungen.

Durch die Ausführungen dieser Vorgänge trägt das MAS zur Senkung der durchschnittlichen Durchlaufzeiten der Cores, zur Erhöhung der Auslastung des RP und zur gleichzeitigen Beibehaltung der Qualität der Produkte im RS bei.

In der vorliegenden Forschungsarbeit konnten, aufgrund des begrenzten Umfangs, nicht alle Vorgänge eines RS detailliert betrachtet werden. Es wurden allgemeine Schritte modelliert, die zur Wiederaufbereitung von Cores benötigt werden. Das entwickelte MAS ist zwar allgemein auf RSs anwendbar, es sollte jedoch individuell auf das jeweilige RS angepasst werden. Des Weiteren basiert die Annahme, dass die genannten Ziele erreicht werden, auf logischen Schlussfolgerungen, und konnte aufgrund zeitlicher Beschränkungen, nicht verifiziert werden. Die Forschungsarbeit bietet somit einen agentenbasierten Ansatz zur Steuerung von RSs und kann als Grundkonzept für RSs verwendet werden.

Der Übergang zum neuen Industriezeitalter *Industrie 4.0* stellt den Bereich der Refabrikation vor neue Herausforderungen. Dementsprechend sind neue Lösungsansätze gefordert, um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Die Ergebnisse haben gezeigt,

dass MASs einen Beitrag zur Automatisierung von RSs leisten können, jedoch bislang wenig akademische Aufmerksamkeit erlangt haben. Die Bachelorarbeit dient als erster Grundstein für weiterführende Forschungen in diesem spannenden Bereich.