

Supply Chain Finance – ein agentenbasierter Ansatz

Kumulative Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor rerum politicarum

(Dr. rer. pol.)

am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Universität
Bremen

vorgelegt von

Alexandra Fiedler

Gutachter:

1. Prof. Dr. Hans-Dietrich Haasis
2. Prof. Dr. Dirk Sackmann

Tag des Kolloquiums: 06.12.2021

Leipzig, 1. Februar 2022

Auflistung der in der Dissertation zusammengefassten Veröffentlichungen

Folgende Beiträge sind bei unterschiedlichen wissenschaftlichen Zeitschriften und Jahrbüchern eingereicht, anonym begutachtet und veröffentlicht bzw. zur Veröffentlichung angenommen worden:

- Fiedler A., Sackmann D., Haasis HD. (2019) A Literature Review on the State of the Art of Multi-agent Systems in Supply Chain Management. In: Bierwirth C., Kirschstein T., Sackmann D. (eds) Logistics Management. Lecture Notes in Logistics. Springer, Cham. S. 62–74. https://doi.org/10.1007/978-3-030-29821-0_5
- Fiedler A. (2021) Nachhaltiges Supply Chain Finance. In: Wellbrock, W. und Ludin, D. (eds) Nachhaltiger Konsum: Best Practices aus Wissenschaft, Unternehmenspraxis, Gesellschaft, Verwaltung und Politik. Springer Gabler, Wiesbaden. S. 363-374. https://doi.org/10.1007/978-3-658-33353-9_22
- Fiedler A. (2021) An agent-based negotiation protocol for supply chain finance. In: Computers & Industrial Engineering (positiv bewertet, im Gutachterprozess)

Die Beiträge sind in dieser Arbeit mit vereinheitlichter Formatierung und Zitierweise sowie fortlaufender Kapitelnummerierung und in deutscher Sprache in den Kapiteln 3 bis 5 wiedergegeben.

Darstellung der Eigenleistung

Die in der kumulativen Dissertationsschrift „Supply Chain Finance – ein agentenbasierter Ansatz“ eingereichten Arbeiten sind elementarer Bestandteil meiner wissenschaftlichen Forschungsarbeit. Die darin enthaltenen Inhalte sind zu einem wesentlichen Teil durch meine Person zu verantworten.

Diese Dissertation setzt sich aus drei Publikationen zusammen, die ein sogenanntes „Peer-Review“ Verfahren durchlaufen haben. Neben der Veröffentlichung in einem Konferenzband ist ein Beitrag in einem Buch entstanden. Zusätzlich ist ein Journalartikel eingereicht und befindet sich zum Zeitpunkt der Abgabe der Dissertation im Begutachtungsprozess. Bei dem Journal handelt es sich um *Computers and Industrial Engineering* mit einer VHB-JOURQUAL3¹ (JQ3) Bewertung von B, es ist ebenfalls in der Ranking-Tabelle von A.-W. Harzing² aufgeführt. Die Journal Quality List ist eine Zusammenstellung von Zeitschriftenrankings aus verschiedenen Quellen. Darin enthaltene Zeitschriften lassen, auf Veröffentlichungen mit einem geeigneten Standard schließen.

Alle verwendeten Veröffentlichungen können den übergeordneten Themenfeldern Supply Chain Finance und Multiagentensysteme zugeordnet werden. Der Buchbeitrag „Nachhaltiges Supply Chain Finance“ (Kapitel 4) und der Journalartikel „An agent-based negotiation protocol for supply chain finance“ (Kapitel 5) sind als Einzelautor entstanden somit bin ich vollständig für die Inhalte verantwortlich.

Der Konferenzbeitrag „A Literature Review on the State of the Art of Multi-agent Systems in Supply Chain Management“ (Kapitel 3) ist gemeinsam mit Co-Autoren entstanden. Prof. Dr. Sackmann und Prof. Dr. Haasis haben dabei die Betreuung des Rechercheprozesses übernommen und beratend zur Seite gestanden. Erstgenannter hat zudem die Themenfindung unterstützt und die Hauptkorrektur durchgeführt. Die Konzeptualisierung, die Methodik, die Visualisierung und die Niederschrift erfolgten durch mich ebenso die Präsentation auf der *Logistics Management Conference* (LM 2019) an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Leipzig, den 03.11.2021

Alexandra Fiedler

¹vgl. https://vhbonline.org/fileadmin/user_upload/JQ3_PROD.pdf

²vgl. https://harzing.com/download/jql68_title_2.pdf

Inhaltsverzeichnis

Auflistung der in der Dissertation zusammengefassten Veröffentlichungen	iii
Darstellung der Eigenleistung	v
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziel der Arbeit	4
1.3 Gliederung	5
2 Theoretische Einführung	9
2.1 Theoriebildung	9
2.2 Theorie	10
2.2.1 Neuen Institutionenökonomie	10
2.2.2 Transaktionskostentheorie	11
2.2.3 Principal-Agent-Theorie	12
2.2.4 Property Rights	13
2.3 Technologie: Übertragung auf SCF und MAS	14
2.3.1 Untersuchungsgegenstand SCF	14
2.3.2 Definition SCF	16
2.3.3 Instrumente und Lösungen	17
2.3.4 Untersuchungsgegenstand MAS	21
2.3.5 Protokolle	23
2.3.6 Verhandlung	26
2.3.7 Automatisierte Verhandlung	27
2.3.8 Vertrauen und Reputation	30
2.4 Technik: Modellbildung	31
2.5 Evaluation	34
2.5.1 Agenten und Rollen	35
2.5.2 Verhandlungsmechanismus	40
3 Eine Literaturübersicht zum Stand der Technik von Multiagentensystemen im Supply Chain Management	45
3.1 Zusammenfassung	45

3.2	Einleitung	45
3.3	Systematische Literaturrecherche	47
3.4	Ergebnisse	47
3.4.1	Stufe 1	47
3.4.2	Stufe 2	50
3.4.3	MAS Klassifikation	50
3.4.4	SCM Klassifikation	53
3.5	Fazit	56
4	Nachhaltiges Supply Chain Finance	59
4.1	Zusammenfassung	59
4.2	Sustainable Supply Chain Finance	59
4.2.1	Gründe für Sustainable Supply Chain Finance	60
4.2.2	Finanzierungsmechanismen	61
4.3	Ein agentenbasierter Ansatz für Sustainable Supply Chain Finance	64
4.4	Fazit	68
5	Ein agentenbasiertes Verhandlungsprotokoll für das Supply Chain Finance	69
5.1	Zusammenfassung	69
5.2	Einleitung	69
5.3	Supply Chain Finance	71
5.4	Anforderungen an Supply Chain Finance	72
5.4.1	SCF Akteure	72
5.4.2	Instrumente	73
5.4.3	Prozess	74
5.5	Agentenbasiertes Verhandlungsmodell für Supply Chain Finance	77
5.5.1	MAS-Architektur des Verhandlungsmodells für SCF	78
5.5.2	Ablauf des Verhandlungsmodells für SCF	80
5.5.3	Entwurf eines Verhandlungsprotokolls für SCF	83
5.5.4	Experimente	85
5.6	Fazit und Ausblick	91
	Literaturverzeichnis	93

Abbildungsverzeichnis

1.1	EU-Produktionsindex (2015=100, von 01/2000 bis 01/2021 Eurostat 2021)	2
1.2	Einflussdiagramm SCF-MAS (eigene Darstellung)	4
1.3	Zu finanzierende Objekte in einer Supply Chain (in Anlehnung an Gomm 2008; Metze 2010)	5
1.4	Thematischer Zusammenhang der Beiträge und Aufbau der Arbeit	7
2.1	Übersicht der grundlegenden Theorien (eigene Darstellung in Anlehnung an Specht 1992)	10
2.2	Zusammenhang relevanter Theorien und Technologien im SCF- und MAS-Kontext (eigene Darstellung in Anlehnung an Specht 1992)	14
2.3	Verteilung der relevanten Artikel über die Jahre (eigene Darstellung)	15
2.4	Verteilung der relevanten Artikel nach Länder (eigene Darstellung)	16
2.5	Kommunikationsprotokolle (Juneja u. a., 2015)	24
2.6	Verhandlungsmerkmale nach Anzahl der Teilnehmer (eigene Darstellung in Anlehnung an Büttner 2011)	29
2.7	Verhandlungsmerkmale nach Anzahl der Attribute (eigene Darstellung in Anlehnung an Büttner 2011)	29
2.8	Verhandlungsmerkmale nach Anzahl der Verhandlungsgegenstände (eigene Darstellung in Anlehnung an Büttner 2011)	30
2.9	Zusammenhang relevanter Theorien, Technologien und Technik im SCF- und MAS-Kontext (eigene Darstellung in Anlehnung an Specht 1992)	32
2.10	Erweitertes MAS für SCF Einflussdiagramm (eigene Darstellung)	33
2.11	Dimensionen der Modellkonstruktion (eigene Darstellung in Anlehnung an Baumöl 2008)	34
2.12	Bezugspunkte der Evaluation (Riege u. a. 2009)	35
2.13	One-to-many SCF-Szenario (eigene Darstellung)	36
2.14	UML-Sequenzdiagramm der Verhandlungseröffnung (Auszug)	40
2.15	UML-Sequenzdiagramm der Auktion (Auszug)	43
2.16	UML-Sequenzdiagramm der Vertragsabschlüsse (Auszug)	44
3.1	Verteilung der Beiträge auf die Themen (eigene Darstellung)	49
3.2	Verteilung der Beiträge für MAS in der IJPR (eigene Darstellung)	51
3.3	Anzahl der Beiträge nach MAS-Klassifizierung (eigene Darstellung in Anlehnung an Davidsson u. a. (2005))	52
3.4	Anzahl der Beiträge je Reifegrad (eigene Darstellung in Anlehnung an van Parunak (2000))	53

3.5	Einordnung der Studien in die Supply Chain Planning Matrix nach Fleischmann u. a. (2005)	54
4.1	Anwendungsszenario für das Grundmodell der Supply Chain Finance (in Anlehnung an Gomm 2008)	66
4.2	Ablauf des agentenbasierten Modells (eigene Darstellung)	67
5.1	Akteure des SCF (eigene Darstellung)	73
5.2	Modellausschnitt SCF (in Anlehnung an Gomm 2008)	77
5.3	Architektur des MAS für SCF (eigene Darstellung)	81
5.4	UML Verhandlungsprotokoll (eigene Darstellung)	86
5.5	Gebote ohne externen Nutzen (eigene Darstellung)	88
5.6	Gebote mit externem Nutzen (eigene Darstellung)	91

Tabellenverzeichnis

2.1	Zusammenfassung der Theorien im Vergleich (in Anlehnung an Picot 1991)	11
2.2	Definitionen von SCF	18
2.3	Übersicht aktueller Agentenprogrammiersprachen (in Anlehnung an Cardoso u. Ferrando 2021)	37
2.4	Beschreibung der Agentenrollen	41
2.4	Beschreibung der Agentenrollen (Fortsetzung)	42
3.1	Verfahren in Stufe 1 der SLR	48
3.2	Liste der Zeitschriften mit JQ3-Rating	50
4.1	Nachhaltige Finanzierungsmechanismen (in Anlehnung an Bancilhon u. a. 2018)	62
5.1	Agenten Attribute	78
5.2	Agenten und ihre Eigenschaften im MAS für SCF	79
5.2	Agenten und ihre Eigenschaften im MAS für SCF (Fortsetzung)	80
5.3	Verwendete Nachrichtentypen in FIPA ACL im Modellkontext	84
5.4	Ausgangsdaten des einfachen Experiments	87
5.5	Bestimmung der unteren Gebotsgrenzen	87
5.6	Auktionsverlauf ohne externen Nutzen	89
5.7	Ausgangsdaten mit externem Nutzen	89
5.8	Ermittlung der Gebotsuntergrenzen mit externen Nutzen	90
5.9	Auktionsverlauf mit externem Nutzen	90

1 Einleitung

Dieses Kapitel führt in die Thematik der Arbeit ein und motiviert die Forschung zu Supply Chain Finance. Das Ziel der Arbeit wird benannt und der zu Grunde liegende Forschungsrahmen im Anschluss vorgestellt.

1.1 Problemstellung

In einem zunehmend wettbewerbsintensiven industriellen Umfeld müssen Unternehmen entweder ihre Produktion diversifizieren, um ihr Angebot auf dem Markt zu erweitern oder sich umgekehrt auf ein Geschäft spezialisieren, um an Effizienz zu gewinnen. Sie stehen daher verstärkt in Kontakt mit einer großen Anzahl von Partnern, da nicht die gesamte Herstellung und der Vertrieb der Produkte von einem einzelnen übernommen werden kann. Unternehmen bilden somit ein Netzwerk, dass üblicherweise als Lieferkette bezeichnet wird. Das Management dieser Kette wird durch einen Informationsaustausch und eine Umverteilung von Aktivitäten zwischen den verschiedenen Verbindungen, aus denen es besteht, verwirklicht. Supply Chain Management (SCM) ist seit mehreren Jahrzehnten ein wichtiger Motor für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Anfänglich war dieses Konzept lediglich eine Ausweitung der Logistikpraxis auf eine größere Anzahl von Partnern vor oder nach dem Betrieb eines Unternehmens (Bechtel u. Jayaram, 1997). Während die Integration von Material- und Informationsflüssen innerhalb der Lieferkette in der Praxis diskutiert und erprobt wurde, rückt der Fluss der finanziellen Ressourcen zunehmend in den Mittelpunkt (Pfohl u. a., 2003). Es scheint die Notwendigkeit zu geben, sich mit wirtschaftlichen und finanziellen Problemen zu befassen, da die Logistik nicht nur den Warenfluss und die damit verbundenen Informationen berücksichtigt. Das Lieferkettenmanagement sollte auch die Cashflows sowie die Auswirkungen auf die finanzielle Seite der Geschäftstätigkeit berücksichtigen. Die Herausforderungen, die sich aus diesen Entwicklungen ergeben, bringen ein neues Verständnis und eine neue Rolle der Akteure der Lieferkette und ihrer Beziehungen mit sich. Neue interfunktionale und interorganisatorische Aufgaben an der Schnittstelle von Finanzen und Logistik eröffnen neue Möglichkeiten in der Lieferkette (Hofmann, 2005).

Supply Chain Finance (SCF) verknüpft physische und finanzielle Flüsse in der Supply Chain (SC) zur Optimierung von Cashflow, Kapital- und Prozesskosten sowie Steuern. SCF zielt darauf ab, die Finanzflüsse durch Lösungen zu optimieren, die von Finanzinstituten (Camerinelli, 2009) oder Technologieanbietern (Lamoureux u. Evans, 2011) implementiert werden. Das Hauptziel besteht darin, die Finanzströme an die Güter- und In-

formationsflüsse innerhalb der Lieferkette anzupassen und das Cashflow-Management aus Sicht der Lieferkette zu verbessern (Wuttke u. a., 2013a). Die Vorteile des SCF-Ansatzes hängen von der Zusammenarbeit zwischen den Akteuren in der Lieferkette ab und führen in der Regel zu niedrigeren Fremdkapitalkosten, neuen Möglichkeiten zur Aufnahme von Krediten (insbesondere für schwache Akteure in der Lieferkette) oder zu einer Verringerung des Betriebskapitals (working capital) innerhalb der Lieferkette (Gelsomino u. a., 2016).

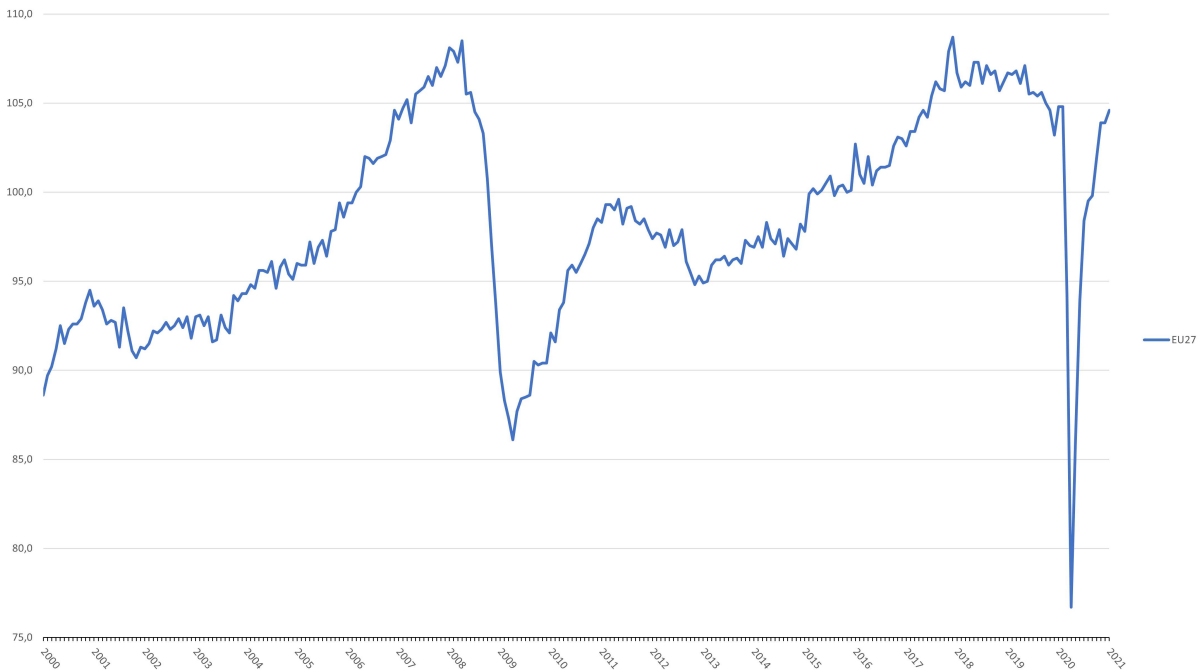


Abbildung 1.1: EU-Produktionsindex (2015=100, von 01/2000 bis 01/2021 Eurostat 2021)

Die Umsetzung gesetzlicher Bestimmungen, soziale Verantwortung sowie die Umweltbelange hinsichtlich der Reduzierung von Abfall und gefährlichen Materialien haben den Wettbewerb zwischen den Unternehmen verschärft. Unternehmen, die überleben wollen, brauchen einen produktiveren und innovativeren Ansatz für die finanziellen Aspekte ihrer Geschäfte (Abdollahzade u. a., 2018). Die Notwendigkeit solcher Finanzlösungen zeigt sich insbesondere in Krisenzeiten. In Abbildung 1.1 ist der erhebliche Rückgang der Industrieproduktion sowohl im Zuge der Finanz- und Wirtschaftskrise 2008/2009 als auch als Folge der COVID-19-Pandemie deutlich erkennbar. Diese Krisen und die damit verbundene schwierige Wirtschaftslage waren / sind mit Gewinnrückgang oder gar Verlusten für zahlreiche Unternehmen verbunden. Dies wiederum wirkt sich auf die Finanzierungssituation der Unternehmen aus. Die jährlich von der KfW Bankengruppe durchgeführte Studie zu den Finanzierungsbedingungen kleiner und mittlerer Unternehmen bestätigt das. Die Autoren stellen fest, dass sich im Zuge der Krise 2008 die Finanzierungsbedingungen verschlechterten. Demnach hatten über 35% der Befragten Erschwernisse beim Kreditzugang gegenüber dem Vorjahr (KfW, 2009). Die Situation verschlechterte sich im

Folgejahr weiter, wo bereits knapp 42% der Befragten von Erschwernissen beim Kreditzugang berichteten (KfW, 2010). Im Jahr 2020 schätzten die Unternehmen ihre Finanzierungssituation bis März als gut ein, die Rede ist bis dahin sogar von einem „Allzeithoch im Finanzierungsklima“. Zu dem Veröffentlichungszeitpunkt im Juli 2020 lagen den Autoren bereits erste Zahlen vor, die auf ein Ende dieser positiven Entwicklung schließen lassen und ähnlich wie bereits 2008/2009 mit größeren Schwierigkeiten bei dem Kreditzugang zu rechnen ist (KfW, 2020).

Die technologischen Fortschritte verändern die Form des gesamten Geschäftsumfeldes, in das SCF eingebettet ist (Bals, 2019). Seit der Finanzkrise im Jahr 2008 hat die Entwicklung von SCF dramatisch zugenommen. Ursprünglich wurde es für kleine und mittlere Unternehmen entwickelt, die sich in finanziellen Schwierigkeiten befanden, aber häufig haben auch große multinationale Organisationen das große Potenzial erkannt, dass SCF freisetzen kann (Betts, 2010).

Auch die Wissenschaft beschäftigt sich zunehmend mit dem Thema SCF. Wie Xu u. a. (2018) in ihrer Untersuchung feststellen, hat sich alleine von 2015 zu 2016 die Zahl der wissenschaftlichen Veröffentlichungen in diesem Bereich mehr als verdoppelt. Hier gibt es allerdings noch Defizite, so besteht die Forderung, dass Wissenschaftler die Forschungsmodelle für die SCF-Praxis anpassen und erweitern müssen, außerdem sollten die teils restriktiven Annahmen der Modelle gelockert werden (Xu u. a., 2018). Die Analyse der Literatur zeigt weiterhin, dass es keine praktischen Anleitungen und Tools gibt, mit denen Manager die SCF-Lösung identifizieren können, die ihren Bedürfnissen am besten entspricht. Dieses Gebiet wurde in der Literatur im Allgemeinen vernachlässigt (Gelsomino u. a., 2016). Es wurden zwar einige Auswirkungen auf das Management festgestellt, so die Autoren weiter, jedoch wurden keine wesentlichen Schritte unternommen, um solche Werkzeuge zu entwickeln.

Supply Chains sind komplexe und dynamische Netzwerke, die im Laufe der Zeit erheblichen Veränderungen unterliegen. Agenten hingegen sind unabhängige Einheiten, die im Namen von Akteuren der realen Welt handeln und so die damit verbundenen Entscheidungsprozesse dynamisch unterstützen können, wobei sowohl lokales als auch globales Wissen über ihre Umgebung berücksichtigt werden. Die Art von SCs fördert die Verwendung von Agenten, da jeder SC-Akteur mit einem autonomen Agenten charakterisiert werden kann. Agentenbasierte Modelle haben sich als nützliches Instrument für die Entwicklung bestimmter Entscheidungsprozesse in SCs erwiesen. Die Fähigkeit, die Interaktionen zwischen Akteuren in einem dynamischen und verteilten Umfeld über einen bestimmten Zeitraum darzustellen, ist in Agentensystemen einzigartig. Multiagentensysteme (MAS) setzen sich aus mehreren Agenten zusammen, die miteinander verhandeln und zusammenarbeiten, um ihre Ziele zu erreichen (O'Hare u. Jennings, 1996). Die unabhängigen kleinen Computerprogramme können dazu verwendet werden, die einzelnen Akteure in der virtuellen Umgebung darzustellen, um Instrumente und Lösungen aufzuzeigen, die mit traditionellen Modellierungsmethoden nur schwer oder gar nicht modellierbar sind.

1.2 Ziel der Arbeit

Aus der obigen Diskussion folgt die zentrale Forschungsfrage, die in dieser Dissertation verfolgt werden soll:

Wie können Multiagentensysteme erfolgreich eingesetzt werden, um organisationsübergreifende Systeme für das Supply Chain Finance zu entwerfen und zu implementieren?

Eignen sich Multiagentensysteme als Instrument zur Minimierung der Kapitalkosten für Investitionen in die Supply Chains?

Aus diesen Forschungsfragen wurde ein konzeptioneller Forschungsrahmen in Form eines sogenannten mehrstufigen Einflussdiagramms (Multi-Tier Influence Diagram) entwickelt (vgl. Abbildung 1.2). Einflussdiagramme stellen die Entscheidungen dar und nicht alle Handlungsalternativen. Die alternativen Entscheidungsmengen werden durch ein Viereck repräsentiert. Die Verfügbarkeit einer Information im Zeitpunkt einer Entscheidung, werden durch Pfeile, die auf ein entsprechendes Viereck deuten, repräsentiert. Durch Pfeile, die zu einem Symbol deuten, werden außerdem Abhängigkeiten der Entscheidungen untereinander dargestellt (Eisenführ u. Weber, 1993).

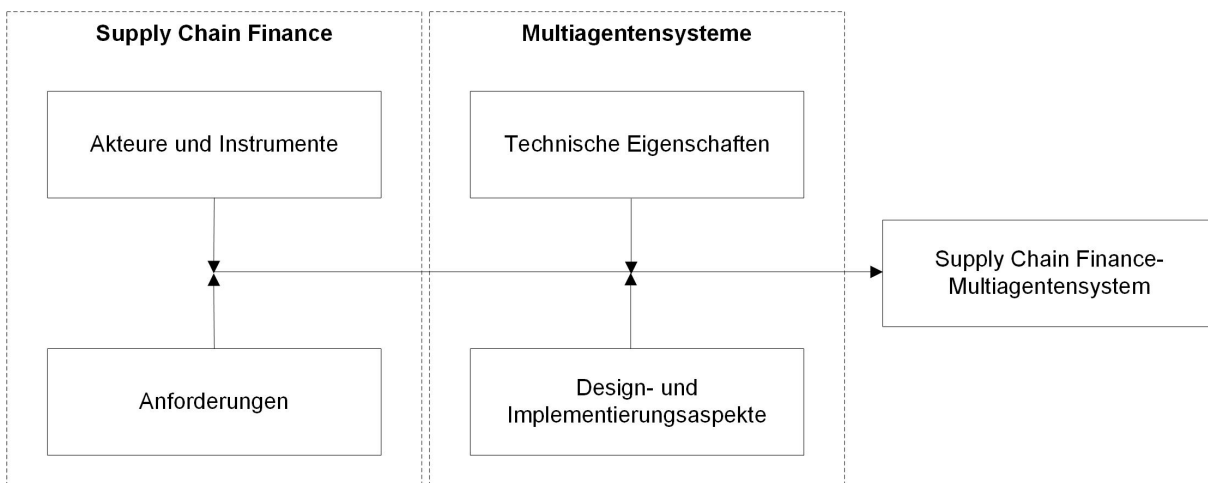


Abbildung 1.2: Einflussdiagramm SCF-MAS (eigene Darstellung)

Das zu entwickelnde Tool soll dabei auf einem Verständnis der Vor- und Nachteile der verschiedenen MAS-Lösungen und gleichzeitig auf den Verbindungen zwischen den Merkmalen einer Lieferkette und den verschiedenen SCF-Lösungen basieren, wie von Gelsomino u. a. (2016) gefordert.

Die beiden Vermögensteile, die es innerhalb einer SC zu finanzieren gilt, sind das Anlagevermögen und das Umlaufvermögen. Nach Gomm (2008) gibt es nachfolgend dargestellte zu finanzierende Objekte in einer SC (vgl. Abbildung 1.3).

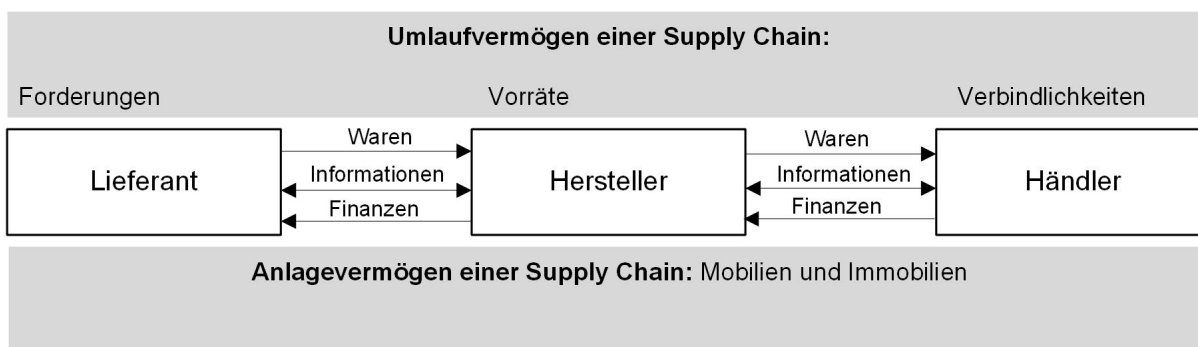


Abbildung 1.3: Zu finanzierende Objekte in einer Supply Chain (in Anlehnung an Gomm 2008; Metze 2010)

Bei Investitionen ins Umlaufvermögen und Anlagevermögen fallen Kosten für das eingesetzte Kapital an. Diese Kosten sind über den sogenannten Kapitalkostensatz quantifizierbar, er entspricht den Renditeforderungen der Kapitalgeber (Sach, 1993). Für die Herkunft des Kapitals gibt es drei Varianten¹: die Fremdfinanzierung, die Eigenfinanzierung sowie ein Mix aus Eigen- und Fremdfinanzierung. Bei einer vollständigen Fremdfinanzierung sind Kosten in Höhe des Fremdkapitalzins zu erwarten. Bei vollständiger Eigenfinanzierung bestimmen sich die Kapitalkosten aus den Renditeforderungen der Eigenkapitalgeber. Bei der Verwendung beider Finanzierungsformen ist für die Kapitalkosten der Durchschnittszins zu berücksichtigen. Unternehmen, die die Minimierung der Kapitalkosten anstreben, stehen demzufolge vor dem Entscheidungsproblem eine geeignete Finanzierungsform zu finden. Hier soll das auf Grundlage eines mathematischen Modells entwickelte MAS als automatisiertes Entscheidungsunterstützungstool zum Einsatz kommen.

1.3 Gliederung

Der thematische Zusammenhang der Einzelbeiträge sowie die Struktur der Dissertation sind in Abbildung 1.4 illustriert. Die Einleitung und die theoretische Einführung stellen die Eröffnung der Dissertation dar und enthalten themenübergreifende Aspekte. Der Hauptteil der Dissertation setzt sich aus drei themenspezifischen Kapiteln zusammen, die jeweils auf Publikationen beruhen, welche verschiedene Aspekte des Supply Chain Finance und der Multiagentensysteme beinhalten. Der erste Beitrag dient der Ermittlung des Forschungsstandes. Der zweite Beitrag dient der Dokumentation des Modellentwurfs, welcher im Beitrag vier umgesetzt und getestet wird.

Kapitel 2 gibt zunächst einen Überblick über die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit. Dabei steht insbesondere die Herausbildung einer technologischen Theorie im Vordergrund. Die Theorien der Neuen Institutionenökonomie als Vertreter, die die Zusammenhänge im SCM erklären, bilden die Basis dafür, wie in Kapitel 2.2 beschrieben. Im sich

¹Eine weiterführende Erläuterung der Finanzierungsformen und die Bestimmung der entsprechenden Kapitalkosten findet sich in Metze (2010).

anschließenden Kapitel 2.3 erfolgt die Übertragung, die Transformation der Theorien auf die konkreten Anwendungsfälle SCF und MAS. Und schließlich in Kapitel 2.4 wird die Modellbildung und die daraus resultierende technische Lösung beschrieben. Das Kapitel schließt mit einer Darstellung des verfolgten Evaluationsansatzes (vgl. Kapitel 2.5).

Kapitel 3 enthält den ersten veröffentlichten Beitrag dieser Dissertation. Er gibt einen Überblick über den Stand der Forschung in Bezug auf MAS im SCM auf Basis einer Literaturrecherche. Im einleitenden Kapitel 3.2 wird die Thematik zunächst motiviert, die Darstellung der Vorgehensweise und Ergebnisse erfolgt in den Kapiteln 3.3 und 3.4. Letzteres enthält Übersichten über die Verteilung der recherchierten Beiträge sowohl hinsichtlich MAS als auch SCM. Im Fazit des Beitrages werden die identifizierten Forschungslücken benannt.

Kapitel 4 ist eine Veröffentlichung zum Thema Nachhaltigkeit von SCF und enthält ein erstes agentenbasiertes Anwendungsszenario. Zunächst wird der Forschungsbereich des Sustainable Supply Chain Finance mit seinen Finanzierungsmechanismen vorgestellt sowie Gründe für Nachhaltigkeit bei der Finanzierung in Kapitel 4.2 aufgezeigt. Danach erfolgt in Kapitel 4.3 die Vorstellung des agentenbasierten Ansatzes und die Beschreibung des betrachteten Szenarios. Außerdem wird der in Phasen ablaufende Verhandlungsmechanismus erörtert.

Der in Kapitel 5 verfasste Beitrag, stellt den Kern der Arbeit dar. Nach der Einleitung in Kapitel 5.2 und einer Auseinandersetzung mit SCF im Allgemeinen in Kapitel 5.3 erfolgt eine detaillierte Analyse der Akteure, Instrumente und der Abläufe im SCF und speziell bei automatisierten Verhandlungen in Kapitel 5.4. Das entwickelte SCF-Verhandlungsmodell inklusive der verwendeten MAS-Architektur und der Ablauf der automatisierten Verhandlung im SCF-Szenario sowie das verwendete mathematische Modell werden in Kapitel 5.5 eingehend erläutert. Besondere Beachtung findet dabei das eigens entwickelte Verhandlungsprotokoll, welches experimentell überprüft wird. Die Ergebnisse dieser Experimente werden schließlich aufgezeigt und diskutiert.

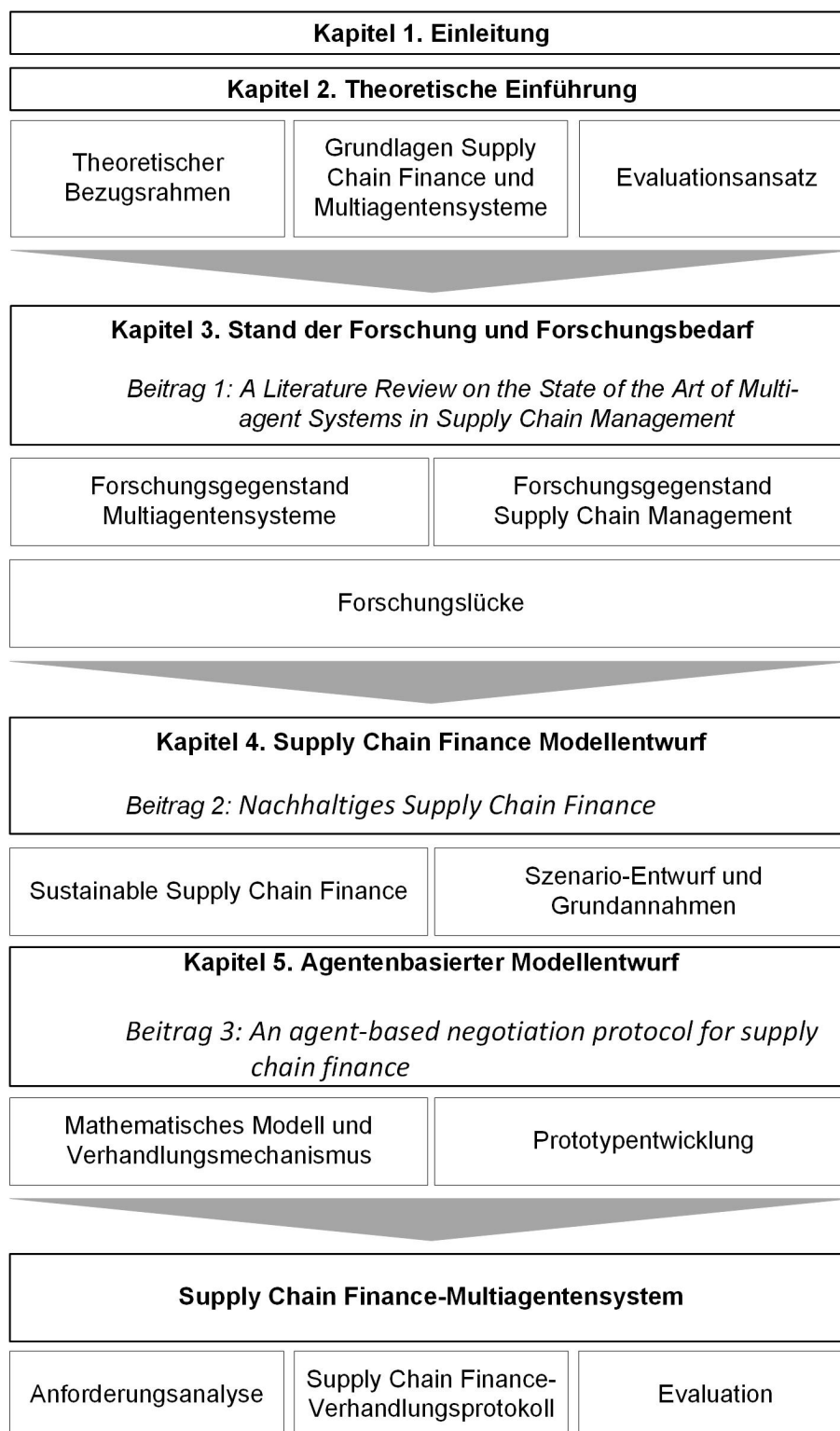


Abbildung 1.4: Thematischer Zusammenhang der Beiträge und Aufbau der Arbeit

2 Theoretische Einführung

Dieses Kapitel beschreibt den theoretischen Bezugsrahmen der Forschungsarbeit. Basierend auf technologischen Theorien wird insbesondere auf die Ansätze der Neuen Institutionenökonomie und deren Bezug zum Forschungskontext eingegangen sowie SCF und MAS als Untersuchungsgegenstände beleuchtet. Abschließend wird die Grundlage der Modellbildung dargelegt und der verwendete Evaluationsansatz begründet und demonstriert.

2.1 Theoriebildung

Die folgenden Ausführungen dienen dem Entwurf eines Bezugsrahmens, in welchen das in den Kapiteln 4 und 5 dargelegte MAS-Konzept für das SCF eingebettet wird.

Eine Übersicht zu der wissenschaftlichen Verortung der betriebswirtschaftlichen Logistikforschung und zu entsprechenden Theorien aus Organisation und Management findet sich in [Prockl \(2007\)](#).

[Conrad u. Staehle \(1988\)](#) unterscheiden zwei Arten von Theorien: wissenschaftliche und technologische. Während wissenschaftliche Theorien der Beschreibung, Erklärung sowie der Vorhersage von Sachverhalten dienen, folgen aus technologischen Theorien konkrete Handlungsanweisungen zur Umsetzung der wissenschaftlichen Theorien. Prinzipiell sind wissenschaftliche und theoretische Theorien als gleichrangig anzusehen ([Eisenführ u. Weber 1993](#); [Klages 1967](#)), jedoch stehen je nach Forschungsaufgabe verschiedene Wissenschaftsziele im Fokus:

- Wissenschaftliche Theorien haben zum Ziel, Ursache-Wirkung-Zusammenhänge anhand von Gesetzen und Prinzipien zu erforschen. Sie zeichnen sich durch eine exakte Fachsprache, widerspruchsfreie Aussagen und Informationen sowie eine möglichst minimale Anzahl an Annahmen aus ([Wacker, 1998](#)).
- Technologische Theorien widmen sich Gestaltungsproblemen und haben zum Ziel, Artefakte (Produkte, Konfigurationen von Systemen, Strategien u. ä.) im Anwendungszusammenhang ([Chmielewicz, 1979](#)) sowie technologiespezifisches Wissen ([Schwegler, 1995](#)) zu entwickeln. Sie zeichnen sich dadurch aus, wissenschaftliche Erkenntnisse in praktische Handlungsanweisungen umzusetzen und diese in einer verlässlichen, nützlichen, effizienten sowie routinisierten Art nutzbar zu machen ([Conrad u. Staehle, 1988](#)).

Die Bildung einer Theorie hängt daher von der konkreten Forschungsaufgabe ab. Als Forschungsaufgaben der vorliegenden Arbeit wurden der Entwurf, die Implementierung und die Evaluation eines MAS für das SCF formuliert, aus dem sich Implikationen für die SCM-Praxis ableiten lassen sollen. Es handelt sich demnach um ein Gestaltungsproblem, zu dessen Lösung ein MAS als Artefakt entwickelt wird. Grundlage weiterer Überlegungen sind demzufolge technologische Theorien. Doch die beiden Welten der technologischen und wissenschaftlichen Theorien existieren nicht völlig losgelöst voneinander. Vielmehr dienen laut [Chmielewicz \(1979\)](#) wissenschaftliche Theorien als Grundlage für technologische Theorien (Technologie). Durch die Transformation wissenschaftlicher Theorien in Technologie entstehen praktische technische Lösungen (Technik).

Die vorangestellten theoretischen Ausführungen werden im Folgenden konkret auf die vorliegende Problemstellung angewendet.

2.2 Theorie

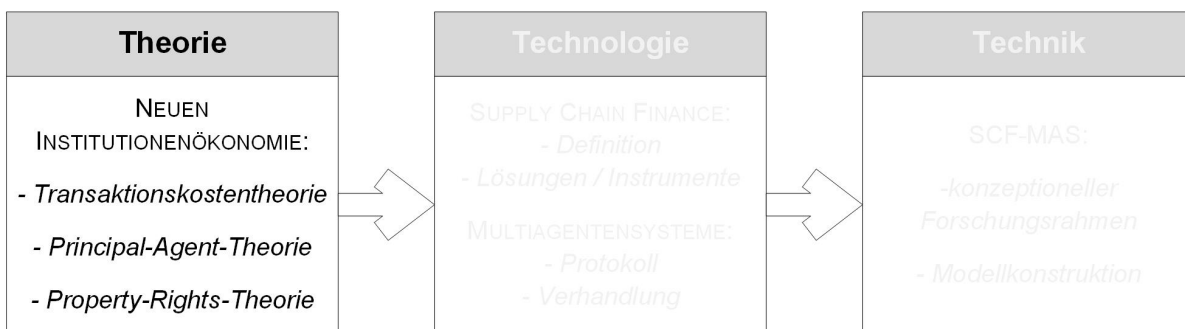


Abbildung 2.1: Übersicht der grundlegenden Theorien (eigene Darstellung in Anlehnung an [Specht 1992](#))

[Ankenbrand u. a. \(2019\)](#) stellen in ihrer Literaturanalyse zu Theorien des SCMs fest, dass 21 unterschiedliche Theorien Erwähnung finden. Die am häufigsten zitierten Theorien sind neben der Netzwerktheorie und dem Resource-based View, die Transaktionskostentheorie sowie die Principal-Agent-Theorie. Die beiden letztgenannten Theorien gehören ebenso wie die Property-Rights-Theorie zu der Gruppe der Neuen Institutionenökonomie (vgl. [Abbildung 2.1](#)). Die Ansätze der Neuen Institutionenökonomie sind in der SCM-Forschung demnach weit verbreitet. Sie werden nachfolgend kurz erläutert und im Anschluss auf ihre Anwendbarkeit auf das zugrunde liegende Problem hin überprüft.

2.2.1 Neuen Institutionenökonomie

Die Modellwelt der Neuen Institutionenökonomie beruht auf zwei wesentlichen Annahmen:

1. Begrenzte Rationalität:

Die Rationalität ist begrenzt, da ökonomische Akteure nur über unvollständiges Wissen und eine beschränkte Informationsverarbeitungskapazität verfügen. Weiter ist die Beschaffung von Informationen mit Transaktionskosten verbunden, was die Vollständigkeit von Informationen beschränkt. Die Akteure streben nichtsdestotrotz nach individueller Nutzenmaximierung (Richter u. a. 2003; Picot u. a. 2020).

2. Informationsasymmetrie:

Aufgrund der Transaktionskosten sind Beziehungen zwischen den Akteuren durch asymmetrische Informationsverteilung gekennzeichnet, wobei der Informationsvorsprung durch einen Akteur opportunistisch ausgenutzt werden könnte (Richter u. a. 2003; Picot u. a. 2020; Eisenhardt 1989).

Die Neue Institutionenökonomik, insbesondere der Transaktionskostentheorie, die Prinzipal-Agent-Theorie oder der Property-Rights-Ansatz, werden oft zur Analyse bestimmter SC-Fragestellungen herangezogen. Die unter dem Begriff Neue Institutionenökonomik zusammengefassten Ansätze ähneln sich in der Methodik. Gleichzeitig ergänzen sich die Ansätze teilweise und beziehen sich aufeinander (Richter u. a. 2003; Picot u. a. 2005), wie die folgenden Ausführungen verdeutlichen und Tabelle 2.1 zusammenfasst.

Tabelle 2.1: Zusammenfassung der Theorien im Vergleich (in Anlehnung an Picot 1991)

	Transaktionskostentheorie	Principal Agent-Theorie	Property Rights-Ansatz
Analysegegenstand	Transaktion	Principal-Agent-Beziehung	Property Rights-Verteilung
Einflussgrößen	Unsicherheit, Spezifität, Häufigkeit	Informationsverteilung	Durchsetzungsmöglichkeit
Effizienzkriterium	Transaktionskosten	Agency-Kosten	Transaktionskosten und Wohlfahrtsverluste wegen externer Effekte
Gestaltungsgröße	Koordinationsmechanismen	Überwachungs-/Anreizsystem	Verfügungsrechtestruktur

2.2.2 Transaktionskostentheorie

In seinem Artikel aus dem Jahr 1937 identifizierte Ronald Coase (1937) erstmals die Determinanten des Umfangs eines Unternehmens als wichtige Forschungsfrage. Darin wird der Frage nachgegangen, warum mehrere Unternehmen existieren und sich die Leistungserstellung verteilt. Oliver Williamson (1975, 1979, 1985) und Benjamin Klein u. a. (1978) entwickelten diesen Ansatz zur sogenannten Transaktionskostentheorie weiter. Diese geht

von der Annahme aus, dass Markttransaktionen von unvollkommenen Verträgen und der Entwicklung von Lock-in-Effekten zwischen Handelspartnern geprägt sind. Lock-in-Effekte führen dazu, dass der Wert der Beziehung den Wert der externen Alternativen der Handelspartner übersteigt, was [Klein u. a.](#) als „Quasi-Zins“ bezeichneten. Vertragliche Unvollkommenheit gibt den Vertragspartnern die Möglichkeit, opportunistisches Verhalten an den Tag zu legen, um ihren Anteil an diesen Quasi-Zinsen zu erhöhen, was zu Effizienzverlusten bei Markttransaktionen führt.

Unter einer Transaktion wird demnach eine Übertragung von Verfügungsrechten (Property Rights) verstanden, bei der Transaktionskosten anfallen ([Picot, 1991](#)). [Picot u. a. \(2020\)](#) unterscheiden Transaktionskosten in Anbahnungskosten (z. B. bei der Informationssuche und -beschaffung oder durch Reisen, Beratungs- und Kommunikationsaufwand), Vereinbarungskosten (z. B. durch Rechtsberatung oder intensive lange Verhandlungen), Abwicklungskosten (z. B. durch das Managen des Austauschprozesses), Kontrollkosten (z. B. bei der Sicherstellung der Einhaltung der Vertragsbedingungen) und Anpassungskosten (z. B. bei Änderungen bezüglich Preis, Menge, Termin u. ä.).

Transaktionskosten sind unvermeidbare Kosten, die beim Leistungsaustausch in marktlich oder hierarchisch koordinierten Systemen entstehen. In eine Austauschbeziehung zu treten, ist für Wirtschaftseinheiten sinnvoll, solange die dafür entstehenden Transaktionskosten den Nutzen nicht übersteigen.

2.2.3 Principal-Agent-Theorie

Die Agency-Theorie in ihrer modernen Form stammt größtenteils aus den Arbeiten von [Mitnick \(1973\)](#) und [Ross \(1973\)](#) und umfasst die Bereiche der Politikwissenschaft und der Ökonomie, was ihre Anwendung über einfache Vertragsbeziehungen hinaus ausweitet. Im Anschluss an diese Arbeiten wurde die Agency-Theorie angepasst und in einer Vielzahl anderer Disziplinen verwendet, wie z. B. in der Soziologie ([Shapiro, 1987](#)), im Management ([Eisenhardt, 1989](#)) und in Arbeiten zur Theorie der Unternehmung ([Jensen u. Meckling, 1976](#)).

In Principal-Agent-Beziehungen delegiert eine Partei (der Prinzipal) Arbeit an eine andere Partei (den Agenten) ([Wacker 1998](#); [Schwegler 1995](#); [Ankenbrand u. a. 2019](#)). Wenn der Agent für den Prinzipal handelt, ähnelt dies Verhaltensweisen wie das Erbringen von Leistungen zum Nutzen des Prinzipals oder das Handeln als Vertreter oder Mitarbeiter des Prinzipals ([Chmielewicz, 1979](#)). Wie [Eisenhardt \(1989, S.58\)](#) hervorhebt, besteht zwar der Ansatz der Gewinnmaximierung und des Eigeninteresses fort,

“[...] the focus of agency theory [centres] on determining the most efficient contract governing the principal-agent relationship [...]”.

In derartigen Beziehungen wird der Prinzipal typischerweise versuchen, die Agency-Kosten zu minimieren, z. B. indem er das Verhalten des Agenten festlegt, belohnt und überwacht, während der Agent auf die Maximierung der Belohnungen und die Reduzierung der Kontrolle durch den Prinzipal hinarbeitet ([Fleisher, 1991](#)).

Die Principal-Agent-Theorie geht von der Annahme unvollständiger Information und Ungleichverteilung der Information (Informationsasymmetrie) aus. Dabei werden bezüglich

der Ursache für die Informationsasymmetrie drei Informationsprobleme ([Spremann, 1990](#)) unterschieden: Hidden Characteristics, Hidden Action und Hidden Intention.

Von Hidden Characteristics ist die Rede, wenn der Principal vor Abschluss eines Vertrages Informationsdefizite bezüglich des Agenten und seiner Leistung hat. In der Folge kann es zu einer ungünstigen Wahl des Vertragspartners kommen, auch Adverse Selection genannt.

Probleme, die nach Vertragsabschluss anfallen können, fallen in die Kategorie Hidden Action. Dabei ist es dem Principal nicht möglich, die Handlungen des Agenten ex post zu verfolgen oder zu bewerten. Der Principal ist informatorisch im Nachteil, was für den Agent Spielraum freisetzt dies opportunistisch auszunutzen, auch Moral Hazard genannt. Hidden Intention beschreibt eine Situation, bei der für den Principal die Absichten des Agenten verborgen sind. Der Principal gerät aufgrund bereits erbrachter Leistungen in ein Abhängigkeitsverhältnis, was seitens des Agenten opportunistisch ausgenutzt werden kann, auch Hold-up-Situationen genannt.²

2.2.4 Property Rights

Die Property-Rights-Theorie ([Coase 1960](#); [Alchian u. Demsetz 2009](#)) fokussiert auf das Handlungs- und das Verfügungsrecht (Property Rights) sowie deren Auswirkungen auf das Verhalten der wirtschaftlichen Akteure ([Picot u. a., 2008](#)). Kernbegriff der Theorie ist „das Gut“, welcher physische Güter ebenso wie handelbare Leistungen einschließt. Der Wert eines Gutes wird demnach nicht aus seinen physischen Eigenschaften abgeleitet, vielmehr bemisst sich der Wert an den verfügbaren Rechten bezüglich des Gutes und dessen Nutzung. Es werden die folgenden vier Einzelrechte ([Alchian u. Demsetz 2009](#); [Picot u. a. 2008](#)) unterschieden:

1. das Recht, ein Gut zu nutzen (usus)
2. das Recht, Form und Substanz des Gutes zu verändern (abusus)
3. das Recht, sich entstehende Gewinne anzueignen und die Pflicht, resultierende Verluste zu tragen (usus fructus)
4. das Recht, das Gut an Dritte zu veräußern (Kapitalisierungs- bzw. Liquidationsrecht).

Auf Grundlage vollständiger Verträge erfolgen die Zuordnung der Verfügungsrechte und somit eine effiziente Allokation der Güter. Mittels Rechtszwang erfolgt die Durchsetzung der Verträge, so die Annahme ([Richter, 1991](#)). Bei diesen Aktionen fallen jedoch Transaktionskosten in Form von Informations- und Kommunikationskosten sowie Opportunitätskosten für aufgewendete (Verhandlungs-) Zeit an ([Picot, 1991](#)). In der Regel lassen sich nicht sämtliche anfallenden Kosten in Form von positiven oder negativen Folgen, die bei der Nutzung eines Gutes anfallen, einzelnen Akteuren zuordnen. Es treten externe Effekte

²Für ausführliche Darstellungen der Problematik siehe: [Picot u. a. \(2015\)](#) oder [Paulitschek \(2009\)](#).

auf, die mit Wohlfahrtsgewinnen oder -verlusten einhergehen. Ziel einer effizienten Verteilung von Handlungs- und Verfügungsrecht ist daher die Minimierung der Summe aus Transaktionskosten und Wohlfahrtsverlusten wegen externer Effekte (Picot u. a., 2020).

2.3 Technologie: Übertragung auf SCF und MAS

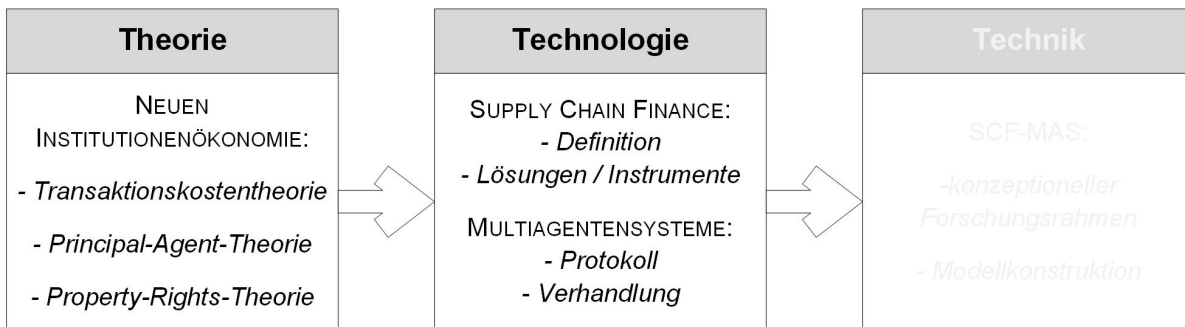


Abbildung 2.2: Zusammenhang relevanter Theorien und Technologien im SCF- und MAS-Kontext (eigene Darstellung in Anlehnung an Specht 1992)

Technologie ist eine Voraussetzung für Automatisierung und Transparenz im SCF (Hoffmann u. Belin, 2011). Elektronische Rechnungen und Zahlungen sind heute etabliert und stellen automatisierte Informationsflüsse dar. Ein weiterer wichtiger Treiber des SCF sind SCF-Dienstleister. Sie stellen Plattformen bereit, die alle Akteure miteinander in Beziehung bringen, Kommunikation und Kollaboration ermöglichen (Sadlovska, 2007). SCF stellt demnach hohe Anforderungen an die Automatisierung. Die Softwareagententechnologie stellt einen aussichtsreichen Ansatz dar, Entscheidungsprozesse des SCF zu automatisieren, wie nachfolgende Kapitel verdeutlichen (vgl. Abbildung 2.2).

2.3.1 Untersuchungsgegenstand SCF

Unternehmen benötigen Kapital, um Investitionen tätigen zu können. Die Beschaffung der benötigten Mittel kann bezüglich der Herkunft in Außen- und Innenfinanzierung unterschieden werden. Bei der Außenfinanzierung stammen die finanziellen Mittel von externen Kapitalgebern, z. B. mittels Einlagen, Anleihen oder Kredite. Kommt es zu einer Finanzierung ohne Beteiligung externer Kapitalgeber, ist von Innenfinanzierung die Rede (z. B. mittels einbehaltener Gewinne, Finanzierung aus Abschreibungen oder durch Vermögensumschichtung). Hinsichtlich der rechtlichen Stellung des Kapitalgebers wird ferner zwischen Eigen-, Fremd- und Hybridfinanzierung unterschieden.³

³Auf eine ausführliche Darstellung der Investition wird an dieser Stelle verzichtet, da zahlreiche Literatur zu den Grundlagen der Investition existiert (z. B. Stopka u. Urban, 2018). An dieser Stelle dient die Begriffsklärung lediglich der Herleitung der Kapitalkosten und der daraus resultierenden Aufgaben des SCF.

Unabhängig von der Art der Finanzierung fallen für das benötigte Kapital Kosten an. Die Höhe der Kapitalkosten richtet sich nach der zu erwartenden Rendite und dem kalkulierten Risiko durch die Eigenkapitalgeber, der Kapitalstruktur und den Ansprüchen der Fremdkapitalgeber.

Auf Supply Chains bezogen: „stellt sich die Frage, ob Unternehmen, mit einem geringeren Kapitalkostensatz, die Finanzierung von Investitionen in der Supply Chain für Unternehmen mit höheren Kapitalkosten übernehmen können („SCF“).“ (Gomm 2008, S.131).

Im Vergleich zur Finanzierung großer Unternehmen leiden klein und mittelständische Unternehmen (KMU) bei der Finanzierung stärker unter Informationsasymmetrie, da die meisten KMU wenig transparent sind und auch weniger Sicherheiten bieten können. Bei der Kreditvergabe an KMU gibt es bei finanzbezogenen und nicht-finanbezogenen Informationen eine Lücke zwischen Kreditnehmern und Kreditgebern, was zu Adverse Selection und Moral Hazard führt (vgl. Kapitel 2.2.3). Das Interesse an SCF gerade bei KMU wächst zunehmend (Hofmann u. Kotzab 2010; Lekkakos u. Serrano 2016), da diese häufig von mächtigeren, kapitalstärkeren Mitgliedern der Lieferkette unter Druck gesetzt werden. Zudem ist der Zugang zu Krediten, die Banken gewähren aufgrund fehlender Sicherheiten und Informationsasymmetrie erschwert (Fiordelisi u. a. 2014; Gobbi u. Sette 2014).

Das Interesse an SCF in Bezug auf KMU ist erst in jüngster Zeit in den Fokus gerückt, wie eine Literaturrecherche mit den themenleitenden Begriffen „supply chain finance“ und „small and medium sized enterprises“ in den Datenbanken EBSCO Information Services (EIS) und ScienceDirect ergab. Aus Abbildung 2.3 ist ersichtlich, dass das Interesse an diesem Thema ab 2018 rapide ansteigt. Dementsprechend konzentrieren sich über 80% der 40 bei der Literatursuche als relevant eingestuften Artikel auf die letzten drei Jahre.

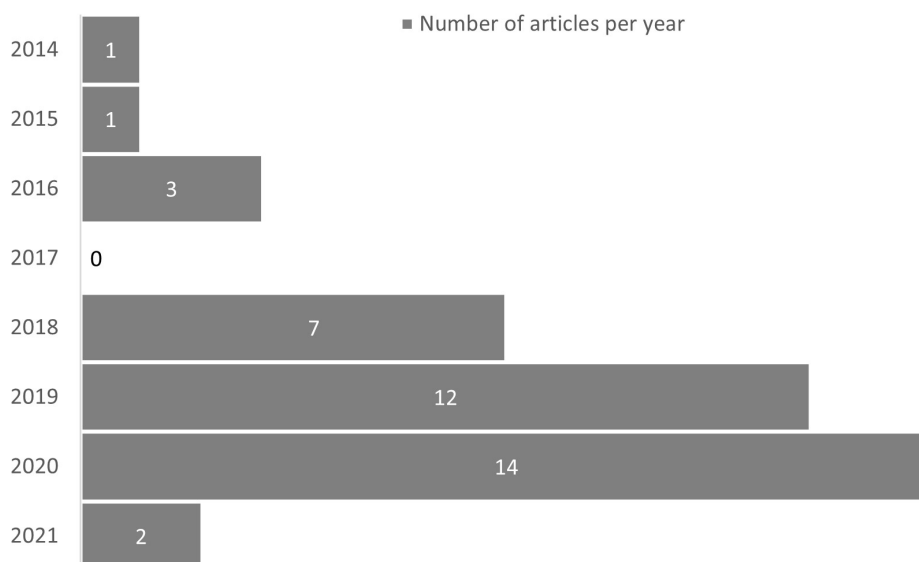


Abbildung 2.3: Verteilung der relevanten Artikel über die Jahre (eigene Darstellung)

Eine weitere interessante Beobachtung ist die Konzentration der Publikationen in China

(vgl. Abbildung 2.4). Zwar gibt es rund um den Globus verteilt Arbeiten zum Thema, doch handelt es sich jeweils nur um einzelne Studien. Auch in Bezug auf die internationale Zusammenarbeit weist China die größte Anzahl von Papieren auf. Liu u. a. (2015) verglichen SCF in China mit SCF in entwickelten Volkswirtschaften. Sie stellen fest, dass unter SCF in China nicht genau dasselbe verstanden wird, wie es in entwickelten Volkswirtschaften wahrgenommen und in führender englischsprachiger SCM-Literatur artikuliert wird. Der Unternehmenskontext, in dem SCF in China implementiert wurde, hat eine dominante Rolle bei der Initiierung, Beeinflussung und Ausgestaltung von SCF gespielt (Liu u. a., 2015).

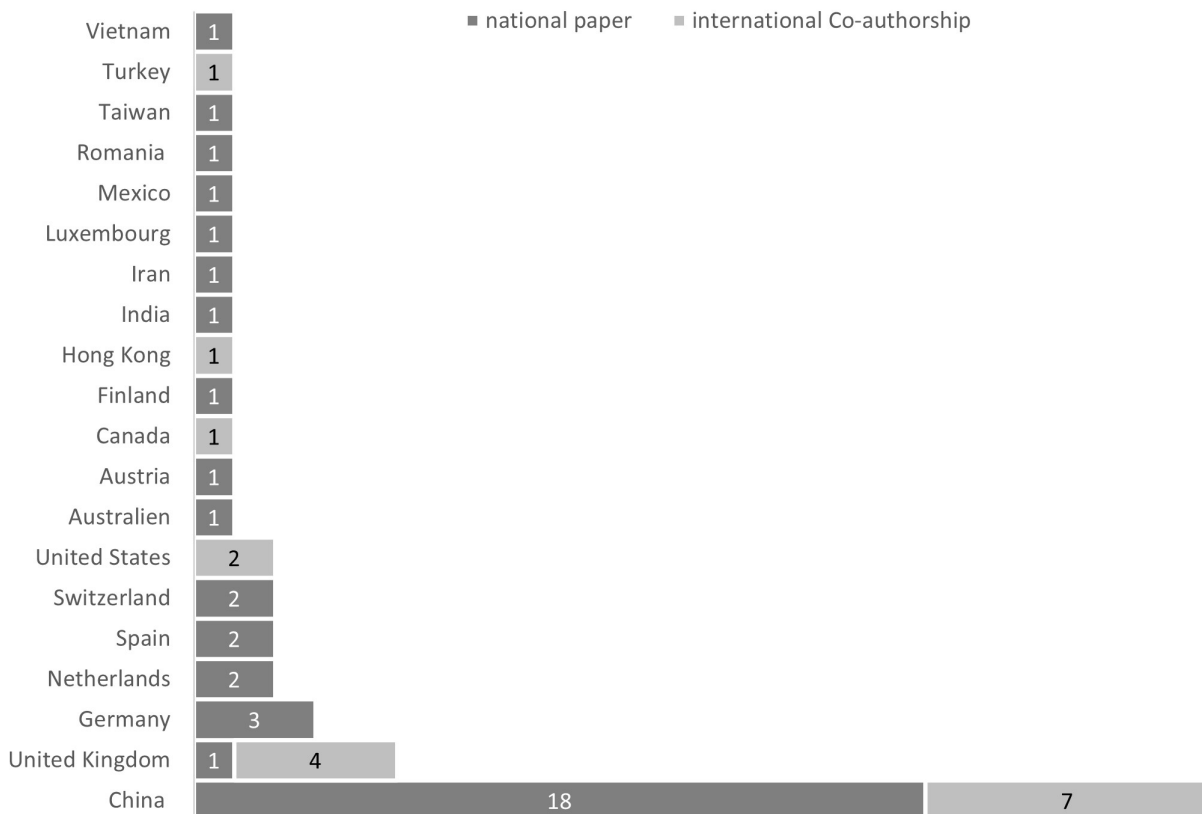


Abbildung 2.4: Verteilung der relevanten Artikel nach Länder (eigene Darstellung)

2.3.2 Definition SCF

Was unter SCF zu verstehen ist, dazu gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Aussagen. Ebenso ist der Unterschied zwischen den Begriffen „Financial Supply Chain Management“ (FSCM) und „Supply Chain Finance“ nicht eindeutig (Liebl u. a. 2016; Gelsomino u. a. 2016). Solche Unterschiede können aber als geringfügig betrachtet werden, da SCF als Teilbereich von FSCM gilt (Metze, 2010). Die Begriffe werden daher im weiteren Synonym

verwendet. Die unterschiedlichen Definitionen von SCF sind in Tabelle 2.2 dargestellt. Allgemein lässt sich aussagen, dass SCF darauf abzielt, Material-, Informations- und Finanzflüsse in Einklang zu bringen. Der Begriff bezeichnet die Planung, Steuerung und Kontrolle von Finanzströmen entlang einer Lieferkette.

2.3.3 Instrumente und Lösungen

Zur Umsetzung der definierten Aufgaben des SCF stehen zahlreiche Instrumente zur Verfügung. Diese lassen sich nach unterschiedlichen Aspekten klassifizieren: orientiert am Planungshorizont (de Boer u. a., 2015), zeitorientiert (More u. Basu, 2013), risikoorientiert (Chakuu u. a. 2019; Hofmann u. Wetzel 2020), sicherheitsorientiert (Navas-Alemán u. a., 2012) und bilanzorientiert (Zhao u. Huchzermeier, 2018). In der nachfolgenden Übersicht werden diese Klasseneinteilungen näher dargelegt:

- Planungshorizont
 - operative Lösungen zur Finanzierung von Net Working Capital (NWC)
 - taktische Lösungen zur Finanzierung von Sachanlagen
 - strategische Lösungen verbunden mit Eigenkapital
- zeitorientiert
 - pre-shipment Finanzierung für Rohstoffe und Waren
 - in-transit Finanzierung für Vorräte
 - post-shipment Finanzierung für Forderungen
- risikoorientiert
 - Debitorenfinanzierung für Lieferanten
 - Finanzierung für Vorräte
 - Kreditorenfinanzierung für Käufer
- sicherheitsorientiert
 - „arm’s length finance“: Finanzinstrumente zu marktüblichen Konditionen auf der Grundlage überprüfbarer Informationen oder materieller Sicherheiten
 - „relationship finance“: Finanzinstrumente auf Grundlage der Transaktionshistorie (vertrauensbasiert), selten mit konkreten Sicherheiten
- bilanzorientiert
 - Eigenkapitalbezogene Finanzierung: Verkauf von Anteilen oder Übertragung von Eigentum am Unternehmen

⁴GVC: global value chain

Tabelle 2.2: Definitionen von SCF

Autor	Definition
Hofmann (2005), S.3	“[...] Supply Chain Finance is an approach for two or more organizations in a supply chain, including external service providers, to jointly create value through means of planning, steering, and controlling the flow of financial resources on an interorganizational level.”
Camerinelli (2009), S.116	„SCF is the set of products and services that a financial institution offers to facilitate the management of the physical and information flows of a supply chain.”
Pfohl u. Gomm (2009), S.151	„Supply chain finance (SCF) is the inter-company optimisation of financing as well as the integration of financing processes with customers, suppliers, and service providers in order to increase the value of all participating companies.”
Gomm (2010), S.135	“The main fields of SCF are order cycle management, working capital management, and fixed asset financing.”
Chen u. Hu (2011), S.112	„SCF, as an innovative financing solution, bridges the bank and capital-constrained firms in the supply chain, reduces the mismatch risk of supply and demand in the financial flow, and creates value for supply chain with capital constraints.”
Lamoureux u. Evans (2011), S.295	„Supply chain finance (SCF) solutions represent a combination of technology solutions and financial services that closely connect GVC ⁴ anchors, suppliers, financial institutions and, frequently, technology service providers. They are designed to improve the effectiveness of financial supply chains by preventing detrimental cost shifting and by improving the visibility, availability, delivery and cost of cash for all GVC participants.“
Grosse-Ruyken u. a. (2011), S.15	“Supply chain finance is an integrated approach that provides visibility and control over all cash-related processes within a supply chain.”
Wuttke u. a. (2013a), S.773	“[...] financial supply chain management, which we define as optimized planning, managing, and controlling of supply chain cash flows to facilitate efficient supply chain material flows.”
Wuttke u. a. (2013b), S.150	“Our definition takes an upstream supply chain perspective and focuses on the organizational structure to be implemented between the involved parties to achieve visibility and control and to recurrently take cash flow optimizing actions [...].”
More u. Basu (2013), S.625	„[...] supply chain finance (SCF) (Robinson, 2007; Aberdeen, 2006a; Demica, 2007) which can be defined as “managing, planning and controlling all the transaction activities and processes related to the flow of cash among SC stakeholders in order to improve their working capital”.”

- Anlagenfinanzierung: langfristige Darlehen
- Working Capital Finanzierung für den täglichen Betrieb eines Unternehmens.

Im Folgenden wird insbesondere auf die sicherheitsorientierte Sichtweise des SCFs eingegangen, da diese Basis des in dieser Arbeit entwickelten Modells ist. Ausführliche Erläuterungen aller klassifizierten SCF-Instrumente finden sich beispielsweise bei [Global SCF Forum \(2016\)](#), [Hausladen u. Dachsel \(2018\)](#), [Zhao u. Huchzermeier \(2018\)](#), [Marak u. Pillai \(2019\)](#) oder [Taschner u. Charifzadeh \(2020\)](#). Die Klassifizierung der SCF auf Basis der Verfügbarkeit von Sicherheiten geht auf [Navas-Alemán u. a. \(2012\)](#) zurück. Begründet wird die Unterteilung auf der Verfügbarkeit von Daten. Von „arm’s length finance“ ist die Rede, wenn harte Daten eine Finanzierung zu marktüblichen Bedingungen ermöglichen. Dazu wird es Banken erlaubt, die Kreditwürdigkeit aus der Ferne zu prüfen, ohne dabei in den Aufbau enger Austauschbeziehungen investieren zu müssen. Finanzierungsentscheidungen auf der Grundlage weicher Daten können dagegen nur dann getroffen werden, wenn eine enge Beziehung zwischen den Akteuren besteht, daher „relationship finance“ genannt. Die Mechanismen dieser Finanzierungslösungen lassen sich mit den Theorien der Neuen Institutionenökonomie erklären, wie die nachfolgenden Ausführungen verdeutlichen.

- **Arm’s Length Finance:**
Die hierunter subsumierten Finanzierungsmechanismen basieren in der Regel auf harten Informationen wie Bilanzen oder der Verfügbarkeit von Sicherheiten (z. B. Hypotheken, Rechnungen, Bestellungen). Grundlage solcher Vereinbarungen sind die Verfügbarkeit harter Informationen und Mechanismen zur Durchsetzung von Verträgen. Ersteres dient Finanzinstituten zur Kalkulation des Risikos der Kreditvergabe an einen Kapitalnachfrager. Letzteres dient dem Institut dazu, seine Verluste auszugleichen, indem es einen Anspruch auf den als Sicherheit dargestellten Vermögenswert geltend macht, wenn der Kreditnehmer die Bedingungen für die Rückzahlung nicht erfüllen kann.
- **Relationship Finance:**
Unter diesem Begriff sind Finanzdienstleistungen basierend auf weichen Informationen subsumiert. Diese erfordern ein gewisses Maß an Vertrauen zwischen Kreditgeber und Kreditnehmer. Während „arm’s length finance“ auf dem Austausch von Dokumenten basiert, die von jedem Akteur extern überprüft werden können (z. B. Forderungen zwischen Akteuren in einer Wertschöpfungskette), erfolgt „relationship finance“ durch einfachere Finanzierungsformen. Zum Beispiel durch Darlehen, Handelskredite und der Bereitstellung von Garantien auf der Basis von Fachwissen und Vertrauen, das sich zwischen Unternehmen entwickelt hat, die schon lange zusammenarbeiten. Typischerweise handelt es sich dabei um Mitglieder der Lieferkette. Weiche Informationen über die Kreditwürdigkeit eines Kapitalnachfragers und die Ausfallwahrscheinlichkeit, die nicht extern überprüft werden können, sind in langfristigen, engen Geschäftsbeziehungen leichter verfügbar ([Jain, 2001](#)).

[Hofmann u. Belin \(2011\)](#) folgend sind SCF-Lösungen im Allgemeinen anhand folgender Schlüsselemente charakterisierbar:

- Dematerialisierung und Automatisierung:
Papierlose, automatisierte Prozesse sind wichtige Voraussetzungen für die Forcierung des Finanz- und Informationsflusses.
- Transparenz:
Die Automatisierung ermöglicht Datenaustausch zwischen internen und externen Quellen. Ereignisse in der Lieferkette sind für beteiligte Akteure so besser sichtbar, was das Risiko mindert, da bessere Prognosen und Transparenz aufgrund verfügbarer Informationen Sicherheit schaffen.
- Vorhersagbarkeit:
Automatisierung ermöglicht Zugriff auf verschiedene Datenquellen und erleichtert so die Vorhersagbarkeit.
- Kontrolle:
Transparenz und Vorhersagbarkeit ermöglichen das Erkennen von Ausnahmen. Kontrollmechanismen, die internen und externen Standards entsprechen, dienen der Bestätigung der Maßnahmen und Einhaltung der Vereinbarungen.
- Kollaboration:
Kollaboration ermöglicht die Etablierung von Win-Win-Situationen, die auf Vertrauen aufgebaut sind. Dabei findet die gesamte Lieferkette Berücksichtigung, was in stabilen Handelsbeziehungen sowie enger Zusammenarbeit gipfelt. Ziel ist die horizontale und vertikale Integration innerhalb der Lieferkette.

Voraussetzung für die Bereitschaft, Kapital zur Verfügung zu stellen, sind Informationen bezüglich des Kapitalnachfragers und des Investitionsvorhabens, damit Unsicherheit und Risiko der Investition geschätzt werden können.

Die Transaktionskostentheorie kann an dieser Stelle herangezogen werden, um zu erklären, weshalb eine interne SC-Finanzierung vorteilhafter als eine externe Finanzierung z. B. über den Kapitalmarkt sein kann. Für die Informationsbeschaffung fallen Transaktionskosten an, die unterscheiden sich in ihrer Höhe jedoch abhängig vom bereits vorhandenen Informationsstand. Ein Unternehmen innerhalb der SC verfügt möglicherweise z. B. aufgrund von Datenaustausch mit anderen Unternehmen der SC bereits über einen gewissen Informationsstand bezüglich des Investitionsvorhabens des Kapitalnachfragenden ohne zusätzlichen Aufwand betreiben zu müssen. Wohingegen ein außenstehender Kapitalgeber über einen derartigen Zugang nicht verfügt. Aus Sicht der Kapitalgeber sind also die Transaktionskosten für die Beschaffung von Informationen innerhalb der SC geringer. Aus Sicht des Kapitalnachfragenden sind im Falle eines externen Kapitalgebers Transaktionskosten für den Aufbau von Austauschbeziehungen zu berücksichtigen. Wohingegen bereits Strukturen in der SC für eine solche Beziehung bestehen.

Zwischen dem kapitalnachfragenden (Agent) und dem kapitalgebenden Unternehmen (Principal) besteht Informationsasymmetrie, da davon auszugehen ist, dass der Kapitalnachfrager über mehr Information bezüglich des Investitionsvorhabens verfügt als der Geber. Kommt eine Finanzierung zustande, bemisst sich die Höhe der Kapitalkosten nicht zuletzt nach dem daraus entstehenden Risiko der Geber. Die Geber werden Überwachungs-

und Kontrollmechanismen (Agency-Kosten) installieren, um die Investition zu schützen und zu beobachten. Bei einer internen SC-Finanzierung ist zwar bezüglich der SC-Ziele von Gemeinsamkeiten zwischen Principal und Agent auszugehen (z. B. Senkung der Kapitalkosten der SC), das Verfolgen von Eigeninteressen (z. B. Gewinnmaximierung aus der Investition) kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Je höher der Integrationsgrad von Kapitalgeber und -nehmer innerhalb der SC, desto eher kann ein Vertrauensverhältnis vorliegen und desto besser der Informationsaustausch, was das Auftreten der Informationsprobleme minimiert.

2.3.4 Untersuchungsgegenstand MAS

Mögliche Anwendungen von agentenbasierter Software lassen sich in drei große Kategorien einteilen (Luck u. a., 2003):

- Assistenzagenten, wie z. B. Agenten, die im Auftrag ihrer menschlichen Prinzipale im Internet Informationen sammeln oder Transaktionen durchführen. Ein Beispiel für diese Art von Anwendung ist die Trading Agent Competition (TAC), bei der Agenten versuchen, Hotels zu buchen und Reisearrangements für ihre Auftraggeber zu treffen (Greenwald u. Stone, 2001). Ein aktuelles Beispiel stellt die Arbeit von Croatti u. Ricci (2020) dar. Die Autoren beschreiben den Entwurf und die Programmierung von mobilen Apps als persönliche Assistenzagenten. Dabei wird ein Prototyp namens „TraumaTrackers“ vorgestellt, welcher in einem Krankenhaus für eine vollständigere und genauere Dokumentation zu Traumata genutzt wurde. Grundlage der Entwicklung ist der JaCa-Android-Ansatz, ein quelloffenes agentenorientiertes Framework zur Entwicklung agentenbasierter mobiler Anwendungen.
- Multiagenten-Entscheidungssysteme, bei denen die am System beteiligten Agenten gemeinsam einige Entscheidungen treffen müssen. Zum Beispiel kann ein System von Agenten, die die verschiedenen Komponenten eines Telekommunikationsnetzes repräsentieren, gemeinsam versuchen, knappe Ressourcen über das Netz zu verteilen, wie z. B. Anrufverbindungen und dadurch den Betrieb des Netzes zu verwalten. Der gemeinsame Entscheidungsmechanismus, der von den beteiligten Agenten verwendet wird, kann ein ökonomischer Mechanismus sein, wie z. B. eine Auktion oder ein alternativer Mechanismus, wie z. B. einer, der auf Argumentation basiert. Ein Beispiel aus der Finanzwirtschaft ist das von Luo u. a. (2002) entwickelte MAS für den Aktienhandel (Multi-Agent System for Stock Trading - MASST). Das System ermöglicht das Abrufen von Aktieninformationen, die Überwachung des Aktienstatus außerdem bietet es einen Risikomanagementprozess sowie einen Entscheidungsunterstützungsprozess für den Kauf und Verkauf von Aktien.
- Multiagenten-Simulationssysteme, bei denen das MAS als Modell verwendet wird, um eine Domäne der realen Welt zu simulieren. Typischerweise werden Multiagenten-Modelle für Domänen mit vielen verschiedenen Komponenten verwendet, die in

vielfältiger und komplexer Weise interagieren, und bei denen die Eigenschaften auf Systemebene nicht ohne Weiteres aus den Eigenschaften der Komponenten abgeleitet werden können. Beispiele für solche Domänen sind: menschliche Ökonomien, menschliche und tierische Gesellschaften, biologische Populationen, Straßenverkehrssysteme, Energie- und Computernetzwerke.

Zum Beispiel beschreiben [Kato u. Kamoshida \(2020\)](#) ein Lagerhaus als ein MAS, das aus verschiedenen autonomen Subsystemen mit Robotern, Materialhandlungsgeräten und menschlichen Arbeitern besteht. Die Autoren schlagen eine Agenten- und Nachrichtenarchitektur für eine Multiagenten-Simulationsumgebung für logistische Lagerhäuser vor, um die Kosten für die Entwicklung und Modifikation von Simulationsmodellen zu reduzieren.

Agentenbasierte Modelle kamen in jüngster Zeit auch zur Simulation und Bewertung der Übertragung der Coronavirus-Krankheit (COVID-19) zum Einsatz ([Wolfram 2020](#); [Prudhomme u. a. 2020](#)). Insbesondere werden in diesem Zusammenhang verschiedene Szenarien durchgeführt, die z. B. ein mehr oder weniger virulentes Virus, mehr oder weniger strenge Beschränkungsregeln und die Anzahl der verfügbaren Intensivpflegestationen berücksichtigen.

Die Unterscheidung zwischen der ersten Art von Anwendung und den beiden anderen ist die zwischen einem einzelnen Agenten und einem Multiagentensystem, obwohl Agenten im ersten Fall möglicherweise mit vielen anderen Agenten interagieren müssen. Entscheidungen im zweiten und dritten Fall werden in gewissem Sinne kollektiv getroffen, nicht individuell wie im ersten Fall. Der Hauptunterschied zwischen dem zweiten und dem dritten Anwendungstyp ist, dass der zweite Fall das System, bestehend aus Agenten, zum Ziel hat, während der dritte Fall das Verständnis, das aus dem System kommt, zum Ziel hat. Darüber hinaus stellen die Agenten in vielen Simulationen eine angemessene Repräsentation von Komponenten der realen Welt dar, während bei der zweiten Art der Anwendung die Agenten für das verwendet werden, was sie tun. Daraus ergibt sich eine Unterscheidung zwischen MAS, die selbst Entscheidungen treffen, und solchen, die menschliche Entscheidungsträger nur beraten.

Wie soeben erläutert sind einzelne Agenten von MAS zu unterscheiden. Ein System, welches aus mindestens zwei Agenten besteht, wird als Multiagentensystem bezeichnet. Im Glossar der Foundation for Intelligent Physical Agents ([Foundation for Intelligent Physical Agents, 2003](#))⁵ ist eine präzisere Definition zu finden:

“A Multi-Agent System is a system composed of a great number of autonomous entities, named agents, having a collective behaviour that allows to obtain the desired function/service.”

Wird nun der Frage nachgegangen, was in diesem Zusammenhang unter einem Agenten zu verstehen ist, kann festgehalten werden, es handelt sich um ein computergestütztes System, welches mit einer Umgebung interagiert. Ein Softwareagent ist charakterisiert durch die Eigenschaften: Autonomie (Agenten handeln ohne direkte Kontrolle von Menschen), Sozialverhalten (Interaktionen zwischen den Agenten durch eine Kommunikationsspra-

⁵Die Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) ist die wichtigste Organisation hinsichtlich der Standardisierung von Multiagentensystemen.

che), Reaktivität (Agenten antworten auf präzise Weise auf Signale aus der Umwelt) und Pro-Aktivität (Agenten verhalten sich zielgerichtet und ergreifen Initiative zur Zielerreichung) (Wooldridge u. Jennings, 1995).

Voraussetzung für die Umsetzung der genannten Agenteneigenschaften in MAS ist die Möglichkeit zur Kommunikation und Interaktion. Die Kommunikation wird durch eine gemeinsame Sprache (ACL: Agent Communication Language) ermöglicht. Die Kommunikationssprache⁶ ermöglicht es Agenten, Informationen und Wissen auszutauschen, um einzeln oder auch gemeinsam Ziele zu verfolgen. Trotz einer gemeinsamen Sprache bedarf der Nachrichtenaustausch zwischen Agenten einer festgelegten Ablaufstruktur. Diese benötigten Prozeduren sind in sogenannten Verhandlungs- oder auch Interaktionsprotokollen festgelegt.

2.3.5 Protokolle

Bei Kooperation dient ein Protokoll dazu, kohärentes Verhalten zu erreichen, ohne die Autonomie der Agenten zu beschneiden. Wenn zwei oder mehr Agenten in eine Konversation eintreten, müssen sie im Allgemeinen zuerst über die Konversationsregeln verhandeln. Solche typischen Regeln werden als Protokolle bezeichnet, über die sich alle teilnehmenden Agenten einig sein müssen, um als kohärente Einheit zu arbeiten. Dabei müssen Agenten in der Lage sein, die Semantik der auszutauschenden Nachrichten, die Ziele und Pläne anderer Agenten, die in einem MAS arbeiten, zu verstehen. Protokolle ermöglichen es Softwareagenten, sich von verschiedenen Plattformen auf bedeutende Kommunikation einzulassen. Die FIPA hat verschiedene Kommunikationsprotokolle (Juneja u. a., 2015) spezifiziert, wie in Abbildung 2.5 dargestellt und im Folgenden kurz erläutert.

- **Failure to Understand Protocol:**
Das Failure to Understand Protocol bietet den Agenten die Möglichkeit, mit dem Sender zu kommunizieren, wenn eine Nachricht nicht verstanden wurde oder wenn diese nicht zu den Wünschen gehört, die noch zu erfüllen sind. Die mit der Kommunikation befassten Agenten befolgen ein gemeinsames Protokoll und daher ist die Menge der ausgetauschten Antworten vordefiniert. Wenn ein Agent eine Antwort empfängt, die nicht zu dieser Menge gehört, wird mit „nicht verstanden“ erwidert, woraufhin der Absender die korrekte, zur gemeinsamen Menge gehörende Nachricht erneut senden muss. Um jedoch zu vermeiden, dass die Agenten in eine Endloschleife von Neuübertragungen und „nicht verstandener“ Nachricht geraten, kann dieselbe (nicht verstandene) Nachricht nicht erneut übertragen werden.
- **The Request Protocol:**
Das Anfrage-Protokoll ist ein einfaches Anfrage-Antwort-Protokoll, bei dem ein Agent einen anderen Agenten auffordert, eine Aktion durchzuführen, und die zuhörenden Agenten aufgefordert werden, mit einer angemessenen Antwort zu antworten. Die entsprechende Antwort enthält Nichtverstehen (wenn der empfangende Agent

⁶Eine Aufzählung und Vergleich von Kommunikationssprachen findet sich in Büttner (2011).

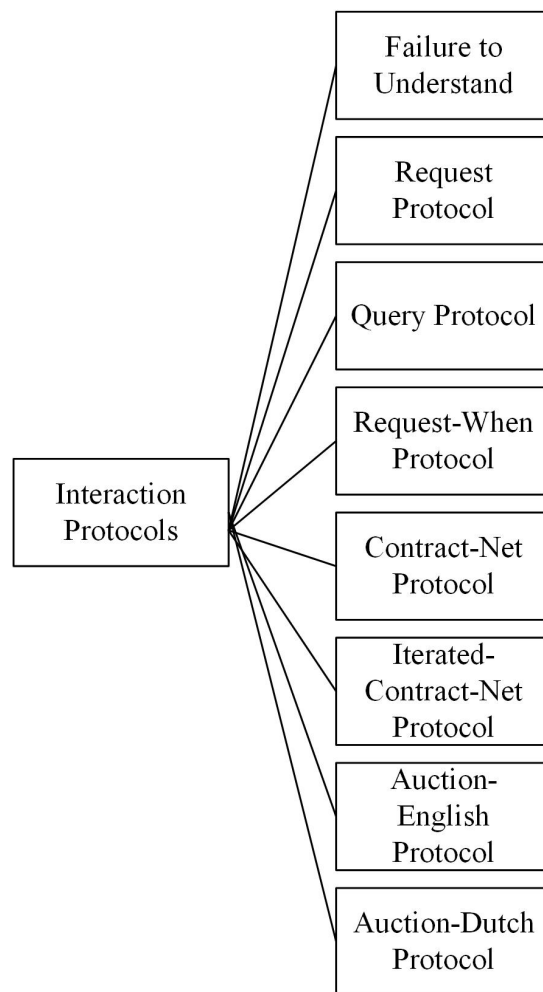


Abbildung 2.5: Kommunikationsprotokolle (Juneja u. a., 2015)

die Anfrage nicht verstehen kann), Ablehnung mit einer Begründung, wie z. B., dass er nicht in der Lage ist, den Wunsch zu erfüllen und Zustimmung zur Ausführung der Aufgabe. Wenn ein Agent zustimmt, die Anfrage anzunehmen, muss er entweder das direkte Ergebnis oder den Verweis auf das Ergebnis kommunizieren. Kommt der Agent jedoch nicht zur Ausführung, kommuniziert er den Fehler und den Fehlergrund.

- The Query Protocol:
Das Query Protocol (Bellifemine u. a., 2001) soll verwendet werden, um einen Agenten aufzufordern, dem Initiator einige Informationen zu geben. Der Sender übermittelt eine Anfrage an den Empfänger, um eine Aktion auszuführen und den Sender zu informieren. Der Initiator kann nach dem Senden einer Anfrage die Antworten „nicht verstanden“, „Ablehnung“ oder „Zustimmung“ erwarten.
- The Request-When Protocol:

Das Request-When-Protokoll ([Craneffeld u. a., 2005](#)) ist eine Erweiterung des request-when-Kommunikationsaktes. Es besagt, dass die Anfrage ausgeführt wird, wenn eine gegebene Vorbedingung zutrifft. Der Agent, der die Anfrage erhält und in der Lage ist, die Aufgabe auszuführen wartet, bis die Vorbedingung eintritt und erfüllt ist. Die Aktion wird dann ausgeführt und der anfragende Agent wird über das Ergebnis informiert. Falls der angefragte Agent nicht in der Lage ist, die Aufgabe zu erfüllen, verweigert er die Durchführung der Aufgabe und sendet eine entsprechende Antwort.

- The Contract-Net Protocol:

Das von [Smith u. Davis \(1981\)](#) definierte Contract-Net-Protocol (CNP) funktioniert analog zu Ausschreibungen auf Märkten. Das Protokoll unterstützt die Kommunikation zwischen Agenten in verteilten MAS und unterstützt bei der Kontrolle über die Ausführung kooperativer Aufgaben und Verhandlungen. Es gibt zwei Agententypen den Initiator und den Teilnehmer. Die Kommunikation zwischen Initiator (Kunden, Managern, Käufern) und Teilnehmer (Lieferanten, Bieter, Auftragnehmern, Verkäufern) wird durch eine Ausschreibung und eine Bewertung der von dem Teilnehmer bei dem Initiator eingereichten Vorschläge hergestellt. Der Ablauf umfasst dabei vier Schritte. Im ersten Schritt fordert der Initiator, die Teilnehmer, die in der Lage sind, bestimmte Aufgaben auszuführen zur Einreichung von Angeboten auf. Im zweiten Schritt schicken die Teilnehmer auf Grundlage der Aufgabenbeschreibung einen entsprechenden Vorschlag an den Initiator. Im dritten Schritt empfängt und bewertet der Initiator die Vorschläge und weist die Aufgabe dem besten Bieter zu. Im vierten und finalen Schritt sendet der Bieter, dem die Aufgabe zugewiesen wird, dem Initiator eine Nachricht, um die Annahme der Aufgabe zu bestätigen.

- Iterated-Contract-Net Protocol:

Im Gegensatz zum zuvor beschriebenen CNP ermöglicht das Iterated-Contract-Net Protocol (ICNP) ([Foundation for Intelligent Physical Agents, 2000](#)) ein iteratives Bieten über mehrere Runden. Ebenso wie beim CNP fordert der Initiator die Teilnehmer zum Bieten auf und diese reichen ihre Angebote in Form von Vorschlägen ein. Der Initiator kann dann mit folgenden Optionen reagieren. Er kann eines oder mehrere der Angebote annehmen und die Übrigen ablehnen. Oder er startet den Prozess erneut, indem er eine überarbeitete Aufforderung zu Geboten mit der Absicht herausgibt, bessere Gebote zu erhalten ([Foundation for Intelligent Physical Agents, 1997](#)). Der Prozess wird so lange fortgesetzt wie der Initiator neu ausschreibt oder kein Teilnehmer mehr neue Vorschläge einreicht. Das ICNP ermöglicht es dem Initiator somit, seine Aufforderung zur Einreichung von Vorschlägen schrittweise zu verfeinern, bis ein geeigneter Vertrag abgeschlossen ist. Der Unterschied zu dem CNP besteht also darin, dass der Initiator alle Vorschläge ablehnen und eine neue überarbeitete Ausschreibung ausstellen kann.

- Auction-English Protocol and Auction-Dutch Protocol:

Das Auction-English Protocol ([Foundation for Intelligent Physical Agents 1997](#); [Vitteau u. Huget 2004](#)) basiert auf dem traditionellen Auktionskonzept. Der Auktionator fordert zum Abgeben von Geboten auf, daraufhin übermitteln die Bieteragenten

ihre Gebote. Der Auktionator muss alle Bieter darüber informieren, ob ihr Angebot angenommen oder abgelehnt wurde.

Während im Auction-English Protocol mit dem niedrigsten Gebot eröffnet wird, startet der Auktionator im Auction-Dutch Protocol ([Foundation for Intelligent Physical Agents, 1997](#)) mit einem Gebot, das viel höher als der erwartete Wert ist. Dieser Startwert wird dann schrittweise reduziert, bis ein Wert vom Auktionator reserviert wird. Die Auktion endet, wenn der Auktionator den Preis ohne Käufer auf den Mindestpreis reduziert hat. Das Protokoll lehnt ein Gebot nur dann ab, wenn es unter dem reservierten Wert liegt. Das Auction-Dutch Protocol ist von Bedeutung, wenn es verschiedene konkurrierende Akteure gibt und diese gleichzeitig bieten.

Wie den vorangegangenen Ausführungen zu entnehmen, ähnelt der Ablauf der Protokolle Auktionen. [He u. a. \(2003\)](#) beschreiben Auktion als einen Spezialfall von Verhandlung. Bei den Grundformen von Auktionen lassen sich Erst- von Zweitpreisauktionen und die Art der Gebote als offen oder verdeckt unterscheiden. Die drei wichtigsten Auktionsformen sind die Englische, Holländische und die Vickrey Auktion.⁷

2.3.6 Verhandlung

Bei agentenbasierten automatischen Verhandlungen wird der menschliche Verhandlungsführer in all seinen Entscheidungs-, Kommunikations- und anderen Verhandlungstätigkeiten durch einen Softwareagenten ersetzt. Dabei treffen Softwareagenten Entscheidungen und steuern den gesamten Prozess einschließlich der Spezifikation von Angeboten und Konzessionen sowie der endgültigen Entscheidung über Zustimmung oder Ablehnung ([Büttner, 2011](#)).

Das Wort Verhandlung entstand im frühen 15. Jahrhundert aus dem altfranzösischen und lateinischen Worten „Negociacion“ und „Negotiationem“ und bedeutet „Geschäft, Handel und Verkehr“. Ende der 1590er-Jahre wurde Verhandlung als Kommunikation auf der Suche nach gegenseitigem Einvernehmen definiert ([Online Etymology Dictionary, 2021](#)). Demnach ist Verhandlung eine Form der Interaktion, bei der eine Gruppe von Akteuren mit widersprüchlichen Interessen und dem Wunsch zur Zusammenarbeit versucht, eine für beide Seiten akzeptable Einigung über einen Verhandlungsgegenstand zu erzielen.

In der Soziologie definiert [Pruitt \(1981\)](#) Verhandlung als eine Form der Entscheidungsfindung, bei der zwei oder mehr Parteien miteinander reden, um ihre gegensätzlichen Interessen zu lösen. Ähnlich wird es in den Politikwissenschaften beschrieben. Hier formuliert [Ury \(1993\)](#) Verhandlung als Prozess der Hin- und Her-Kommunikation, um eine Einigung zu erzielen.

Es existiert in der Literatur allerdings kein einheitliches Verständnis für den Begriff „Verhandlung“. Sehr deutlich zeigt sich dieser Umstand auch in der angloamerikanischen Literatur. Die Begriffe „bargaining“ und „negotiation“ werden sowohl synonym als auch in Abgrenzung zueinander verwendet ([Rubin u. Brown, 1975](#)). Wird zwischen den Begriffen unterschieden, so wird „bargaining“ häufig als „Feilschen“ interpretiert und „negotiation“

⁷Eine ausführliche Auseinandersetzung mit Auktionen findet sich in [Skiera u. Spann \(2003\)](#).

eher als ein Prozess zur Problemlösung betrachtet (Lewicki u. Robinson, 1998).

Die Vielfalt der beteiligten Disziplinen und Perspektiven hat also unterschiedliche Terminologien, Definitionen, Notationen, Konzepte und Formulierungen hervorgebracht. Der Anthropologe Gulliver (1979) definiert Verhandlung als Streitfall, der durch die Abwesenheit einer (wertenden) Drittpartei gekennzeichnet ist. Verhandlungsergebnisse können demnach variabel sein, ebenso wie die Beteiligung von Mediatoren, aber ihre prozessuale Logik wird als unverwechselbar angesehen. Es geht, um Informationsaustausch und darum zu lernen sowie um Kompromisse und Koordination, wenn gemeinsame Entscheidungen getroffen werden.

Einen Überblick verschiedener Definitionen des Begriffes „Verhandlung“ in der Literatur findet sich bei Voeth u. Herbst (2009). So vielfältig das Begriffsverständnis ist, lassen sich doch auch immer wiederkehrende Eigenschaften von Verhandlungen in den verschiedenen Definitionen entdecken. Demnach lassen sich Verhandlungen durch die folgenden Merkmale (Helmold u. a., 2019) kennzeichnen:

1. Mindestens zwei Parteien müssen beteiligt sein.
2. Dabei ist das übereinstimmende Ziel der Parteien, eine Einigung zu erzielen.
3. Alle Parteien müssen sich bemühen, den Konflikt im gegenseitigen Einvernehmen zu lösen.
4. Ein Geben und Nehmen wollen aller Parteien ist Voraussetzung.
5. Ziel ist es, einen Interessenausgleich zu erreichen.
6. An der Erreichung einer Lösung müssen sich alle Parteien beteiligen.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit soll die folgende Definition nach Büttner (2011, S.20) gelten:

„Unter einer Verhandlung ist ein iterativer Kommunikations- und Entscheidungsprozess zwischen mindestens zwei sozialen Systemen zu verstehen, die ihre Ziele nicht durch unilaterale Aktionen erfüllen können und zum Erreichen eines Konsens Angebote und Argumente austauschen.“

Diese erscheint aufgrund des Kontextes MAS, in dem die Verhandlungen angesiedelt sind, passend.

2.3.7 Automatisierte Verhandlung

Während der Verhandlungsphase werden der Preis oder andere Bedingungen der Transaktion festgelegt. Die Mehrzahl der Business-to-Business-Transaktionen beinhalten Verhandlungen. Der Vorteil der dynamischen Aushandlung eines Preises für ein Produkt anstelle der Festlegung eines Preises besteht darin, dass der Händler den Wert der Ware nicht mehr a priori bestimmen muss. Vielmehr wird diese Last auf den Marktplatz geschoben. Im Ergebnis werden die begrenzten Ressourcen an diejenigen verteilt, die diese

am meisten schätzen. Allerdings fallen bei Verhandlungen in der realen Welt Transaktionskosten an, die zu hoch sein können, sowohl für Verbraucher als auch Händler (Maes u. a., 1999). Im Gegensatz zu Auktionshäusern ist es bei Online-Auktionen nicht erforderlich, dass die Teilnehmer geografisch zusammentreffen. Allerdings müssen die Akteure ihre eigenen Verhandlungsstrategien über einen längeren Zeitraum hinweg managen. Hier kommen Agententechnologien ins Spiel. Automatisierte Verhandlungen werden als zentrales Instrument zur Koordinierung autonomer Agenten angesehen (Jennings u. a., 2001). Einen Überblick zur automatisierten Verhandlung geben Jennings u. a. (2001), Lomuscio u. a. (2003) sowie Ströbel u. Weinhardt (2003).

Die automatisierte Verhandlung ist, ebenso wie die traditionelle Verhandlung, ein Entscheidungsprozess zwischen zwei oder mehr Parteien auf der Grundlage von Informationsaustausch, der normalerweise darauf abzielt, eine Einigung zu erzielen. Bei automatisierten Verhandlungen erfolgt die gesamte Kommunikation über ein digitales Medium mit digitalen Kanälen, die Daten transportieren. Bei agentenbasierten automatischen Verhandlungen wird der menschliche Verhandlungsführer in all seinen Entscheidungs-, Kommunikations- und anderen Verhandlungstätigkeiten durch einen Softwareagenten ersetzt. Dabei treffen Softwareagenten Entscheidungen und steuern den gesamten Prozess, einschließlich der Spezifikation von Angeboten und Konzessionen sowie der endgültigen Entscheidung über Zustimmung oder Ablehnung.

Neben dem Begriffsverständnis gibt es auch physische Merkmale, durch die sich Verhandlungen unterscheiden lassen:

- Zahl der Teilnehmer (vgl. Abbildung 2.6)
 - bilateral*: Die Verhandlung beschränkt sich auf einen Anbieter und einen Nachfrager. Vernachlässigt man Täuschung und das Zurückhalten von Informationen als Verhandlungsstrategie handelt es sich um ein simples Szenario. Werden diese Verhaltensweisen berücksichtigt, kann allerdings die Komplexität stark zunehmen, was eine Automatisierung erschwert (Rebstock, 2001).
 - multilateral*: Einseitig multilaterale Verhandlungen werden gewöhnlich in Form von Auktionen automatisiert (Lomuscio u. a., 2003) unabhängig davon, ob es sich um einen Anbieter und mehrere Nachfrager handelt oder umgekehrt verhält. Treten mehrere Nachfrager mit mehreren Anbietern in Verhandlung, handelt es sich um eine beidseitige multilaterale Verhandlung. Derartige komplexe Situationen benötigen entsprechende Regeln, wie sie unter anderen von Wooldridge u. a. (1996) betrachtet wurden.
- Zahl der Attribute (vgl. Abbildung 2.7)
 - In Auktionen als Spezialfall einer Verhandlung geht es häufig nur um den Preis (Kehagias u. a., 2005). Alle anderen Attribute des Verhandlungsobjektes sind nicht Teil des Prozesses und müssen separat vereinbart werden. Im Geschäftsumfeld wird aber oft über mehr als nur den Preis verhandelt. Die Notwendigkeit mehrere Eigenschaften simultan zu betrachten, ist schwer automatisierbar wie die Forschung zeigt (Bichler 2000; Teuteberg 2003).
- Mit und ohne Mediator

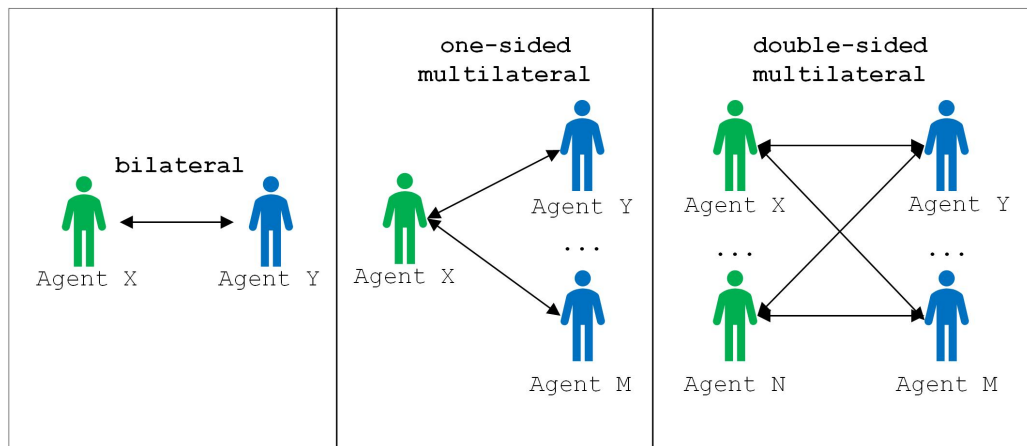


Abbildung 2.6: Verhandlungsmerkmale nach Anzahl der Teilnehmer (eigene Darstellung in Anlehnung an Büttner 2011)

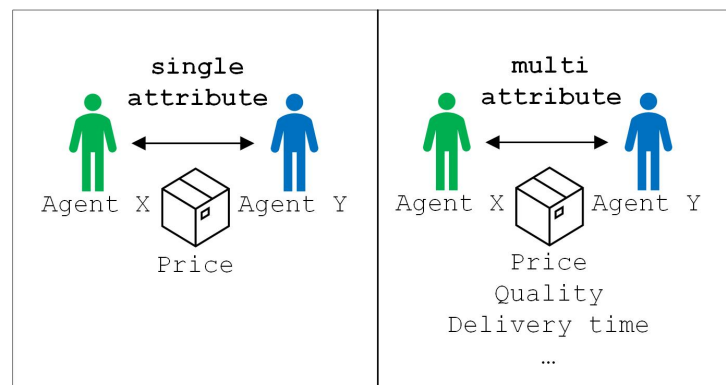


Abbildung 2.7: Verhandlungsmerkmale nach Anzahl der Attribute (eigene Darstellung in Anlehnung an Büttner 2011)

Bei einer Verhandlung ohne Mediator erfolgt die Kommunikation ausschließlich zwischen den Verhandlungspartnern, also direkt. Mit dem Einsatz von Mediatoren (auch, Broker oder Vermittler genannt) wird eine Vermittlerrolle zwischen den Verhandlungspartnern eingeführt, der auch zur Kontrolle des Marktprozesses dienen kann (Collins u. a., 1998).

- Zahl der Verhandlungsgegenstände (vgl. Abbildung 2.8)
Bei *nicht-kombinatorischen Verhandlungen* wird lediglich über einen einzelnen oder mehrere gleichartige Verhandlungsgegenstände innerhalb des Verhandlungsvorgangs entschieden.
Demgegenüber erfolgt bei *kombinatorischen Verhandlungen* die Verhandlung über ein Bündel (Paket) verschiedener Verhandlungsgegenstände. Die Automatisierung von kombinatorischen Verhandlungen ist komplex, daher wird dies in der Regel in Form von Ausschreibungs- oder Auktionspaketen durchgeführt, um ein kombiniertes Produktpaket zu erhalten (Bichler u. a., 2005).

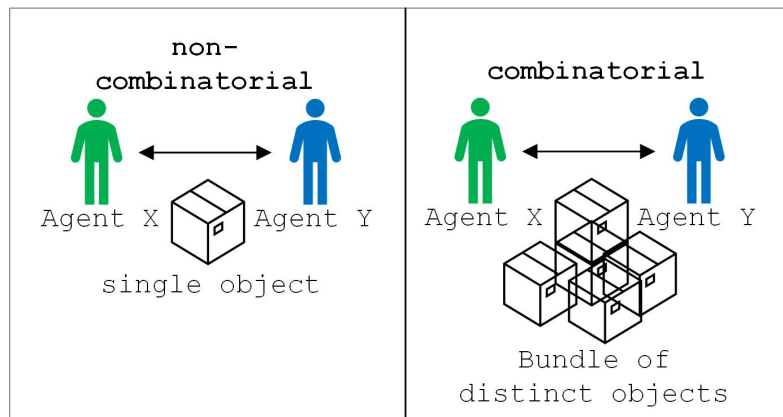


Abbildung 2.8: Verhandlungsmerkmale nach Anzahl der Verhandlungsgegenstände (eigene Darstellung in Anlehnung an Büttner 2011)

Wegen der zuvor dokumentierten vielfältigen möglichen Ausprägungen von Verhandlungen erfordern vollständig automatisierte Modelle eine starke Strukturierung, damit die Softwareagenten autonom verhandeln können (Bichler u. a., 2003). Sie gelten als ergebnisorientiert, weil sie zur Generierung eines Verhandlungsergebnisses eingesetzt werden. Die eingesetzte Technologie zur Automatisierung muss dies widerspiegeln können.

2.3.8 Vertrauen und Reputation

Definitionen von Vertrauen sind sehr selten. Koller (1990) definiert Vertrauen als die Erwartung, dass ein Interaktionspartner wohlwollendes Verhalten zeigt, obwohl er die Möglichkeit hat, andere, nicht wohlwollende, Umgangsformen zu wählen.

Aber Vertrauen ist keine zeitlose Eigenschaft. Um eine Transaktion mit einem unbekanntem Partner durchzuführen, ist es hilfreich, Informationen über sein Kooperationsverhalten zu erhalten. Denn laut Marsh (1994) hat ein Agent als vertrauende Entität einen grundlegenden „Vertrauenswert“, der sich aus früheren Erfahrungen bzw. aus den zur Verfügung stehenden Informationen ableitet.

Um eine Transaktion mit unvollständigen Informationen durchzuführen, ist für mindestens einen der Transaktionspartner Vertrauen erforderlich. Um die Risiken für diesen Partner zu reduzieren, wird ein Mechanismus entworfen, um Informationen über das Kooperationsverhalten eines bestimmten Transaktionspartners zu erhalten. Diese Informationen führen zur Reputation des Transaktionspartners. Marsh (1994) definiert Reputation als das Maß an Vertrauen, dass einer bestimmten Person in einem bestimmten Umfeld oder einer bestimmten Interessendomäne entgegengebracht wird.

In Rahmen der vorliegenden Arbeit treten zwei Arten von Vertrauensproblemen auf. Zum einen ist für einen Einsatz des entwickelten MAS für SCF im betrieblichen Kontext ein gewisses Technologievertrauen erforderlich und zum anderen kann ein Vertrauenszuwachs bei Kooperation innerhalb der SC als Motivator für die Übernahme einer Finanzierung gesehen werden. Erstgenanntes beinhaltet die Frage nach dem Vertrauen des Menschen

in die Technologie. Dies kann beispielsweise durch die Erfüllung von Kompetenzerwartungen an die Entwickler, also die Anwendung von spezialisiertem Expertenwissen gelöst werden sowie durch Informationsaustausch im Zuge einer aktiven Kommunikation (Kuhlen, 1999). In Bezug auf das zweitgenannte Problem gilt es zunächst zu klären, was die Bedingungen sind unter denen Vertrauen entstehen kann und wie diese auf das Agentenverhalten zu übertragen sind. Padovan (2000) und Westermayer (2002) haben drei Aspekte zusammengetragen:

1. Wenigstens ein beteiligter Akteur muss in der Lage sein, zu entscheiden und dementsprechend zu agieren. Vertrauen ist nur dann nötig, wenn die Freiheit der Entscheidung besteht.
Die Agenten im MAS für SCF erfüllen diese Bedingung, sie sind autonom, treffen also ohne direkten Eingriff durch Menschen Entscheidungen (vgl. Kapitel 2.3.4).
2. Nur bei Interaktionen deren Ausgang unsicher ist, kann Vertrauen entstehen. Voraussetzung für Vertrauen ist die Möglichkeit, das Risiko der Interaktion bzw. deren Folgen einschätzen zu können. Das funktioniert nur, wenn Akteure über einen gewissen Informationsstand bezüglich des Ergebnisses der Interaktion verfügen.
Im SCF-Agentenmodell ist die kostenpflichtige Übertragung von Informationen zwischen den Agenten vorgesehen, was zu einem optimalen Informationsstand über das zu finanzierende Projekt führt. Zudem wird der entstehende Nutzen anhand dreier Parameter quantifiziert (vgl. Kapitel 5.5.2).
3. Vertrauen kann nur bei mehrfachen Interaktionen entstehen. Es spielt also weniger bei einmaligen Beziehungen sondern vielmehr bei sich wiederholenden Beziehungen eine Rolle.
Eine Grundannahme des Modells besteht darin, dass es sich bei den Agenten (außer KapitalmarktAgent) um Akteure einer Lieferkette handelt. Also bereits Beziehungen bestehen und mehrere Interaktionen erfolgt sind (vgl. Kapitel 4.3). Es wird ferner davon ausgegangen, dass durch eine mögliche interne Finanzierung die bestehenden Beziehungen gestärkt werden.

Die vorangegangenen Ausführungen haben gezeigt, dass die notwendigen Aspekte damit Vertrauen im MAS eine Rolle spielen kann, erfüllt sind. Im Rahmen des MAS für SCF soll Vertrauen über einen Parameter quantifiziert werden, der den positiven externen Effekt in Form von Vertrauenszuwachs bei der internen Finanzierung berücksichtigt.

2.4 Technik: Modellbildung

Aus Theoriebildung und der Übertragung auf die spezifischen Kontexte SCF und MAS erfolgt nun die technische Umsetzung (vgl. Abbildung 2.9).

In den vorangegangenen Ausführungen wurden die Mechanismen und Instrumente des SCF sowie die damit verbundene Verhandlungsproblematik und die entsprechenden technischen Prozeduren (Protokolle) vorgestellt. Auftretende Verhandlungsprobleme waren



Abbildung 2.9: Zusammenhang relevanter Theorien, Technologien und Technik im SCF- und MAS-Kontext (eigene Darstellung in Anlehnung an [Specht 1992](#))

insbesondere die asymmetrische Verteilung von Information, die unvollkommene Informationslage und damit verbundene Kosten sowie die Notwendigkeit der Kommunikation und Interaktion. Abbildung 2.10 fasst die Zusammenhänge der beiden „Welten“ SCF und MAS zusammen.

Neben den erläuterten inhaltlichen und methodischen Anforderungen soll ebenfalls auf die grundsätzlichen Rahmenbedingungen der Modellkonstruktion eingegangen werden. Dieser Rahmen wird bestimmt durch die Ziel-, die Abbildungs-, die Adressaten- und die Reduktions- bzw. Abstraktionsdimension ([Schütte, 1998](#)):

1. Zieldimension:

Im Mittelpunkt steht die Frage, zu welchem Zweck das Modell konstruiert wird. Der Verwendungszweck bestimmt die Gestaltung der anderen Dimensionen.

2. Abbildungsdimension:

Hier muss entschieden werden, welches Realobjekt und welcher Ausschnitt soll abgebildet werden.

3. Adressatendimension:

Welche Sprache und Form für das Modell gewählt wird, hängt elementar von der Zielgruppe ab für das es konstruiert wird. Die Perspektive und Interpretationsmöglichkeiten des Adressaten müssen berücksichtigt werden.

4. Reduktions- bzw. Abstraktionsdimension:

In dieser Dimension werden Überlegungen zum notwendigen Grad der Abstraktion angestellt, d. h. wie nah sich das Modell an der Realität orientieren soll.

Das MAS für SCF muss in einer Weise konstruiert und implementiert werden, die zu einer optimalen Ausprägung des Zielsystems führt, hier zu minimalen Kapitalkosten als gemeinsames SC-Ziel und maximaler Rendite für einzelne Agenten.

Im Allgemeinen sind Lieferketten komplexe Netzwerke ([Chopra u. Meindl, 2013](#)), die sich in Modellen durch die Reduzierung von Komplexität darstellen lassen. Der für dieses Modell gewählte Ausschnitt (Abbildung) beschränkt sich auf drei Typen von Akteuren: einen externen (außerhalb der SC) Investor, einen internen (innerhalb der SC) Investor und einen internen Kapitalnachfrager. Die Besonderheiten von MAS, dass sich die Anzahl

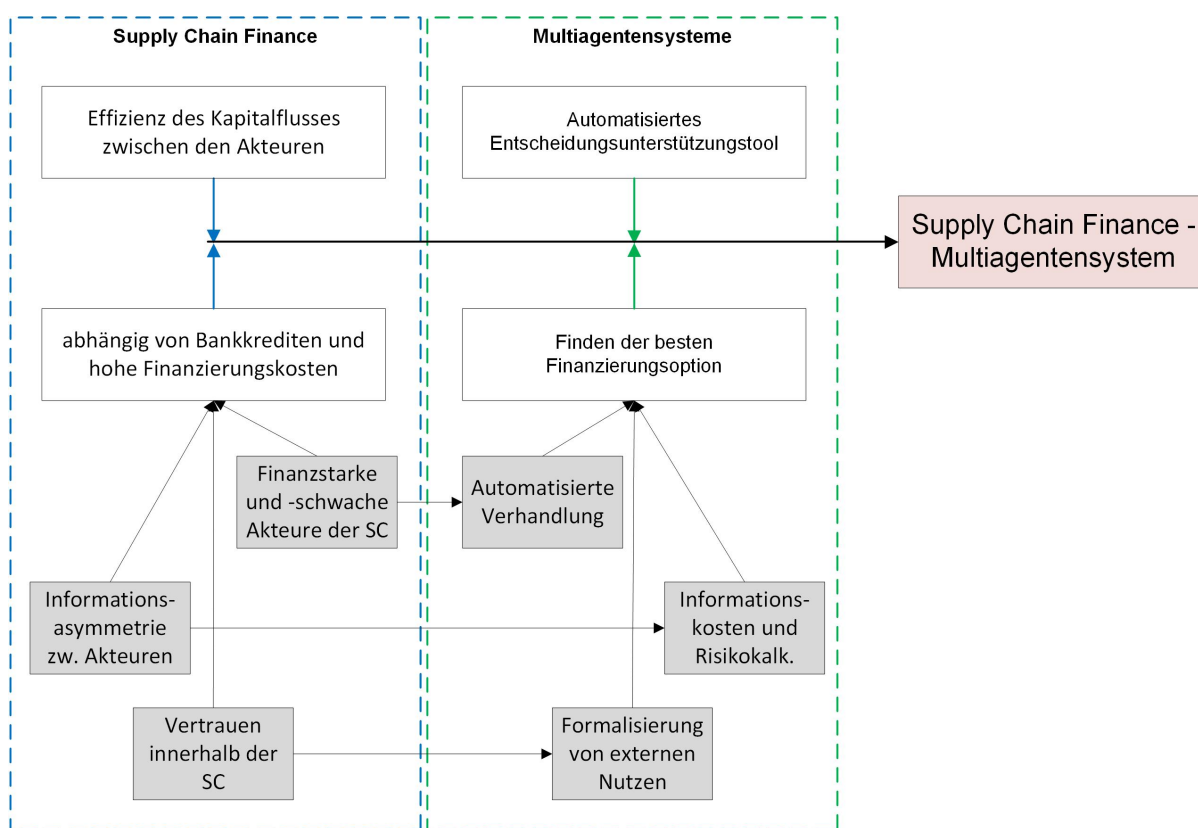


Abbildung 2.10: Erweitertes MAS für SCF Einflussdiagramm (eigene Darstellung)

einmal angelegter Agenten beliebig skalieren lässt, wird für den Typ interner Investor ausgenutzt, sodass Szenarien abgebildet werden können, in denen mehrere potenzielle Investoren auf ein Investitionsobjekt bieten.

Das angenommene Finanzierungsproblem wird abstrahiert, indem eine Finanzierung durch Eigenkapital ausgeschlossen wird. Ferner liegen die Annahmen zugrunde, dass zwischen den Agenten Informationsasymmetrie herrscht, die intern durch den kostenpflichtigen Austausch von Information überwunden werden kann. Zur Umsetzung der in dieser Arbeit vorgestellten Szenarien wurde ferner ein mathematisches Modell implementiert, welches auf dem Grundmodell der SCF von Gomm (2008) beruht.

Neben den inhaltlichen Anforderungen muss ein Modell zur Umsetzung einer SCF-Lösung durch ein MAS auch methodischen Anforderungen genügen. Solche methodischen Anforderungen (Haller, 1999) sind zum Beispiel die Reproduzierbarkeit und Transparenz sowie die Praxistauglichkeit. Reproduzierbarkeit bedeutet, dass das Modell bei Daten die gleiche Fragestellung betreffend auch gleiche Ergebnisse liefert. Damit dies sichergestellt ist, muss das Vorgehen systematisch, nachvollziehbar und somit transparent dargelegt werden. Der Ansatz ist dann praxistauglich, wenn er anwenderfreundlich ist. Das bedeutet, es muss in der Anwendung einfach sein und der Aufwand überschaubar. Die soeben erläuterten Anforderungen werden in Abbildung 2.11 den zu Beginn des Abschnitts dargelegten Dimensionen der Modellkonstruktion zugeordnet.

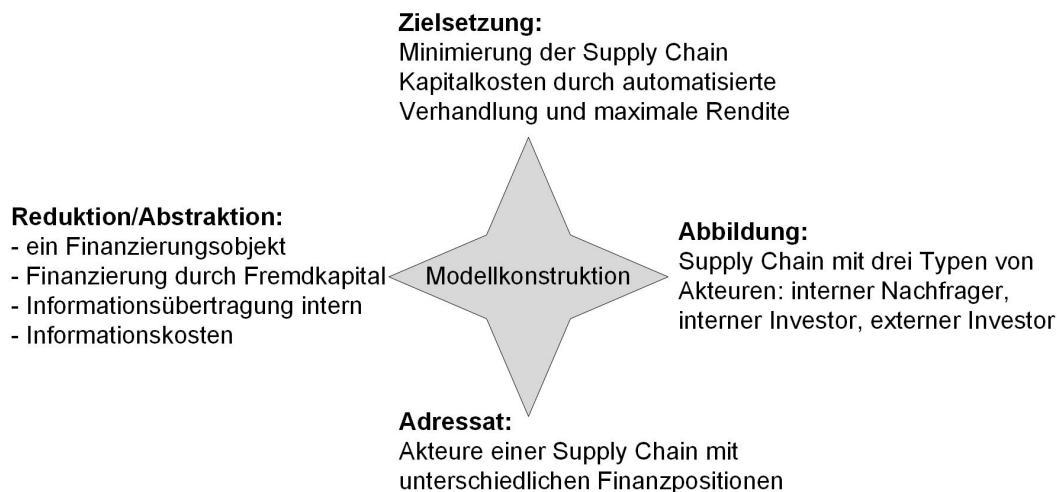


Abbildung 2.11: Dimensionen der Modellkonstruktion (eigene Darstellung in Anlehnung an Baumöl 2008)

2.5 Evaluation

Unter Evaluation ist die systematische Untersuchung der Verwendbarkeit oder des Wertes eines Gegenstandes zu verstehen (Wottawa u. Thierau 1998; Sanders u. Beywl 2006). Diese Untersuchungen dienen dem Zweck, den Nutzen von Ergebnissen aus der Forschung nachzuweisen (Stockmann, 2006). In den Wissenschaften existieren zahlreiche Evaluationsansätze. Riege u. a. (2009) unterscheiden für die Wirtschaftsinformatik, in dessen Bereich diese Arbeit zu zählen ist, drei Ansätze (vgl. Abbildung 2.12):

1. Der Untersuchungsgegenstand, auch Artefakt⁸ als Ergebnis der Problemlösung, wird gegen eine identifizierte Forschungslücke evaluiert. Auf Grundlage entsprechend formulierter Anforderungen wird die Konstruktion des Artefaktes hinsichtlich ihrer Richtigkeit untersucht.
2. Das Artefakt wird unter Bedingungen der Realwelt getestet. Die Nützlichkeit der vorgeschlagenen Problemlösung für den zgedachten Einsatzzweck wird so sichtbar.
3. Evaluation der Forschungslücke gegenüber der Realwelt.

Wie die Autoren weiter feststellen, spielt der dritte Ansatz in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik nahezu keine Rolle (Riege u. a., 2009). In den beiden verbliebenen Ansätzen kommen zahlreiche Methoden zum Einsatz. Die Wahl einer geeigneten Methode hängt maßgeblich von dem zu evaluierenden Gegenstand ab.

Evaluationsgegenstand im Rahmen dieser Arbeit ist das in den Kapiteln 4 und 5 entworfene MAS für SCF. Einschließlich des dazugehörigen Verhandlungsprotokolls, welches eine

⁸Eine Auseinandersetzung mit dem Artefakt-Begriff findet sich in Gericke u. Winter (2009).

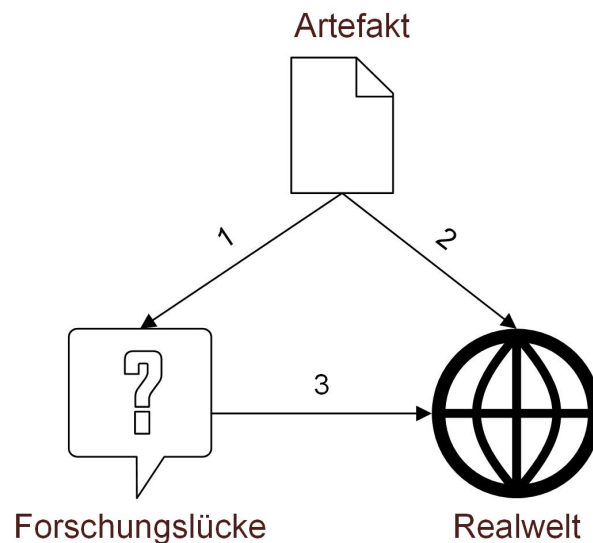


Abbildung 2.12: Bezugspunkte der Evaluation (Riege u. a. 2009)

einseitig multilaterale, einattributive automatisierte Verhandlung über Finanzierungsoptionen unter Berücksichtigung von Informationsasymmetrie und externen Nutzen ermöglicht.

Die gewählten Evaluationsmethoden sind zum einen die Konstruktion und Implementierung eines SCF-MAS Prototypen und zum anderen damit durchgeführte numerische Experimente, wie in Kapitel 5 beschrieben. Somit erfolgt die Evaluation nach dem ersten Ansatz, Artefakt, hier MAS und Verhandlungsprotokoll, gegen die identifizierte Forschungslücke im SCF.

Das Evaluationsziel im Rahmen dieser Arbeit ist es, die Funktionalität des Artefaktes (MAS und automatisierter Verhandlungsmechanismus) zu testen. Außerdem soll der Einfluss von Informationsasymmetrie und externen Nutzen auf das Verhandlungsergebnis untersucht werden. Und schließlich ist zu zeigen, dass der Verhandlungsmechanismus stets die beste Finanzierungsoption zum Ergebnis hat.

2.5.1 Agenten und Rollen

Für die Umsetzung einer SCF-Lösung durch MAS müssen sämtliche Akteure in Form von Agenten dargestellt werden. Dabei müssen die Rollen Kapitalnachfrager, interner und externer Investor vertreten sein. Folgender Prozess soll abgebildet werden: Für ein zu finanzierendes Projekt benötigt ein Akteur der Lieferkette Kapital. Es besteht die Möglichkeit, entweder extern über den Kapitalmarkt zu finanzieren oder über Investoren innerhalb der SC, die ebenfalls über Fremdkapital finanzieren. Aufgrund ihrer Stellung in der SC verfügen Sie möglicherweise über bessere Konditionen und sind außerdem an einer Investition in ein SC-Projekt interessiert, um Beziehungen zu festigen und Vertrauen zu

gewinnen.

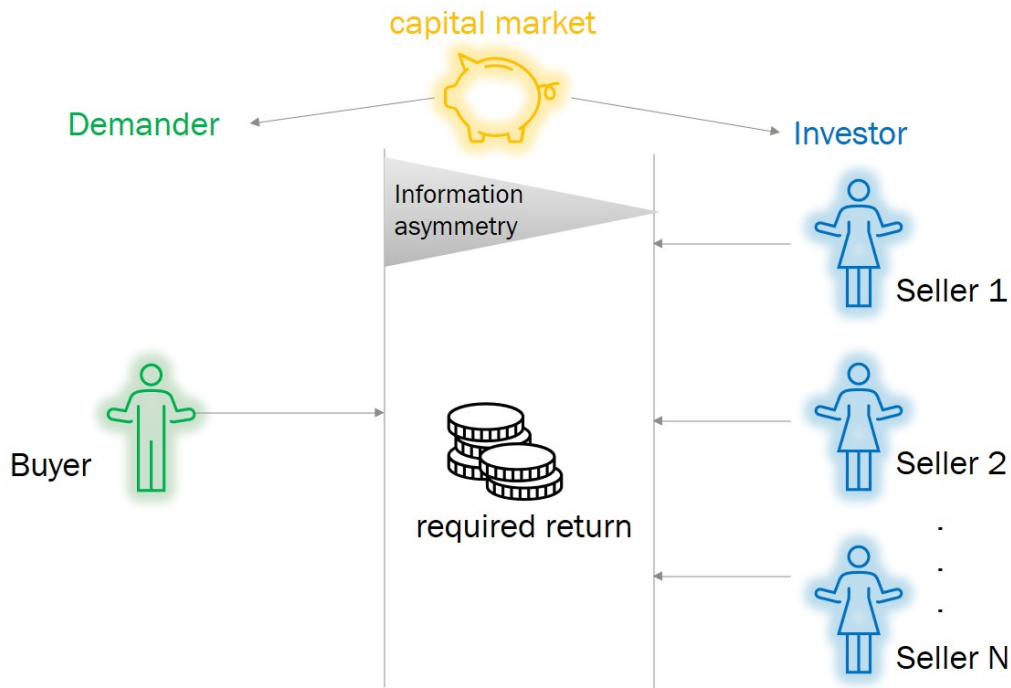


Abbildung 2.13: One-to-many SCF-Szenario (eigene Darstellung)

Die folgenden Ausführungen stellen auf Basis des beschriebenen Szenarios die Rollen und Agenten für eine one-to-many Verhandlung über einen Verhandlungsgegenstand und ein Attribut vor (vgl. Abbildung 2.13). Initiator der Verhandlung ist der Kapitalnachfrager, Verhandlungsteilnehmer sind mehrere interne Investoren, die zu unterschiedlichen Bedingungen bereit sind, die Finanzierung zu übernehmen. Verhandelt wird über die Kapitalkosten in Form einer Renditeforderung für einen bestimmten Kapitalbedarf. Alle anderen Bedingungen (Laufzeit, Kredithöhe, Art des Kredites usw.) gelten als gegeben. Als Ergebnis der Verhandlung ergibt sich die beste interne Finanzierungsoption. Im Anschluss prüft der Nachfrager, ob die interne Finanzierung günstiger als die externe ist und entscheidet entsprechend.

Wie [Cardoso u. Ferrando \(2021\)](#) in ihrer Arbeit schildern, stehen den Entwicklern zahlreiche Plattformen bzw. Agentenprogrammiersprachen (APL) zur Verfügung, die mehrheitlich in Java implementiert sind. Tabelle 2.3 zeigt eine Übersicht der nachfolgend kurz skizzierten Agentenprogrammiersprachen.

ASTRA ist eine Agentenprogrammiersprache zum Erstellen von intelligenten verteilten Systemen, aufgebaut auf der Java-Plattform. Es soll die Lücke zwischen dem Verständnis von agentenorientierter Programmierung (AOP) und den Konzepten, die den Mainstream-Sprachen zugrunde liegen, schließen ([Collier u. a., 2015](#)).

[Honorato-Zimmer u. a. \(2019\)](#) entwickelten die Modellierungssprache Chromar, welche in Haskell eingebettet ist. Hierbei wird Dynamik durch stochastische Regeln gegeben, die

Table 2.3: Übersicht aktueller Agentenprogrammiersprachen (in Anlehnung an Cardoso u. Fernando 2021)

APL	Implementierung (Link)
ASTRA	Java https://gitlab.com/astra-language
Chromar	Haskell https://github.com/azardilis/Chromar
GOAL	Java https://goalapl.atlassian.net/wiki/spaces/GOAL/overview
Gwendolen	Java https://github.com/mcapl/mcapl
JaCaMo	Java https://github.com/jacamo-lang/jacamo
JADE	Java https://jade.tilab.com/
JADEL	Java / Jade keine öffentlich verfügbare Implementierung
Jadex	Java https://github.com/actoron/jadex
Jadescript	Java / Jade keine öffentlich verfügbare Implementierung
Jason	Java https://github.com/jason-lang/jason
LightJason	Java https://github.com/LightJason/
PLACE	keine öffentlich verfügbare Implementierung
PLASA	Java keine öffentlich verfügbare Implementierung
RMAS	Matlab / SQLite keine öffentlich verfügbare Implementierung
SARL	Java https://github.com/sarl/sarl

auf Gruppen von Agenten definiert sind - zum Beispiel alle Agenten eines bestimmten Typs -, was bedeutet, dass eine Aufzählung der Dynamik jedes einzelnen Agenten nicht notwendig ist.

GOAL ist eine Agentenprogrammiersprache zur Programmierung kognitiver Agenten. Diese leiten ihre Auswahl der Handlung aus ihren Überzeugungen und Zielen ab. GOAL ist vorwiegend auf regelbasierte Entscheidungsfindung ausgerichtet ([Hindriks u. a., 2001](#)).

Jason ([Bordini u. a., 2007](#)) ist eine Erweiterung der AgentSpeak(L)-Sprache, die auf dem BDI-Agentenmodell basiert. Die BDI-Architekturkomponenten sind:

- **Belief base:** Der Interpretierer nimmt die Umgebung ständig wahr und aktualisiert die Belief Base entsprechend.
- **Goals (or Desires):** Ziele (oder Wünsche), die durch die Ausführung von
- **Plans (or Intentions):** Plänen (oder Absichten) erreicht werden.

Gwendolen ([Dennis, 2017](#)) begann ursprünglich als ein Teil von Jason in der Hoffnung, überprüfbare Agentenprogramme zu entwickeln, hat aber inzwischen eine eigene Syntax und Semantik entwickelt. Da es sich um eine Sprache handelt, die von Grund auf zur Unterstützung der Verifikation von Agenten entwickelt wurde, ist sie in den unterstützten Funktionen eingeschränkt.

Die JaCaMo-Plattform ([Boissier u. a. 2013](#); [Boissier u. a. 2020](#)) besteht aus den drei Komponenten Jason, CArtAgO ([Ricci u. a., 2009](#)) und Moise ([Hubner u. a., 2007](#)), die jeweils eine andere Abstraktionsebene repräsentieren. Jason wird für die Programmierung der Agentenebene verwendet, CArtAgO ist für die Umgebungsebene zuständig und Moise für die Organisationsebene. JaCaMo integriert diese drei Technologien, indem es eine semantische Verknüpfung zwischen den Abstraktionsebenen (Agent, Umgebung und Organisation) definiert.

JADE ([Bellifemine u. a., 2007](#)) bietet neben der Agentenabstraktion ein Modell für die Ausführung und Komposition von Aufgaben, eine Agentenkommunikation auf Basis asynchroner Nachrichtenübermittlung und einen Yellow-Page-Dienst, der den Mechanismus zum Veröffentlichen und Abonnieren von Informationen unterstützt. JADE-basierte Systeme können über Maschinen mit unterschiedlichen Betriebssystemen verteilt werden und wurden von vielen Sprachen (z.B. Jason und JaCaMo) als Verteilungsinfrastruktur verwendet.

JADEL (JADE Language) ist eine Erweiterung von JADE, die die Konstruktion von Agenten und MAS auf Basis von JADE unterstützt, ohne direkt Java verwenden zu müssen ([Bergenti u. a., 2017](#)). In der Folge entwickelten die Autoren in [Bergenti u. a. \(2018\)](#) Jadescript, eine Erweiterung von JADEL. Jadescript zeichnet sich durch eine ausdrucksstarke Syntax aus, die weitgehend von modernen Skriptsprachen inspiriert ist, um die Lesbarkeit zu fördern und Agentenprogramme dem Pseudocode ähnlicher zu machen.

Jadex ([Pokahr u. a., 2005](#)) ermöglicht die Programmierung von intelligenten Software-Agenten in XML und Java. Die Agentenabstraktion basiert auf dem BDI-Modell und bietet verschiedene Funktionen wie beispielsweise eine Laufzeitinfrastruktur für Agenten, mehrere Interaktionsstile oder auch Simulationsunterstützung.

[Aschermann u. a. \(2018\)](#) stellen eine hoch skalierbare Java-basierte Plattform für BDI-AOP und Simulation namens LightJason vor. LightJason basiert auf einer Logiksprache inspiriert von AgentSpeak(L) und Jason, wurde jedoch von Grund auf neu implementiert. Planning based Language for Agents and Computational Environments (PLACE) ist eine AOP-Sprache, die den Agenten KI-Planungsfähigkeiten ermöglicht ([Hashmi u. a., 2015](#)). Die Aktionen in PLACE sind mit Zeitdauern verknüpft, sodass der Planer in der Lage sein muss, zeitliche Informationen zu verarbeiten. Agenten in PLACE haben die Fähigkeit, sich von Fehlern zu erholen, indem sie ihre Aktivitäten an die neuen Situationen anpassen. Zu diesem Zweck wird ein Plan-Reparaturmechanismus hinzugefügt, der einen Plan repariert, wenn die unvorhergesehenen Ereignisse in der Umgebung dazu führen, dass dieser nicht mehr durchführbar ist.

Programming Language for Synchronous Agents (PLASA) ist, wie der Name es sagt, eine Programmiersprache für synchrone Agenten ([Kilaru, 2018](#)). PLASA ist plattformunabhängig und ermöglicht eine schnelle Implementierung von kooperativen Anwendungen auf mehreren physischen Robotern und in dynamischen Umgebungen. Es ist als High-Level-Programmiersprache konzipiert, die es dem Benutzer ermöglicht, die von den Robotern auszuführenden Anweisungen in einer für Menschen lesbaren Sprache zu spezifizieren.

Relational Model Multi-Agent System (RMAS) ist ein datenbankzentrierter Ansatz für MAS. Er ist in der Lage, die Steuerung in Cyber-Physical Systems (CPS) zu ermöglichen ([Bonci u. a., 2018](#)). Eine erste Implementierung von RMAS wird durch die Kopplung der Matlab-Umgebung und der Datenbanksprache SQLite vorgeschlagen.

Mit SARL ([Rodriguez u. a., 2014](#)) soll eine offene und leicht erweiterbare Sprache etabliert werden. Das Hauptaugenmerk liegt auf der Bereitstellung einer erweiterbaren Sprache, die mit einem Minimum an Konzepten ausgestattet ist, die zur Unterstützung von AOP erforderlich sind.

Als Umgebung für die Entwicklung einer agentenorientierten Software dient im Rahmen dieser Arbeit das Java Agent Development Framework (JADE) ([Bellifemine u. a., 2007](#)). JADE ist eine Open-Source-Plattform für die Entwicklung von agentenbasierten Anwendungen mit folgenden Eigenschaften:

- es basiert auf Java und profitiert von Bibliotheken von Drittanbietern,
- es ist auf Basis des FIPA-Standards ([FIPA, 2020](#)) geschrieben,
- es unterstützt die Simulation verteilter Systeme und
- es hat eine grafische Oberfläche für den Entwurf von MAS.

Zur Regelung der Kommunikation wird die Agentensprache FIPA-ACL (Agent Communication Language) verwendet, eine auf der Sprechakttheorie basierende Sprache, mit der Agenten die kommunikativen Akte oder den Zweck einer Nachricht (z. B. informieren, anfordern, ablehnen, vgl. Tabelle 5.3) darstellen können. Zudem verfügt JADE über das Agent Management System (AMS), den Directory Facilitator (DF) und den Message Transport Service (MTS). Die AMS-Entität ist für die Verwaltung von Operationen wie das Erstellen und Löschen von Agenten verantwortlich. Der DF ist dafür verantwortlich,

die Gelbe-Seiten-Dienste für andere Agenten bereitzustellen. Es verwaltet die vollständige Liste der Agenten, die über öffentliche Dienste verfügen, um Agenten bei der Suche nach Diensten in der Plattform zu helfen. Schließlich ist der MTS ein Dienst, der für den Transport und die Zustellung von ACL-Nachrichten zwischen Agenten auf der Plattform verantwortlich ist.

Die Agentenklassen im entwickelten MAS für SCF sind über Helferagenten, sogenannte DFHelfer miteinander verbunden. Diese Klasse wird bei der Initialisierung eines InvestorAgents oder eines DemanderAgents (Nachfrager) erstellt. Ihr Zweck ist es, die Agenten mit Informationen zu versorgen, die für den Bietprozess relevant sind, sowie die Beendigung von Agenten. Die Rollen der verwendeten Agenten sind in Tabelle 2.4 beschrieben.

2.5.2 Verhandlungsmechanismus

Das zugrunde liegende Verhandlungsprotokoll wird in Kapitel 5.5 beschrieben und numerische Beispiel zur Demonstration der Funktionalität des MAS werden dort diskutiert. An dieser Stelle soll das verwendete Evaluationsverfahren anhand des zuvor beschriebenen Szenarios und Rollen illustriert sowie die Funktionalität nachgewiesen werden.

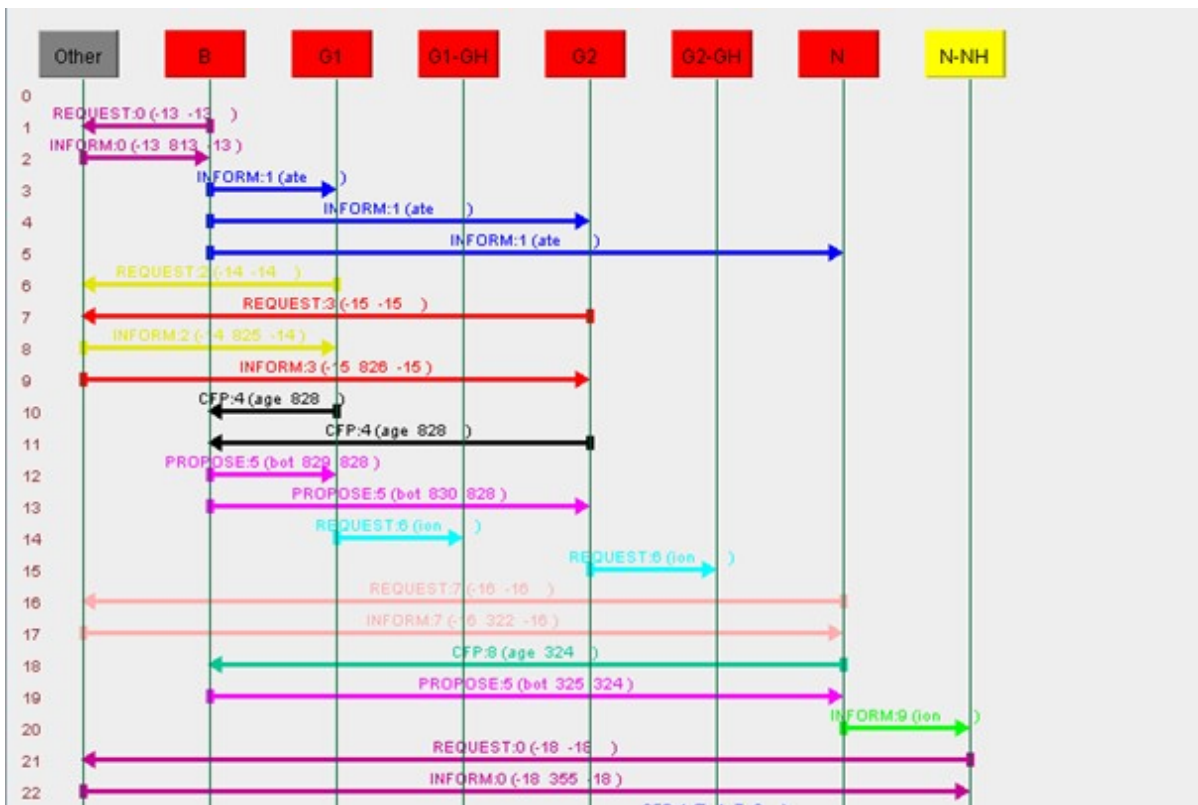


Abbildung 2.14: UML-Sequenzdiagramm der Verhandlungsöffnung (Auszug)

Tabelle 2.4: Beschreibung der Agentenrollen

Rollenschema:	Kapitalnachfrager (Initiator)
Beschreibung:	Die Rolle hat die Aufgabe, den gewünschten Kapitalbedarf unter Einhaltung der Bedingungen und zu bestmöglichen Konditionen im Rahmen einer Verhandlung zu decken.
Protokolle und Aktivitäten:	Anmeldung, Vermittlung, Verhandlung, Finanzierungsprüfung
Rechte:	
- liest:	Projekt, Kontaktliste, Angebote
- ändert:	Startgebote
- erzeugt:	Angebote, Finanzierungsdaten
Pflichten:	
- Tätigkeit:	KAPITALNACHFRAGER= (Anmeldung.[Vermittlung.Verhandlung. Finanzierungsprüfung])
- Sicherheit:	$\min\{\text{Fremdkapitalzins, Renditeforderung}\}$
Rollenschema:	Investor (Teilnehmer)
Beschreibung:	Die Rolle hat die Aufgabe, das benötigte Kapital auf dem Kapitalmarkt abzufragen und unter Einhaltung der Bedingungen und zu bestmöglichen Konditionen im Rahmen einer Verhandlung dem Nachfrager zu offerieren.
Protokolle und Aktivitäten:	Anmeldung, Vermittlung, Verhandlung, Finanzierungsprüfung
Rechte:	
- liest:	Projekt, Kontaktliste, Angebote
- ändert:	-
- erzeugt:	Angebote, Finanzierungsdaten
Pflichten:	
- Tätigkeit:	INVESTOR= (Anmeldung.[Vermittlung.Verhandlung. Finanzierungsprüfung])
- Sicherheit:	$\max\{\text{Gewinn}\}$

Tabelle 2.4: Beschreibung der Agentenrollen (Fortsetzung)

Rollenschema:	Kapitalmarkt (Teilnehmer)
Beschreibung:	Die Rolle hat die Aufgabe, auf Kreditanfragen zu reagieren und das benötigte Kapital unter Berücksichtigung des verbundenen Risikos zu einem bestimmten Zins bereitzustellen.
Protokolle und Aktivitäten:	Anmeldung, Vermittlung
Rechte:	
- liest:	Kontaktliste, Angebote
- ändert:	-
- erzeugt:	Angebote, Finanzierungsdaten
Pflichten:	
- Tätigkeit:	KAPITALMARKT= (Anmeldung.Vermittlung.[Bonitätsprüfung])
- Sicherheit:	$\max\{\text{Gewinn}\}$

Abbildung 2.14 ist ein Ausschnitt eines UML-Sequenzdiagramms des Verhandlungsprotokolls, aufgenommen mit dem von JADE zur Verfügung gestellten Sniffer-Agenten. UML ist eine Abkürzung für Unified Modeling Language, welche zahlreiche Modellieretechniken zur Verfügung stellt. Das in dieser Arbeit genutzte UML-Sequenzdiagramm dient der Darstellung von Methoden und ihrer verwendeten Reihenfolge, die verschiedene Objekte untereinander aufrufen. Die von oben nach unten verlaufenden Linien stellen dabei den Zeitverlauf dar. Der Zeitraum in dem eine Methode ausgeführt wird, wird durch senkrecht verlaufende Blöcke auf den Zeitlinien dargestellt. Methodenaufrufe werden durch Pfeile gekennzeichnet (van Randen u. a., 2016).

Der Sniffer Agent ist Bestandteil der JADE Plattform und ermöglicht die Verfolgung der zwischen den Agenten ausgetauschten Nachrichten. Der Agent stellt diese Information grafisch in Form eines UML-Sequenzdiagramms zur Verfügung. Die Abbildung 2.14 zeigt die Kommunikation der einzelnen Agenten in einer Verhandlung mit einem Kapitalmarkt-Agent (B), einem NachfragerAgent (N), seinem Helfer (N-NH) sowie zwei InvestorAgenten (G1, G2) und ihren Helfern (G1-GH, G2-GH). Nachdem die Agenten registriert sind, fragen G1, G2 und N bei B Fremdkapital an (Zeilen 10, 11 und 18). Der KapitalmarktAgent unterbreitet entsprechende Angebote (Zeilen 12, 13 und 19), die Helfer werden erzeugt und das Startgebot und die jeweiligen Bietuntergrenzen werden berechnet.

Der eigentliche Verhandlungsprozess startet (vgl. Abbildung 2.15). N-NH sendet cfp (call for proposal) an alle Investoren Helfer (zum Beispiel in den Zeilen 56 von N-NH an G1-GH und 59 von N-NH an G2-GH). Diese antworten mit einem Gebot (zum Beispiel geben G1-GH in Zeile 58 und G2-GH in Zeile 61 ein Gebot ab) oder lehnen es ab weiter zu bieten (in Zeile 90 steigt G2-GH aus). Wenn keine neuen Gebote gemacht werden, kann N-NH nach Prüfung der Finanzierungsoptionen das Angebot annehmen oder ablehnen. Hier wird in Zeile 91 das Angebot von Investor G1 angenommen.

Im Anschluss informiert der NachfragerHelfer N-NH den NachfragerAgent N (Zeile 93)

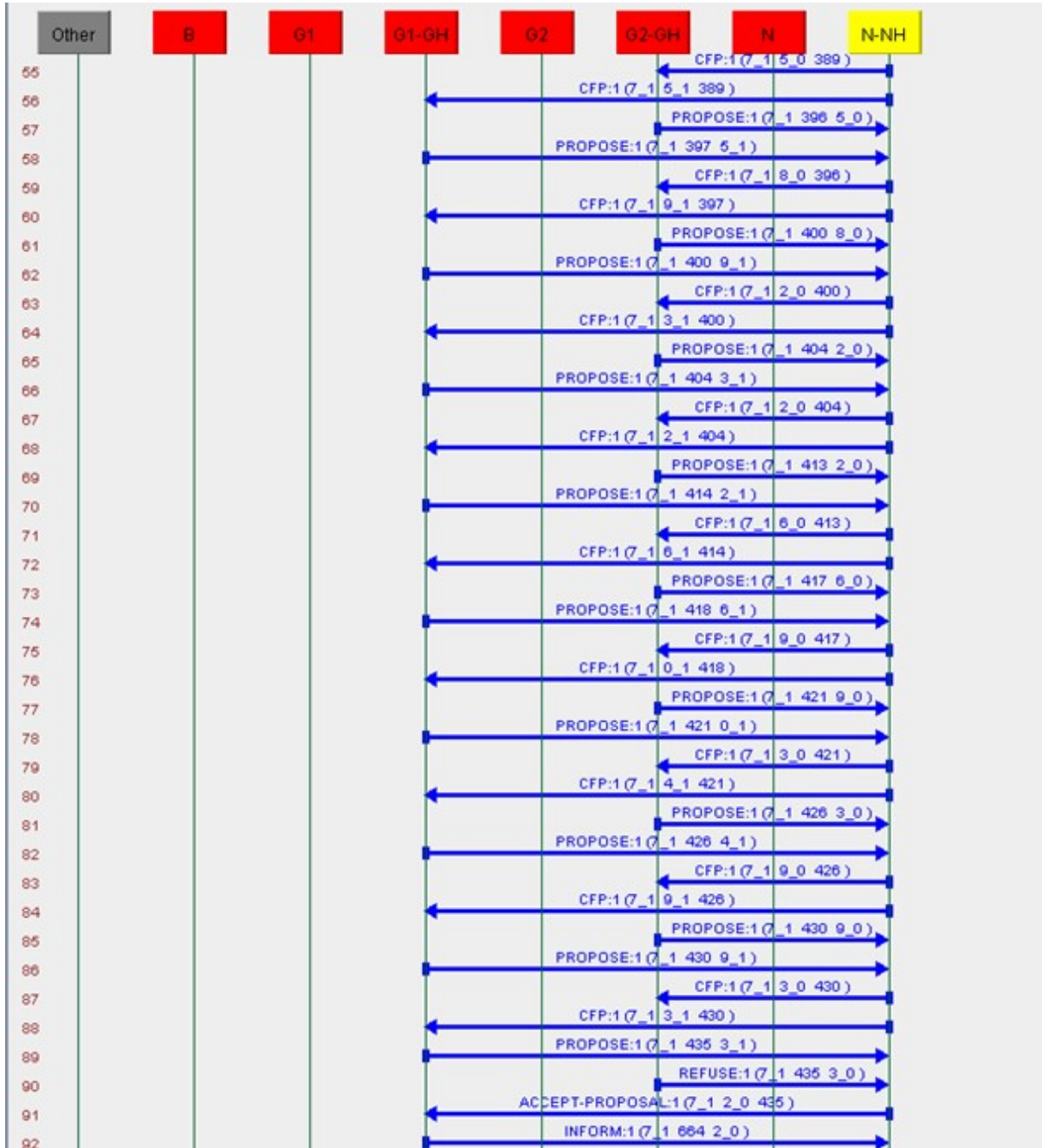


Abbildung 2.15: UML-Sequenzdiagramm der Auktion (Auszug)

und die Verträge kommen zustande (vgl. Abbildung 2.16). Der Investor G1 nimmt das Angebot des KapitalmarktAgenten (B) an (Zeile 98) und verleiht seinerseits zu den in der Auktion verhandelten Konditionen Kapital an den Nachfrager (Zeile 99). Der Prozess ist abgeschlossen sobald die Gelder mit entsprechenden Zinsaufschlägen zurückgezahlt wurden (Zeilen 100-103).

Der Versuch konnte zeigen, dass ein Ergebnis zustande kommt und eine fehlerfreie Kom-

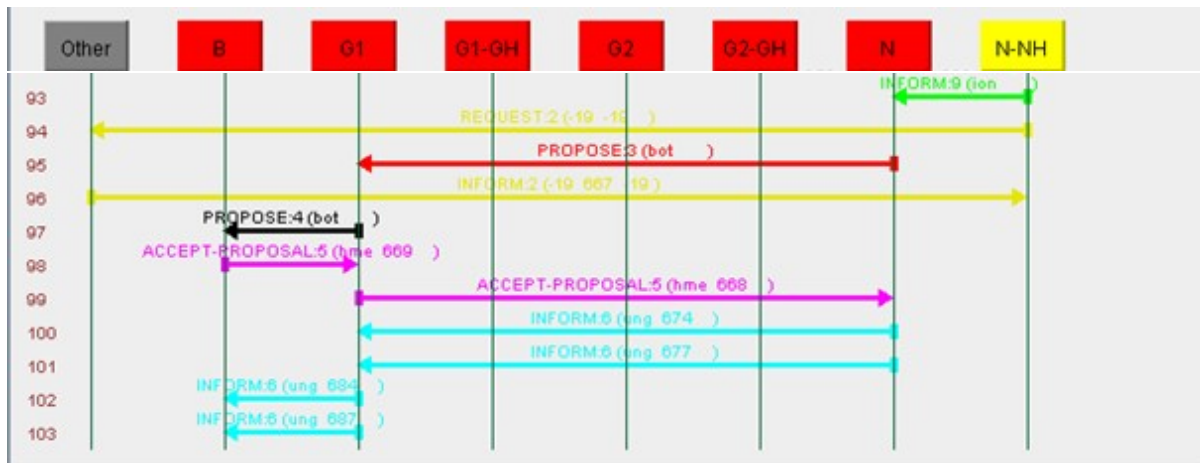


Abbildung 2.16: UML-Sequenzdiagramm der Vertragsabschlüsse (Auszug)

munikation zwischen den Agenten möglich ist. Ferner wurden notwendige Informationen zum richtigen Zeitpunkt an den richtigen Agenten übertragen.

3 Eine Literaturübersicht zum Stand der Technik von Multiagentensystemen im Supply Chain Management

Autoren des Originalbeitrags: Fiedler A., Sackmann D. und Haasis H. D.

Veröffentlicht in: Bierwirth C., Kirschstein T., Sackmann D. (eds) Logistics Management. Lecture Notes in Logistics. 2019, Springer, Cham., S.62-74.

LITERATURE REVIEW ON THE STATE OF THE ART OF MULTI-AGENT SYSTEMS IN SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

3.1 Zusammenfassung

Agentenbasierte Software findet großes Interesse bei Industrie und Forschung. Gründe dafür sind in erster Linie die Effizienz, die Robustheit und die Komplexitätsminimierung solcher Multiagentensysteme. Zudem sind die Einsatzmöglichkeiten vielseitig. Das vorliegende Papier gibt einen Überblick über die verschiedenen Bereiche und Themen, bei denen MAS zum Einsatz kommen und geht speziell der Frage nach, was der Stand der Forschung von MAS im Supply Chain Management ist. Zu diesem Zweck werden die identifizierten Beiträge in der Supply Chain Planungsmatrix klassifiziert und Forschungslücken in der Folge identifiziert.

3.2 Einleitung

In einem zunehmend wettbewerbsintensiven industriellen Umfeld müssen Unternehmen entweder ihr Produktportfolio diversifizieren, um ihr Angebot auf dem Markt zu erweitern, oder sich auf ein Geschäft spezialisieren, um an Effizienz zu gewinnen. Sie stehen daher zunehmend in Kontakt mit einer Vielzahl von Partnern, da nicht die gesamte Produktion und der Vertrieb der Produkte von einem einzigen Unternehmen durchgeführt werden

können. Die Unternehmen bilden somit ein Netzwerk, das allgemein als „Lieferkette“ bezeichnet wird. Das Management dieser Kette wird durch einen Informationsaustausch und eine Umverteilung von Aktivitäten zwischen den verschiedenen Verbindungen, aus denen es besteht, verwirklicht. Das SCM ist seit über zwanzig Jahren ein wichtiger Motor für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Ursprünglich war dieses Konzept lediglich eine Ausweitung der Logistikpraxis auf eine größere Anzahl von Partnern vor oder nach dem Betrieb eines Unternehmens (Bechtel u. Jayaram, 1997). Industrie und Forschung haben Initiativen ergriffen, um Entscheidungsträgern die Einsparungen bewusst zu machen, die durch die Umsetzung kooperativer Beziehungen erzielt werden können. Häufig gibt es organisatorische Barrieren zwischen den Partnern einer solchen Lieferkette und der Informationsfluss kann so weit eingeschränkt sein, dass eine vollständige zentralisierte Kontrolle der Materialflüsse in einer Lieferkette nicht möglich oder wünschenswert ist. Infolgedessen existiert in Unternehmen häufig eine dezentralisierte Kontrolle, um die verschiedenen Vermögenswerte in einer Lieferkette zu verwalten (Lee u. Billington, 1993). Verteilte Lieferketten (Distributed Supply Chains, DSCs) können als Netzwerk autonomer Komponenten definiert werden, die in einem wettbewerbsorientierten oder kollaborativen Umfeld operieren, in dem die Entscheidungsfindung ohne Hierarchie durchgesetzt wird und von jedem Partner Initiativen ergriffen werden, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen (Ghirardi u. a., 2008). Die Planung einer DSC ist ein komplexer Prozess, wo zahlreiche Randbedingungen berücksichtigt werden müssen, einschließlich der Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Organisationseinheiten des Systems. Dabei müssen die Art des zu transportierenden Produkts, die Kategorie der Zielkunden und die Zielgruppe berücksichtigt werden.

Da herkömmliche Ansätze in der Regel monolithisch sind und ihr Konzept zentralisiert ist, basieren die aktuellen Anwendungen auf Multiagentensystemen. Eigenständige Agenten und MAS bieten einen neuen Weg zur Analyse, zum Design und zur Implementierung verschiedenster Anwendungen, da sie Teil der verteilten künstlichen Intelligenz sind und von anderen wissenschaftlichen Disziplinen wie der kognitiven Soziologie und der Sozialpsychologie profitieren. Ein Agent ist in diesem Zusammenhang ein in sich geschlossenes Computersystem, das in einer besonderen Umgebung agiert. Es ist in der Lage, flexibel und autonom zu handeln, um seine erklärten Ziele zu erreichen (Franklin u. Graesser, 1997). Eine Population von Agenten, die entweder zusammen oder gegeneinander arbeiten, wird als Multiagentensystem bezeichnet. Es ist auch möglich, dass beide Formen in einem System vorkommen (Wooldridge, 2009). MAS sind in allen Anwendungsbereichen zu finden, in denen Eigenschaften wie Situiertheit, Offenheit, lokale Kontrolle und Interaktion wichtig sind (Klügl, 2012):

- Systeme, die aus Software- oder Hardware-Einheiten bestehen, welche sich in einer Umgebung befinden und mit dieser und anderen Einheiten interagieren.
- Systeme, in denen die einzelnen Einheiten eigene Ziele verfolgen und neue Einheiten von außen hinzugefügt werden können.
- Systeme, denen eine Verteilung von Kontrollen und Daten innewohnt oder solche, bei denen es zweckmäßig ist, eine Verteilung einzuführen, weil eine zentrale Steuerung

die Komplexität nicht bewältigten kann.

- Systeme, in denen parallele, nicht mit gleicher Geschwindigkeit ablaufende Prozesse zu finden sind.

Die folgende Untersuchung gibt einen Überblick über die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von MAS und beschreibt in einem zweiten Schritt den Einsatz von MAS im SCM.

3.3 Systematische Literaturrecherche

Um einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zum Thema MAS zu erhalten, erfolgte eine systematische Literaturrecherche (SLR) in mehreren Stufen. Dabei handelt es sich um eine etablierte Forschungsmethodik, die dazu beiträgt, bestehendes Wissen auf systematische und transparente Weise zu synthetisieren und die Identifizierung von Forschungslücken und die Formulierung innovativer Forschungsfragen zu unterstützen (Valentine u. Cooper, 2008). Die erste Stufe dient dazu, einen Überblick über die vielseitigen Ausprägungen und Anwendungsbereiche von MAS in der Forschung zu gewinnen. Die so identifizierten Arbeiten werden außerdem nach erfolgter Analyse in Kategorien eingeteilt. In der zweiten Stufe erfolgte eine Recherche mit Fokus auf die Fachrichtung Produktion und Logistik. Das International Journal of Production Research (IJPR) brachte in dieser thematischen Ausrichtung in Stufe 1 die meisten Ergebnisse. Daher konzentrierte sich die Forschung in Stufe 2 mit den Schlüsselwörtern „production, logistics and MAS“ auf diese Zeitschrift. Nach der Kategorisierung dieser Beiträge wurden insbesondere die Artikel der Kategorie SCM untersucht und in der Supply Chain Planning Matrix klassifiziert.

3.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Literaturrecherche werden im Folgenden vorgestellt. Das Vorgehen bei der Recherche wird für beide Stufen erläutert und die anschließende Analyse der identifizierten Arbeiten vorgestellt.

3.4.1 Stufe 1

Das Ziel der SLR in Stufe 1 war es, einen Überblick über die verschiedenen Ausprägungen und Forschungsbereiche im Zusammenhang mit dem Thema MAS zu erhalten. Da die Forschungsaktivitäten und damit die Anzahl der Publikationen in diesem Bereich sehr zahlreich waren, konzentrierte sich die Forschung auf Arbeiten, die entsprechende Literaturanalysen enthalten. Die folgende Tabelle 3.1 beinhaltet die Vorgehensweise, die der SLR zugrunde lag, sowie die Ergebnisse. Die Differenz zwischen der Gesamtzahl der Treffer und den als relevant eingestuften Arbeiten ist auf zwei Ursachen zurückzuführen.

Tabelle 3.1: Verfahren in Stufe 1 der SLR

Begriffe der Literaturrecherche			
multi-agent systems	literature review		
	Survey		
search strategy	Database	Treffer	relevant
multi-agent systems AND literature review	Business Source	21	20
multi-agent systems AND survey	Premier	43	41
<i>Title, abstract, keywords:</i>			
multi-agent systems AND literature review	ScienceDirect	37	14
<i>Title, abstract, keywords:</i>			
multi-agent systems AND survey		102	58
	Summe:	203	133

Zum einen enthielten die Ergebnislisten doppelte Treffer, d. h. Werke, die in beiden Datenbanken erschienen. Zum anderen ergab die Suchstrategie Treffer, die inhaltlich nicht mit dem Thema MAS übereinstimmten. Diese Beiträge wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen. Zur weiteren Analyse wurden die Arbeiten nach ihren thematischen Schwerpunkten eingeordnet. Hierbei ergab die inhaltliche Auseinandersetzung folgende Kategorien: Informationstechnologie, Produktion und Logistik, Volkswirtschaft, Energie, Medizin, Netzwerke, Geografie, Verhaltenswissenschaften, Verkehr, Bauwesen und Architektur sowie Biologie. Nicht jedes Werk konnte eindeutig nur einer Kategorie zugeordnet werden. Einige Arbeiten erstreckten sich über mehrere Themenbereiche und wurden mehreren Kategorien zugeordnet. Die Grafik in Abbildung 3.1 zeigt, dass die Mehrzahl der untersuchten Beiträge das Thema MAS aus der Sicht der Informatik betrachtete. Auch im Bereich der Produktion und Logistik hat das Thema große Beachtung gefunden.

Im Bereich Informationstechnik (IT) findet die Auseinandersetzung mit MAS in verschiedenen Fachgebieten statt. Die Arbeiten wurden im Zuge der Analyse entsprechend den nachfolgenden Gebieten zugeordnet: Programmierung, Künstliche Intelligenz, Simulation, Robotik, Selbstorganisation von Agenten, Data Mining und Wissensmanagement, Sicherheit und Komplexität.

Arbeiten, die sich mit Aspekten des Stadtverkehrs und der Verkehrspolitik befassen, sind in der Kategorie Verkehr (Trans.) zusammengefasst. Die Kategorie Netzwerke (Network) umfasst Themen wie die Beziehung zwischen MAS und sozialen Netzwerken, Netzwerkmanagement oder auch drahtlose Sensornetzwerke. Themen wie Energiesysteme und –sicherheit, Ladezustand von Batterien, Spannungsanalyse von Stromnetzen oder auch Smart-Grid sind der Kategorie Energie zugeordnet. Die Untersuchung der Wechselwirkung zwischen Bevölkerung und Umwelt, Untersuchungen zur Abfallpolitik und zur Stadtentwicklung sind die Themen der Kategorie Volkswirtschaft (Eco.).

In der Kategorie Bau und Architektur (Con. / Arch.) geht es um die Anwendung von MAS im Gebäudebetrieb und für die Auswahl von Auftragnehmern, um eine Plattform für die wirtschaftlichen und ökologischen Vorteile von Gebäudesanierungen und um die

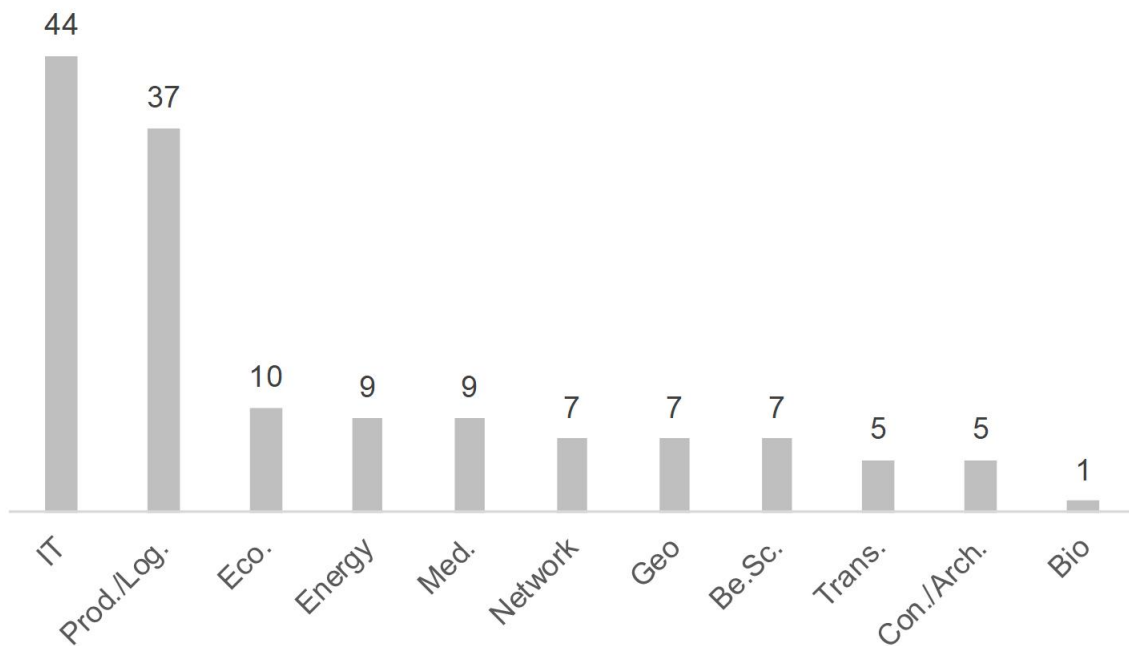


Abbildung 3.1: Verteilung der Beiträge auf die Themen (eigene Darstellung)

Untersuchung von Eigenschaften von Wasserversorgungssystemen.

MAS kommen auch in der Medizin (Med.) vielseitig zum Einsatz, z. B. zum Krebs-Screening, als Diabetes-Simulationssoftware, zur Aufgabenplanung in Gesundheitsorganisation oder auch zur Abbildung von Tuberkulose-Modellen. In der Kategorie Geografie (Geo) wird sich mit der Simulation von Mensch-Umwelt-Interaktionen, mit der Lokalisierung von Zonen mit hohem Volumen in Gas- und Öllagerstätten oder auch mit Bodenanalysen und Problemen bei der Landnutzungsänderung beschäftigt. Die Arbeit im Bereich Biologie (Bio) befasst sich mit Modellen für riesige Mengen von experimentellen Daten. MAS werden im Fachgebiet Verhaltenswissenschaft (Be.Sc.) zum Beispiel zur Risikoanalyse von religiösem Extremismus, zur Untersuchung der Akzeptanz von Sprachassistenten, zur Akzeptanz von Wasserwiederverwendung oder auch zur Analyse von Wahlen und Wählerverhalten eingesetzt.

Die in Stufe 1 der Literaturanalyse soeben vorgestellten Beiträge verteilen sich auf 89 verschiedene Zeitschriften und Konferenzbeiträge. Von denen 15 Publikationsorgane auf der Gesamtliste der Fachzeitschriften in VHB-JOURQUAL3 gelistet sind. Tabelle 3.2 zeigt diese Zeitschriften mit der entsprechenden Bewertung und der Anzahl der identifizierten Beiträge. Die meisten Beiträge stammen aus dem International Journal of Production Research (IJPR). Alle 12 dieser Artikel konnten der Kategorie Produktion und Logistik zugeordnet werden. In der folgenden Stufe 2 soll aufgrund der hohen Anzahl der Treffer und der fachlichen Ausrichtung der Autoren die Recherche zu MAS in Produktion und Logistik vertieft werden. Wegen der relativ hohen Trefferzahl der noch allgemein gehal-

Tabelle 3.2: Liste der Zeitschriften mit JQ3-Rating

Journal	Rating	Hits
IIE Transactions	A	1
Journal of Operations Management	A	1
ACM Computing Surveys	B	3
Annals of Operations Research	B	1
Artificial Intelligence	B	1
Decision Support Systems	B	1
Energy Policy	B	1
International Journal of Production Economics	B	3
International Journal of Production Research	B	12
Journal of Cleaner Production	B	1
Computers in Industry	C	2
Electronic Commerce Research and Applications	C	1
IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics	C	3
Journal of Enterprise Information Management	C	1
Computer Networks	k.R.	1

tenen Recherche der vorangegangenen Stufe konzentriert sich die Analyse nun auf das IJPR.

3.4.2 Stufe 2

Die Recherche im IJPR mit den Suchbegriffen „multi-agent system“ ergab zum Zeitpunkt der Anfrage 142 Treffer, von denen 133 als relevant eingestuft wurden. Die gefundenen Beiträge wurden ebenfalls kategorisiert, um die Themenschwerpunkte anhand der Anzahl der Beiträge feststellen zu können. Die Kategorien, die aus den Inhalten der Beiträge abgeleitet werden konnten, sind in Abbildung 3.2 dargestellt.

Nachfolgend werden hier, um den Umfang überschaubar zu gestalten, nur die Arbeiten der Kategorie Supply Chain Management (SCM) näher erläutert. Die 30 identifizierten Arbeiten der Kategorie wurden zum einen nach SCM Aspekten analysiert und zum anderen unter MAS-relevanten Aspekten betrachtet.

3.4.3 MAS Klassifikation

Wenn mehrere Agenten zusammenarbeiten, gibt es einige zusätzliche Aufgaben zu bewältigen, die nicht direkt produktiv sind, aber dazu dienen, die Form dieser Zusammenarbeit zu verbessern (Ferber, 2001). Aus der Perspektive von MAS ist die Koordination ein Prozess, bei dem die Agenten aktiv werden, um sicherzustellen, dass eine Gemeinschaft einzelner Agenten kohärent handelt (Nwana, 1996). Koordinationstechniken werden hier

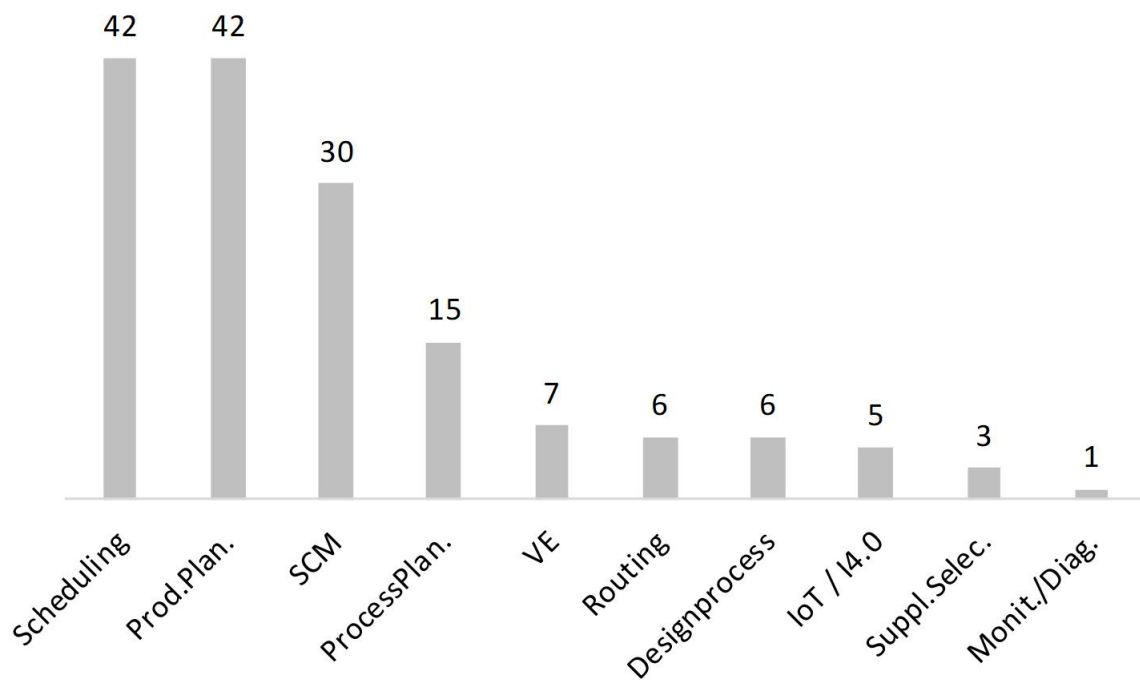


Abbildung 3.2: Verteilung der Beiträge für MAS in der IJPR (eigene Darstellung)

nach den drei Dimensionen „control, structure and attitude“ klassifiziert ([Davidsson u. a., 2005](#)).

In der Dimension „control“ werden die Autoritätsbeziehungen zwischen den Agenten erfasst, die entweder zentral oder dezentral sind. Die MAS-Struktur entspricht der Menge der Agenten, aus denen sich das MAS zusammensetzt, ihren Rollen und den Kommunikationswegen zwischen den Agenten. Die Struktur ist entweder vordefiniert, d. h. statisch (die Anzahl der Agenten oder ihre Rollen ändern sich während der Ausführung nicht) oder dynamisch. Die Dimension „attitude“ schließlich erfasst das Verhalten der Agenten, das entweder als wohlwollend (kooperativ) eingestuft wird, d. h., dass soziale Gesetze und globale Ziele eingehalten werden oder egoistisch (kompetitiv), wenn die individuellen Ziele der Agenten z. B. in einer Marktwirtschaft ihr Verhalten bestimmen.

Bevor die Klassifizierung nach MAS-Gesichtspunkten erfolgen kann, muss festgehalten werden, dass von den 30 zuvor identifizierten Beiträgen lediglich 16 ein MAS entwickelt, angewendet oder modifiziert haben. Die restlichen 14 Beiträge lassen sich nicht in die vorgeschlagene Klassifizierung einordnen, da es sich entweder um Literaturübersichten handelt oder um Arbeiten, die vordergründig SC-Aspekte behandeln und MAS nur als eine mögliche Technik zur Problemlösung oder Entscheidungsunterstützung erwähnen ohne diese anzuwenden. Die Ergebnisse der Analyse sind in [Abbildung 3.3](#) dargestellt.

Die Mehrzahl der Projekte setzt demnach auf eine dezentrale Kontrolle. [Dai u. a. \(2014\)](#) verwenden ein Distributed Multiagent System (DMAS) für die Simulation von Lieferketten. Sie schlagen einen methodischen Rahmen für die Supply-Chain-Modellierung vor, der

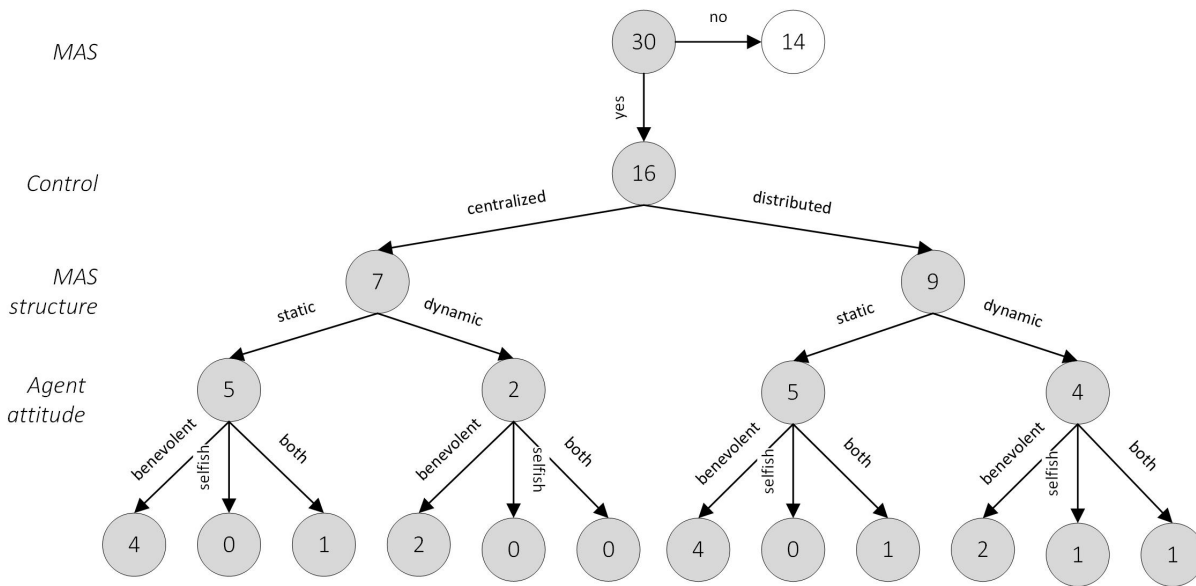


Abbildung 3.3: Anzahl der Beiträge nach MAS-Klassifizierung (eigene Darstellung in Anlehnung an Davidsson u. a. (2005))

auf fraktalem Denken und Multiagenten-Technologie für die verteilte Simulation basiert. Chen u. Nof (2010) wiederum verwenden MAS, um die Leistungsfähigkeit eines dezentralisierten conflict and error detection and prediction model (CEDPM) in verschiedenen Netzwerken zu untersuchen. Zu diesem Zweck entwickeln die Autoren ein conflict and error detection and prediction protocol (CEDPP). Das CEDPP ist ein agentenbasiertes Protokoll, das definiert, wie die Komponenten des CEDPM miteinander kommunizieren. Darüber hinaus nutzen nur 37,5% der Anwendungen dynamische MAS-Strukturen, was eine oft zitierte Stärke der Agententechnologie ist. Bei den Agenten überwiegen kooperative Verhaltensweisen. Das von Caridi u. a. (2005) entwickelte MAS für den CPFR-Prozess (Collaborative Planning Forecasting and Replenishment) umfasst sogenannte intelligente Agenten. Im „lernenden“ Modell sind die Agenten intelligenter als in den bisherigen Modellen, weil sie aus der Vergangenheit lernen können. Das Lernmodell wurde insbesondere für das Management eines Produktlebenszyklus entwickelt. Das Modell ist in der Lage, den Moment zu erfassen, in dem ein Produkt ausgereift ist, während ein anderes Produkt schrittweise eingeführt wird. Im Gegensatz dazu verwenden Chan u. Chan (2009) eine statische MAS-Struktur. In ihrem agentenbasierten Modell führen sie Liefervolumen und eine Flexibilität bei der Laufzeit ein, um in einer verteilten Lieferkette, die einer unsicheren Nachfrage und einem unsicheren Angebot ausgesetzt ist, die Kosten zu senken und die Auslastung zu verbessern.

Zusätzlich zu den Koordinierungstechniken wurde eine Analyse des Reifegrades der MAS durchgeführt, d. h. wie vollständig und validiert eine Anwendung ist. van Parunak (2000) und weiterentwickelt von Davidsson u. a. (2005) schlagen folgende Reifegrade vor: Der niedrigste Reifegrad ist der konzeptionelle Vorschlag (conceptual proposal), der nächste Grad sind Simulationsexperimente, die Stufe Feldtest zeigt an, dass der Test in der Umgebung durchgeführt wurde, in der die Anwendung eingesetzt werden soll und die

letzte Stufe, das anwendungsbereite System, zeigt an, dass das System in der realen Welt implementiert wurde und im Einsatz war oder ist. Abbildung 3.4 veranschaulicht die Verteilung, aus der hervorgeht, dass die meisten MAS sich in der Phase befinden, wo sie in einer Simulationsumgebung getestet werden.

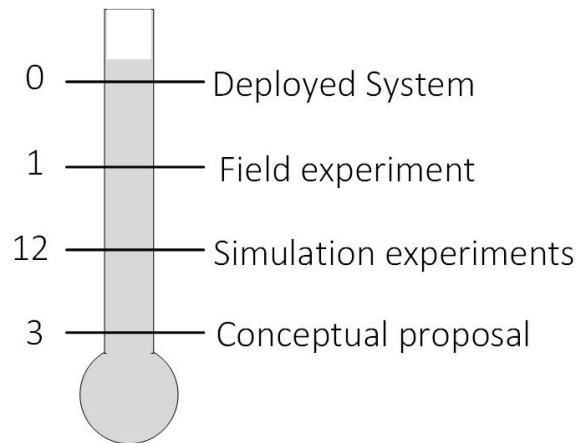


Abbildung 3.4: Anzahl der Beiträge je Reifegrad (eigene Darstellung in Anlehnung an [van Parunak \(2000\)](#))

Die drei konzeptuellen Arbeiten stammen von [Wang u. a. \(2011\)](#), [Mishra u. a. \(2012\)](#) und [Huang u. a. \(2006\)](#). [Wang u. a. \(2011\)](#) schlagen beispielsweise einen Ansatz zur ontologiebasierten Wissensrepräsentation vor mit dem Ziel, eine semantisch interoperabel Umgebung für die Realisierung automatisierter Verhandlungen in virtuellen Unternehmen bereitzustellen. Das vorgeschlagene Konzept kann von einem MAS umgesetzt werden. Die Autoren entwickeln zwei Interaktionsprotokolle für Agenten, um Nachrichten auszutauschen und Angebote auszuhandeln.

Die Entwicklung von [Blos u. a. \(2018\)](#) ist bereits reif für die Durchführung eines Feldexperiments. Die Fallstudie basiert auf einer Fluggesellschaft, die Güter von China nach Brasilien transportiert. Auf der Grundlage dieser Daten wurden zwei Szenarien erstellt, um das vorgeschlagene Rahmenwerk für die Gestaltung des Managements von Lieferkettenunterbrechungen zu testen.

Die zwölf Beiträge ([Dai u. a. 2014](#); [Yu u. a. 2017a](#); [Shukla u. Kiridena 2016](#); [Long 2014](#); [Chan u. Chan 2010](#); [Li u. Sheng 2011](#); [Caridi u. a. 2005](#); [Confessore u. a. 2008](#); [Lu u. a. 2005](#); [Enjalbert u. a. 2011](#); [Chen u. Nof 2010](#); [Allwood u. Lee 2005](#)) in denen Simulationen durchgeführt wurden, werden im folgenden Kapitel ausführlicher erläutert.

3.4.4 SCM Klassifikation

Die 30 Beiträge wurden nun in die Supply Chain Planning Matrix nach [Fleischmann u. a. \(2005\)](#) und [Rohde u. a. \(2000\)](#) eingeordnet. Die Supply Chain Planning Matrix klassifiziert die Planungsaufgaben in die beiden Dimensionen „Planungshorizont“ und „Supply-Chain-Prozess,“. Abbildung 3.5 zeigt die typischen Aufgaben, die in den meisten Arten

von Supply Chains auftreten und ihre Entsprechung im Planungshorizont. Wie der Abbildung zu entnehmen, befassen sich die meisten Arbeiten mit Themen des

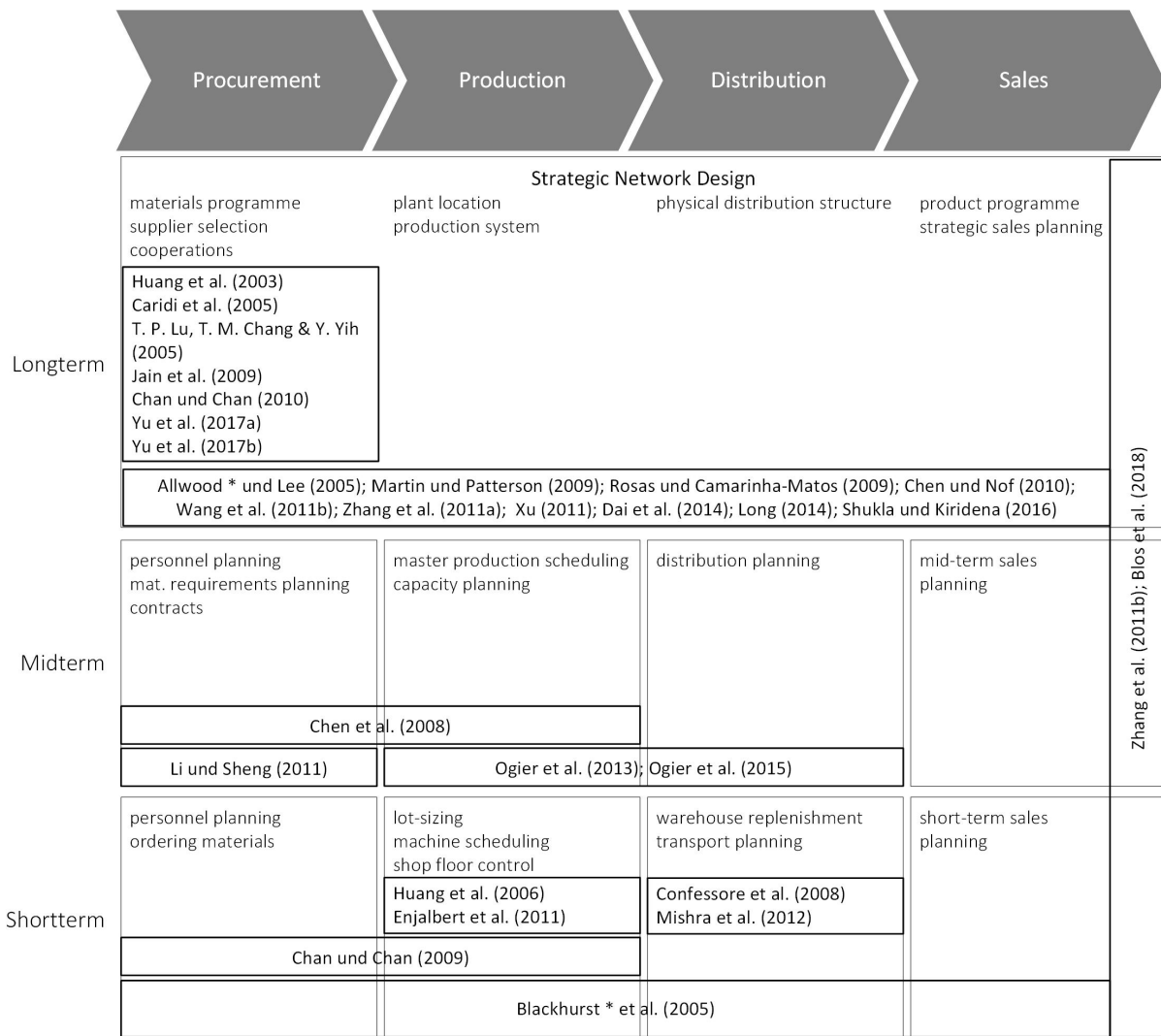


Abbildung 3.5: Einordnung der Studien in die Supply Chain Planning Matrix nach Fleischmann u. a. (2005)

langfristigen SCM. Wobei insbesondere der Kooperation der beteiligten Partner und der Lieferantenauswahl viel Aufmerksamkeit geschenkt wird, wie nachfolgend exemplarisch erläutert. Huang u. a. (2003) zum Beispiel überprüfen die Forschung zu den Auswirkungen der gemeinsamen Nutzung von Produktionsinformationen auf die Dynamik der Lieferkette. Der Zweck der Überprüfung besteht darin, die Auswirkungen auf die Gestaltung und das Management der Lieferkette zu ermitteln, die derzeitige Forschungsgrenze aufzuzeigen und den künftigen Trend in diesem Bereich zu untersuchen. Caridi u. a. (2005) wiederum schlagen zwei Multiagentenmodelle vor und testen diese für den Einsatz im Collaborative Planning Forecasting and Replenishment (CPFR) Prozess (Austausch von Absatz- und Auftragsprognosen innerhalb der Lieferkette). Lu u. a. (2005)

schlagen ein agentenbasiertes Collaborative-Production-Framework vor, um die Flexibilität und Echtzeit-Reaktionsfähigkeit eines Supply Chain Systems zu gewährleisten. [Jain u. a. \(2009\)](#) analysieren, wie verschiedene Modellierungstechniken wie Agententechnologie, Petri-Netze, Fuzzy-Logik und Data-Mining eingesetzt werden können, um dynamische Supply Chain Konfigurationen in Bezug auf lieferantenbezogene Probleme zu unterstützen. [Chan u. Chan \(2010\)](#) geben einen Überblick über Arbeiten zum SCM, die sich auf die Koordination zwischen den Mitgliedern der Lieferkette in Bezug auf die Dynamik der Lieferkette beziehen. Der Schwerpunkt liegt auf Bestandsführungsproblemen. [Yu u. a. \(2017a\)](#) stellen ein Verhandlungsprotokoll speziell für das Problem der Auswahl von Multi-Produkt-Lieferanten vor. Das Verhandlungsprotokoll ist ein hybrides Multiagentenprotokoll des kombinatorischen Beschaffungsauktionsprotokolls und des multi-bilateralen Verhandlungsprotokolls. [Yu u. a. \(2017b\)](#) präsentieren ein MAS um aufzuzeigen, wie sich unterschiedliche Ebenen der Zusammenarbeit auf das Servicelevel auswirken und wie Cloud-Computing diese Ebenen der Zusammenarbeit fördern kann.

Eine ganze Reihe von Arbeiten befassen sich innerhalb der langfristigen Planung mit dem SC-Netzwerk Design. [Allwood u. Lee \(2005\)](#) beispielsweise schlagen einen Agenten vor, der die Wettbewerbsfähigkeit in Bezug auf die Supply Chain Netzwerk Dynamik untersuchen soll. [Martin u. Patterson \(2009\)](#) untersuchen die Verwendung gemeinsamer Messgrößen, um zu ermitteln, welche für die Messung der Leistung am nützlichsten sind, wenn Unternehmen SCM-Praktiken implementieren. Die Autoren treibt die Suche nach geeigneten Messgrößen für die Verbindung zwischen der Lieferkette und der finanziellen Leistung eines Unternehmens. [Rosas u. Camarinha-Matos \(2009\)](#) stellen einen Modellierungsansatz vor, um zu bewerten, wie bereit ein Unternehmen ist, sich einem kollaborativen Netzwerk anzuschließen. Das Ziel der Forschung von [Chen u. Nof \(2010\)](#) ist es, die Leistungsfähigkeit eines neu entwickelten dezentralen Konflikt-, Fehlererkennung- und Vorhersagemodells (CEDPM) in verschiedenen Netzwerken zu untersuchen. [Wang u. a. \(2011\)](#) befassen sich mit Verhandlungswissen und stellen einen ontologiebasierten Ansatz zur Wissensrepräsentation vor, um eine semantische interoperable Umgebung zur Realisierung automatischer Verhandlungen in der virtuellen Unternehmen (VE) zu schaffen. [Xu \(2011\)](#) und [Zhang u. a. \(2011a\)](#) befassen sich mit Qualitätsaspekten der Lieferkette. Zu diesem Zweck wurden Arbeiten zur Qualitätskoordination in der Lieferkette, zur Technologieanwendung, zum Risikomanagement in der Lieferkette und zur Zuverlässigkeitskontrolle untersucht. [Dai u. a. \(2014\)](#) und [Long \(2014\)](#) befassen sich mit Supply Chain Modellierung und Simulation. Dai u.a. auf Basis einer fraktalen Perspektive und Long mittels Integration von agentenbasierter verteilter Simulation und eines verbesserten SCOR-Modells. Ebenso befassen sich [Shukla u. Kiridena \(2016\)](#) mit der Konfiguration von Supply Chain Netzwerken und schlagen ein entsprechendes Framework vor.

Lediglich vier Arbeiten befassen sich mit MAS für mittelfristige SC-Planungsprobleme. [Chen u. a. \(2008\)](#) entwickeln ein Ressourcenplanungsmodell mit zwei profitzentrierten Fabriken. Das vorgeschlagene Modell ermöglicht eine kollaborative Integration zur Ressourcen- und Nachfragesteuerung. [Li u. Sheng \(2011\)](#) schlagen ein Multiagentenmodell vor, dass ein Preisverhandlungssystem integriert, welches auf der Verwendung intelligenter Agenten basiert, die in der Lage sind, Informationsunsicherheiten zu verarbeiten. Das von [Ogier u. a. \(2013\)](#) und [\(2015\)](#) vorgestellte Modell eignet sich für die Planung der Produktion, der

Transporte und der Lageraktivitäten in einer Lieferkette auf taktischer Ebene für einen begrenzten Horizont.

Kurzfristige SC-Planungsprobleme sind das Thema der folgenden Arbeiten. [Huang u. a. \(2006\)](#) bieten eine Erweiterung für das Affected Operations Rescheduling (AOR) an. [Enjalbert u. a. \(2011\)](#) entwickeln ein verteiltes Simulationswerkzeug zur Machbarkeitsbewertung von standortübergreifender Terminierung. [Blackhurst u. a. \(2005\)](#) analysieren in ihrer Arbeit flexible Rekonfigurationstools für die Supply Chain in Echtzeit. [Chan u. Chan \(2009\)](#) untersuchen die Auswirkungen von verhandlungsbasiertem Informationsaustausch in einer verteilten Lieferkette für die Auftragsfertigung in einer Mehrperioden- und Multiproduktumgebung, die als MAS modelliert ist. [Confessore u. a. \(2008\)](#) unterbreiten den Vorschlag einer schnellen Berechnungsmethode für die Preisgestaltung eines Lieferservices in einem Logistiknetzwerk. Ziel ist es, eine unterstützende Methode für eine effektive Interaktion zwischen Logistikdienstleistern und Kunden zu entwickeln. [Mishra u. a. \(2012\)](#) stellen eine Multi-Agenten-Architektur für Recycling und Rückwärtslogistik vor und betrachten Aspekte wie Abfallklassifizierung, Recycling, Logistik und Wiederverwendung von Produkten.

[Zhang u. a. \(2011b\)](#) und [Blos u. a. \(2018\)](#) befassen sich im Allgemeinen mit MAS im SCM. Eine Überprüfung und Klassifizierung von Petrinetzanwendungen für das SCM bieten [Zhang u. a. \(2011b\)](#) und [Blos u. a. \(2018\)](#) zeigen einen Rahmen für die Modellierung, Analyse, Kontrolle und Überwachung einer robusten und globalen Lieferkette sowie die Gestaltung und Integration von Modellen mit Petrinetzen und agentenbasierten Modellen für das Störungsmanagement.

3.5 Fazit

Diese Arbeit bietet einen detaillierten Einblick zum Stand der Forschung agentenbasierter Modellierungs- und Simulationskonzepte und formuliert eine Übersicht über die Verwendung von MAS im Kontext des Supply Chain Managements. Die Analyse der Literatur erfolgte in zwei Stufen. Die Ergebnisse der Stufe 1 verdeutlichen, dass agentengestützte Modellierungs- und Simulationstechniken zur Darstellung sozialer, wirtschaftlicher, ökologischer, medizinischer, geschäftlicher und ähnlicher Systeme zum Einsatz kommen, um Computer assistierte Unterstützung bei der Problemlösung oder Verbesserung der kognitiven Fähigkeiten zu ermöglichen.

Die Recherche im IJPR in Stufe 2 zeigte deutlich, dass die Anwendungsmöglichkeiten mit Fokus auf den Bereich Produktion und Logistik sehr vielfältig sind. Ausgehend von dieser Analyse wurden die Arbeiten mit Schwerpunkt SCM herausgegriffen und in die Supply Chain Planning Matrix eingeordnet. Dabei traten deutliche Lücken bei der Abdeckung der einzelnen Planungshorizonte und Prozesse zutage. Bei den langfristigen Planungsaufgaben betrifft dies insbesondere die Auswahl eines Produktionssystems, die Standortplanung, die Gestaltung eines Distributionsnetzes und Produktprogramms sowie die strategische Absatzplanung. Auf mittelfristiger Ebene fand die Distributionsplanung und die taktische Absatzplanung keine Beachtung, dies gilt ebenso für die Absatzplanung auf operativer

Ebene. Gründe hierfür könnten zum einen an der Art der Literaturrecherche mit Fokussierung auf nur ein Journal liegen oder zum anderen sind möglicherweise MAS keine geeignete Methode mit diesen Planungsproblemen umzugehen. Das sollte in folgenden Arbeiten untersucht werden, ebenso wie die Möglichkeit, dass die genannten Lücken im Zusammenhang mit MAS noch nicht untersucht wurden.

4 Nachhaltiges Supply Chain Finance

Autorin des Originalbeitrags: Fiedler A.

Veröffentlicht in: Wellbrock, W. und Ludin, D. (eds) Nachhaltiger Konsum: Best Practices aus Wissenschaft, Unternehmenspraxis, Gesellschaft, Verwaltung und Politik. Springer, Wiesbaden. S. 363-374.

NACHHALTIGES SUPPLY CHAIN FINANCE

4.1 Zusammenfassung

In der Supply Chain Finance Forschung und Praxis besteht ein wachsendes Interesse daran zu zeigen, wie Supply Chain Finance Lösungen zur Förderung der Nachhaltigkeitsleistung von Supply Chains beitragen. Die Forschung über nachhaltiges Supply Chain Finance ist jedoch noch spärlich; sowohl Wissenschaftler als auch Manager sind dabei, den bedeutenden wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Wert, der hinter diesem Konzept steht, zu erkennen. Um dieses aufkommende Thema weiter zu untersuchen, wird in diesem Beitrag beleuchtet, wie nachhaltiges Supply Chain Finance dazu beitragen kann, nachhaltige Supply Chain Enabler zu fördern und nachhaltige Supply Chain Barrieren abzuschwächen, was wiederum die nachhaltige Supply Chain Leistung verbessert. Neben einem Überblick zum Stand der Forschung werden Technologien wie Blockchain und Multiagentensysteme in diesem Zusammenhang beleuchtet und ein agentenbasierter Ansatz für Supply Chain Finance vorgeschlagen.

4.2 Sustainable Supply Chain Finance

Innovationen in der Lieferkette wie Barcodes, RFID (radio frequency identification), Cross-Docking, und Just-in-time-Lieferung haben dazu beigetragen, dass die Logistik ein entscheidender Faktor für die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens ist ([Ellram 1991](#); [Bowersox u. Closs 1996](#); [Mentzer u. a. 2004](#); [Fugate u. a. 2010](#)). Die Anwendung dieser Instrumente beschränkt sich traditionell auf die Optimierung des physischen Bestandes und die Informationsflüsse. Die Potenziale, die im Management des dritten logistischen Flusses den Finanzen verborgen sind, wurden dagegen erst seit den 2000er-Jahren intensiver beleuchtet ([Gomm 2008](#); [Hofmann 2009](#); [Pfohl u. Gomm 2009](#); [Hofmann u. Kotzab 2010](#);

Gupta u. Dutta 2011). SCF zielt auf den Finanzfluss ab und ermöglicht es einkaufenden Unternehmen und ihren Zulieferern, das Betriebskapital zu verbessern und die Kosten zu senken.

Zeitgleich mit der Entwicklung des SCF hat sich das Thema Nachhaltigkeit aus einem Randbereich der SCM-Forschung in den Mainstream verlagert und ist heute ein Bereich mit bedeutenden Forschungsaktivitäten. Wertschöpfungsketten werden heute zunehmend in Hinblick auf ökonomische, ökologische und soziale Aspekte konzipiert und designt. Die Bemühungen um nachhaltige Lieferketten sollten sich nicht auf die Güter- und Informationsflüsse beschränken, sondern die Finanzen als entscheidenden Faktor miteinbeziehen. Unter nachhaltigem SCF werden Praktiken und Techniken verstanden, die Handelstransaktionen in einer Weise unterstützen, dass negative Auswirkungen minimiert und ökologische, soziale und wirtschaftliche Vorteile für alle Supply Chain Akteure geschaffen werden (Bancilhon u. a., 2018). In der SCF-Forschung und -Praxis besteht ein wachsendes Interesse, daran zu zeigen, wie diese Lösungen zur Förderung der Nachhaltigkeitsleistung von Supply Chains beitragen. Die Forschung über Sustainable Supply Chain Finance (SSCF) ist jedoch noch spärlich; sowohl Wissenschaftler als auch Manager sind dabei, den bedeutenden wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Wert, der hinter diesem Konzept steht, zu erkennen. Dabei gibt es gute Gründe in SSCF zu investieren.

4.2.1 Gründe für Sustainable Supply Chain Finance

Eine Untersuchung von McKinsey stellte fest, dass der SCF-Markt von 2010 bis 2014 ein Wachstum von 20 Prozent und von 2015 bis 2019 ein prognostiziertes Wachstum von 15 Prozent pro Jahr aufwies. Im Gegensatz dazu wird erwartet, dass die traditionelle Handelsfinanzierung nur ein geringes oder gar kein Wachstum aufweisen wird (McKinsey, 2015).

Ein Grund hierfür ist die rasante Entwicklung der Digitalisierung, die auch vor der Finanzwirtschaft nicht halt macht. Sogenannte FinTechs stellen technologiegestützte Finanzplattformen für die Lieferkette bereit, die das Einbinden von Lieferanten und das Forderungsmanagement erleichtern. Es wird davon ausgegangen, dass die Eliminierung von Papier bei der Handelsfinanzierung erhebliche Möglichkeiten zur Kostensenkung bietet, z. B. durch die Senkung der Kosten für die Einhaltung von Vorschriften und den verbesserten Zugang zu Kapital für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) (Tsai u. Peng, 2017).

Die Distributed-Ledger-Technologie (z.B. Blockchain) ist eine weitere vielversprechende Technologie für das SSCF, sie kann eine bessere Überprüfung der Nachhaltigkeitsleistung ermöglichen (Chod u. a. 2017; Hofmann u. a. 2018). Hierbei ist es mehreren Parteien möglich, Transaktionen verifizierbar und dauerhaft aufzuzeichnen. Das Hauptbuch ist dezentralisiert und nicht im Besitz einer einzigen Partei. Smart Contracts, automatisiert ablaufende Verträge, bei denen die Konditionen zwischen den Parteien als Code programmiert sind, können mithilfe dieser Technologie umgesetzt werden.

Solche automatisierte Abläufe lassen sich auch mithilfe von Multiagentensystemen realisieren. Die dahinterstehende Technologie ist länger als die Distributed-Ledger-Technologie

im Einsatz, und damit ergeben sich in der praktischen Umsetzung weniger Hindernisse (Barbati u. a. 2012; Hsieh 2015).

Der SCF-Markt boomt, weil er für alle Akteure der Supply Chain attraktiv ist. Einkäufer und Lieferanten erhalten Zugang zu Betriebskapital und flexiblen Cash-Management-Lösungen, während Banken durch die Bereitstellung kurzfristiger Finanzierungen Einnahmen erzielen. Alle Unternehmen, insbesondere Lieferanten in bargeldarmen Branchen, benötigen Betriebskapital, um ihre täglichen Ausgaben zu decken. KMU haben größere Schwierigkeiten beim Zugang zu Handelsfinanzierungen als Großunternehmen, ebenso ergeht es Unternehmen in Schwellenländern und Firmen in Besitz von Frauen (Asian Development Bank, 2017b). In globalen Lieferketten haben große Einkäufer die Verantwortung, die Lieferanten fair zu behandeln und ihre finanzielle Nachhaltigkeit zu unterstützen. Der Zugang zu Handelsfinanzierung und Betriebskapital kann dabei Teil der Lösung sein. Finanzdienstleister entwickeln und erproben innovative Lösungen, um ihren Kunden und Investoren nachhaltige Finanzprodukte für die Lieferkette anzubieten. Zum Beispiel wurde von der Deutschen Bank und der Asiatischen Entwicklungsbank ein Programm entwickelt, um Lieferanten jährlich mehr als 200 Millionen US-Dollar für die Finanzierung der Lieferkette zur Verfügung zu stellen. Das Programm konzentriert sich auf KMU-Zulieferer aus Bangladesch, China, Indien, Sri Lanka und Vietnam (Asian Development Bank, 2017a). Die Verfügbarkeit von Nachhaltigkeitsdaten von Lieferanten ist ein kritischer Faktor und ein wichtiger Beitrag zur nachhaltigen Finanzierung der Lieferkette. Aufgrund von Veränderungen im regulatorischen Umfeld wird die Datenerfassung sowie deren Prüfung und Qualität gefördert. Die Daten zur Nachhaltigkeitsleistung sind zwar nicht perfekt, durch den Einsatz von modernen Werkzeugen wie künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen verbessert sich die Zuverlässigkeit allerdings zunehmend.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Herausforderungen nachhaltiger Supply Chains sowohl als Risiken als auch als potenzielle Chancen betrachtet werden können. Die Entwicklung und Umsetzung eines Nachhaltigkeitsprogramms ist für Unternehmen zu einer gängigen Praxis geworden, um die ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Fragen innerhalb ihrer Supply Chain zu managen (Carter u. Easton 2011; Gopalakrishnan u. a. 2012). Jedoch gibt es häufig finanzielle Barrieren, insbesondere bei KMU, was ihre Fähigkeit, die Nachhaltigkeitsleistung zu verbessern, behindert. Angesichts des Bedarfs an innovativen Ansätzen zur Stimulierung der Nachhaltigkeit in der Supply Chain und des negativen Effekts finanzieller Barrieren wurde das Potenzial und die Notwendigkeit erkannt, die SCF als Enabler der Nachhaltigkeit zu betrachten (Aljazzar u. a. 2018; Liang u. a. 2018).

4.2.2 Finanzierungsmechanismen

Es gibt verschiedene Supply Chain Finanzierungsmechanismen (siehe Tabelle 4.1), um nachhaltige Lieferketten zu belohnen sowie Anreize für die Umsetzung von entsprechenden Programmen zu schaffen und zu finanzieren.

Programme zur nachhaltigen Finanzierung von Verbindlichkeiten gehen vom einkaufen-

Tabelle 4.1: Nachhaltige Finanzierungsmechanismen (in Anlehnung an [Bancilhon u. a. 2018](#))

Führender Akteur	Mechanismus	Eignung
Käufer	Nachhaltige Finanzierung von Verbindlichkeiten	Fokales Unternehmen schafft direkten Anreiz für seinen Lieferanten
Lieferant	Nachhaltige Handelskredite	Finanzierung von nachhaltigen Projekten, Produkten, Dienstleistungen
Mehrere Akteure	Smart Contract Lösungen Multiagentensysteme	Gewährleistung der Rückverfolgbarkeit und Schaffung von Nachhaltigkeitsdaten Finanzstarke SC-Akteure ermöglichen Kapitalzugang bei minimalen Kosten für die Supply Chain

den Unternehmen oft in Kooperation mit einem Finanzanbieter und / oder IT-Plattformanbieter aus. Dabei hat der Lieferant die Möglichkeit, die Forderung zu diskontieren, d. h. er erhält den Wert der Forderung zu einem Diskontsatz vor dem tatsächlichen Fälligkeitsdatum der Zahlung (z. B. 10 statt 90 Tage). Der Lieferant profitiert somit von der Kreditwürdigkeit des Käufers und erhält oft einen besseren Zinssatz, als er allein bekommen könnte. Möglich wird das, weil der Einkäufer als Initiator des Programms den Finanz- oder IT-Plattformanbieter bittet, die Nachhaltigkeitsinformationen der Lieferanten zu nutzen, um Lieferanten, die eine starke Nachhaltigkeitsleistung aufweisen, Vorzugskonditionen anzubieten. Durch diese Anreize und die Bereitstellung von Betriebskapital kann das fokale Unternehmen die Entwicklung und kontinuierliche Verbesserung einer nachhaltigen Supply Chain fördern.

Die Umsetzung eines solchen Finanzierungsmechanismus wirkt sich vorteilhaft sowohl für Käufer als auch Lieferant aus. Der Käufer hat so die Möglichkeit, die Versorgungssicherheit zu erhöhen, indem Lieferanten mit guten allgemeinen Managementpraktiken angezogen werden und die finanzielle Nachhaltigkeit der Lieferanten durch das Angebot von Betriebskapitallösungen gestärkt wird. Außerdem hilft es bei der Erreichung nachhaltiger Beschaffungsziele, indem Lieferanten mit einer guten Nachhaltigkeitsleistung greifbare Belohnungen angeboten werden. Aufseiten der Lieferanten wirken sich Investitionen in die Verbesserung der Nachhaltigkeitsleistung so als direkter finanzieller Nutzen für solche Maßnahmen aus. Die Firma PUMA ([PUMA, 2016](#)) hat zusammen mit Partnern beispielsweise ein entsprechendes Programm gestartet. Die begrenzte Einflussnahme auf seine Zulieferer veranlasste das Unternehmen dazu, sein SCF-Programm als ein neues Instrument zur Förderung der Nachhaltigkeit zu untersuchen. Das SCF-Programm sieht eine gestaffelte Preisgestaltung für kurzfristige Finanzierungen auf der Grundlage von PU-

MAs eigener Kreditwürdigkeit vor. Lieferanten, die nach dem internen Bewertungssystem des Unternehmens eine hohe Nachhaltigkeitsbewertung erreichen, bieten sich so niedrigere Finanzierungskosten.

Nachhaltige Handelskredite sind solche, die die Finanzierung von nachhaltigen Waren, Dienstleistungen oder Aktivitäten unterstützen. Die Bank oder der Finanzanbieter definiert, welche spezifischen Waren, Dienstleistungen oder Aktivitäten als nachhaltig gelten (z. B. erneuerbare Energie, energieeffiziente Waren oder zertifizierte Pflanzen). Ein Beispiel hierfür ist das von Barclays ([Barclays, 2017](#)) entwickelte Green Product Framework zur Identifizierung qualifizierter Umweltthemen und -aktivitäten. Nachhaltige Handelskredite werden Lieferanten für die Beschaffung, Herstellung oder Umwandlung von Rohstoffen in Fertigerzeugnisse gewährt, die nachweislich Nachhaltigkeitseigenschaften oder ökologische bzw. soziale Vorteile aufweisen. Für Lieferanten hat ein solches Programm zwei Vorteile. Zum einen ist so die Finanzierung von Nachhaltigkeitsbestrebungen gegeben, zum anderen besteht die Möglichkeit, die Markenreputation bei den Stakeholdern als nachhaltiges Unternehmen zu verbessern. Käufer profitieren von der Möglichkeit, die Rückverfolgbarkeit von nachhaltigen Rohstoffen oder Rohmaterialien zu verstärken.

Die Informationen eines Smart Contracts werden in einem verteiltem, dezentralen Netzwerk gespeichert, einer sogenannten Blockchain. Dadurch werden vertrauenswürdige Transaktionen und Vereinbarungen zwischen unterschiedlichen anonymen Akteuren ermöglicht; auf eine zentrale steuernde Einheit wird dabei verzichtet ([Omran u. a., 2017](#)). Dadurch werden Transaktionen nachvollziehbar, transparent und irreversibel, was die Grundlagen einer nachhaltigen Lieferkette darstellt. Durch diese Technologie kann die Unveränderlichkeit von Informationen über die Nachhaltigkeitsbedingungen, unter denen Güter produziert werden, sichergestellt werden. Anreize für Lieferanten, Nachhaltigkeitsdaten zur Verfügung zu stellen, können durch bevorzugte Zahlungsbedingungen über SCF-Mechanismen geschaffen werden. Diese Lösung hat großes Potenzial, die Transparenz globaler Lieferketten zu erhöhen.

Für Käufer hat das den Vorteil, dass auf diese Weise verifizierte Informationen über die Nachhaltigkeitsmerkmale (Herkunft, Produzenten, Produktionsmethoden usw.) der entlang der Lieferkette gekauften Waren vorliegen. Lieferanten profitieren vom Zugang zu günstigem Kapital als Belohnung für nachhaltige Leistung. Von diesen Vorteilen möchte auch ein Pilotprojekt ([Cambridge Institute for Sustainability Leadership, 2017](#)) profitieren, welches darauf abzielt, die Transparenz in der Tee-Lieferkette von Unilever und Sainsbury zu erhöhen. Die Technologie verwendet Smart Contracts, um Daten zur Nachhaltigkeit der Lieferkette in den Zugang zu Finanzmitteln umzuwandeln und so die Lieferanten zu motivieren, ihre Daten dem System zur Verfügung zu stellen.

Wie der Name vermuten lässt, bestehen MAS aus einer Anzahl von Agenten. In diesem Fall ist der Agent ein geschlossenes Computersystem, das in einer bestimmten Umgebung arbeitet. Es kann flexibel und autonom handeln, um seine festgelegten Ziele zu erreichen ([Franklin u. Graesser, 1997](#)). Eine Anzahl von Agenten, die entweder gemeinschaftlich auf ein Ziel hinarbeiten oder auch konkurrierende Ziele verfolgen, wird als MAS bezeichnet. In Multi-Agenten-Entscheidungssystemen müssen die am System beteiligten Agenten als Gruppe gemeinsame Entscheidungen treffen. Mechanismen zur gemeinsamen Entscheidungsfindung können auf wirtschaftlichen Mechanismen wie z. B. einer Auktion oder auf

alternativen Mechanismen wie z. B. Argumentation, beruhen.

Der Schwerpunkt des Supply Chain Managements lag bisher auf der Optimierung und Gestaltung des Waren- und Informationsflusses, dagegen werden die Finanzströme in der Lieferkette aus Sicht des Supply Chain Managements oft vernachlässigt (More u. Basu, 2013). Dies gilt auch für die Anwendung der MAS-Technologie. Wie der Literatur zu entnehmen ist, gibt es zahlreiche MAS-Anwendungsbeispiele, die das managen der Güter- und Informationsflüsse in einer Supply Chain unterstützen (Moyaux u. a. 2006; Rahman u. a. 2019). Mit MAS-Anwendungen für die Finanzen der Supply Chain (Abdollahzade u. a., 2018) oder gar Nachhaltigkeit (Ghadimi u. a., 2019) befassen sich dagegen nur sehr wenige Autoren (Fiedler u. a., 2019). Aus diesem Grund wird ein agentenbasierter Ansatz für das SCF vorgeschlagen, welches Nachhaltigkeitsleistungen berücksichtigt.

4.3 Ein agentenbasierter Ansatz für Sustainable Supply Chain Finance

Ein entscheidendes Merkmal von SCF ist die Bereitstellung finanzieller Unterstützung auf der Grundlage eines Kernunternehmens, das die gute Kreditwürdigkeit auf die vor- und nachgelagerten Unternehmen ausweitet und die Kreditvergabe ohne Übernahme inakzeptabler Risiken erleichtert. Für ein kapitalnachfragendes Unternehmen, welches sich in einer komplexen Lieferkette befindet, ist die Auswahl geeigneter Finanzierungsoptionen jedoch nicht trivial. Zu diesem Zweck wird ein MAS-Ansatz vorgeschlagen, um den Prozess zur Auswahl bestmöglicher Finanzierungsoptionen in der Lieferkette zu automatisieren und zu erleichtern.

Ziel des agentenbasierten Modells ist es, die Verhandlungen zwischen dem kapitalnachfragenden Unternehmen und den kapital anbietenden Unternehmen zu unterstützen, unter Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsleistungen sowie der Informationsasymmetrie zwischen externen und internen Supply Chain Akteuren.

Der hier dargestellte Ansatz wurde auf Basis des Grundmodells der SCF von Gomm (2008) weiterentwickelt. Er basiert auf der Idee, dass zwischen internen und externen Supply Chain Akteuren Informationsasymmetrien bestehen. Ein Akteur außerhalb der Supply Chain, zum Beispiel ein Kreditinstitut, wird vor Kreditvergabe versuchen, das Risiko der Finanzierung abzuschätzen und den zu erhebenden Zinssatz entsprechend bemessen. Ein kapitalnachfragendes Unternehmen innerhalb der Supply Chain hat wiederum Interesse, diese Risiken gegenüber dem potenziellen externen Kapitalgeber als möglichst gering darzustellen. Da diese Tatsache dem externen Kapitalgeber bewusst ist, wird er den Informationen misstrauen und einen zusätzlichen Aufschlag verlangen. Ausgangspunkt ist somit die Annahme, dass es innerhalb der Supply Chain Informationen bezüglich des Finanzierungsrisikos gibt, auf die von außerhalb der Supply Chain kein Zugang möglich ist. Hinzu kommt das Anliegen, eventuelle Nachhaltigkeitsleistungen des kapitalnachfragenden Unternehmens über vergünstigte Konditionen belohnen zu wollen.

Folgende Bedingungen bilden die Basis der sich anschließenden Überlegungen:

1. Informationsasymmetrie:

- a) Der Kapitalnachfrager innerhalb der Supply Chain verfügt über vollständige Informationen bezüglich des Finanzierungsrisikos.
- b) Interne Kapitalgeber, Mitglieder der Supply Chain, verfügen über mehr Informationen bezüglich des Finanzierungsrisikos als der externe Kapitalgeber außerhalb der Supply Chain.
- c) Informationen bezüglich des Finanzierungsrisikos können innerhalb der Supply Chain ausgetauscht werden. Es fallen Informationskosten an.

2. Kosten der Finanzierung:

- a) Die Deckung des Kapitalbedarfs erfolgt über Fremdkapital, für welches Zinsen anfallen. Die Zinsen, welche vom externen Kapitalgeber erhoben werden, bemessen sich nach dem Kenntnisstand bezüglich des allgemeinen Risikos für die Unternehmen.
- b) Das zu finanzierende Projekt wirft eine Rendite ab.
- c) Der interne Kapitalgeber erwartet ebenfalls eine Verzinsung des zur Verfügung gestellten Kapitals in Form einer Renditeforderung gegenüber dem nachfragenden Unternehmen.
- d) Zudem kann der interne Kapitalgeber die Nachhaltigkeitsleistung des nachfragenden Unternehmens berücksichtigen.

3. Finanzierungsentscheidung:

- a) Gesucht wird die Finanzierungsform mit den geringsten Kapitalkosten für die Supply Chain sowie
- b) die optimale Informationsverteilung zwischen den Supply Chain Akteuren.

Das in Abbildung 4.1 dargestellte Szenario visualisiert die zuvor beschriebenen Finanzierungsoptionen und deren Kosten. Demnach hat ein Unternehmen (1) für ein Projekt (2) einen bestimmten Kapitalbedarf. Es gibt zwei Möglichkeiten diesen zu decken:

- Weg 1: Das Unternehmen (1) leiht sich von einem externen Kapitalgeber, zum Beispiel einer Bank (4), Fremdkapital (6) zu einem Zinssatz (6.a) und finanziert (6.b) das Projekt (2) selbst. Dann wäre kein weiterer Supply Chain Akteur beteiligt. Die Rendite des Projektes (6.c) fließt vollständig, abzüglich der Fremdkapitalkosten, an das Unternehmen (1).
- Weg 2: Ein interner Kapitalgeber (3) leiht sich von einer Bank (4) Fremdkapital (5) zu einem bestimmten Zinssatz (5.a). Das Unternehmen (3) übernimmt die Finanzierung (5.b) des Projektes (2) und erwartet dafür eine Rendite (5.c). In diesem Fall ist die Projektrendite zwischen den internen Akteuren aufzuteilen.

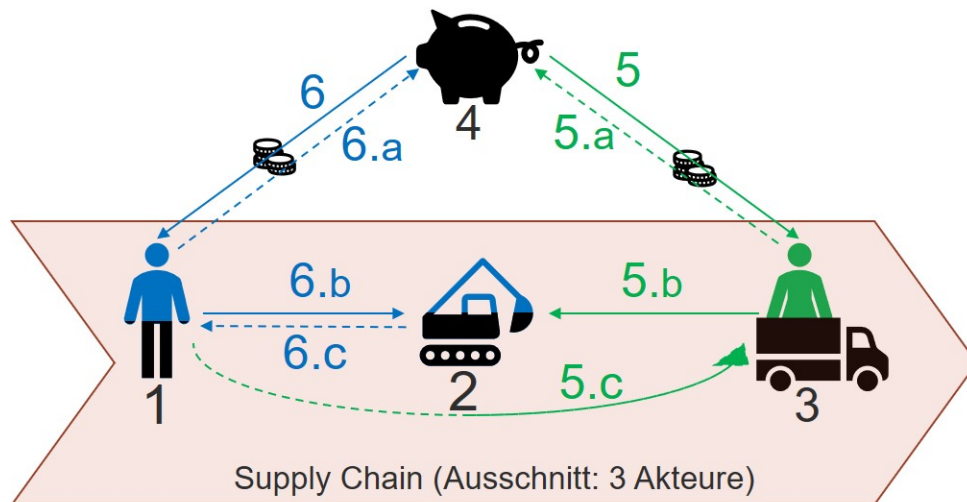


Abbildung 4.1: Anwendungsszenario für das Grundmodell der Supply Chain Finance (in Anlehnung an Gomm 2008)

Das Szenario wird nun um mehrere potenzielle interne Kapitalgeber erweitert. Das bedeutet, dass kapitalnachfragende Unternehmen muss nun nicht nur entscheiden, ob die Finanzierung über den Kapitalmarkt oder den internen Kapitalgeber durchzuführen ist, sondern zusätzlich, welche der internen Kapitalgeber das beste Angebot unterbreitet. Außerdem wird dem Modell ein weiteres Ziel hinzugefügt. Das bisherige Ziel aller internen Akteure ist die Minimierung der Supply Chain Kapitalkosten. Dies wird durch die Auswahl der günstigsten Finanzierungsoption realisiert. Wobei der Kapitalmarkt die Gewinnmaximierung verfolgt, wohingegen der interne Kapitalgeber sich mit einer zum Refinanzierungszins risikoäquivalenten Rendite zufriedengibt. In der Supply Chain gibt es nun aber mehrere konkurrierende Kapitalgeber. Ein Wettbewerb um die Finanzierung entsteht dann, wenn die geldgebenden Unternehmen sich einen Nutzen zum Beispiel in Form eines Gewinnes von der Übernahme der Finanzierung versprechen. Zu dem Supply Chain übergreifenden Ziel der Minimierung der Kapitalkosten kommt also noch für jeden Kapitalgeber das interne Ziel der Gewinnmaximierung hinzu. Die Auswahl der besten Finanzierungsoption im Falle einer internen Finanzierung soll dabei über automatisiertes Verhandeln getroffen werden.

Zur Umsetzung des Modells wird ein MAS eingerichtet, welches die Verhandlungen über Finanzierungsoptionen unterstützt. Das zu Grunde liegende Szenario läuft dabei in drei Phasen ab. In Phase eins werden die Fremdkapitalkosten (sowohl das kapitalnachfragende Unternehmen als auch potenzielle interne Investoren sind auf Fremdkapital angewiesen) sowie auf dieser Grundlage die zu erwartenden Renditen ermittelt. Die zweite Phase ist von Verhandlungen geprägt. Potenzielle interne Investoren kennen zu diesem Zeitpunkt ihre jeweiligen Kapitalkosten und die Größenordnung, in der die Nachhaltigkeitsleistung belohnt werden soll. In der dritten und abschließenden Phase ist ein Gewinner aus der vorangegangenen Verhandlungsphase hervorgegangen. Das kann entweder ein interner

Investor oder ein externer Kapitalgeber sein. In beiden Fällen erfolgt die eigentliche Kreditvergabe, Rückzahlung und Ermittlung der Gewinne. Abbildung 4.2 visualisiert den beschriebenen Ablauf.

Das MAS besteht im Wesentlichen aus drei Typen von Software-Agenten. Einem In-

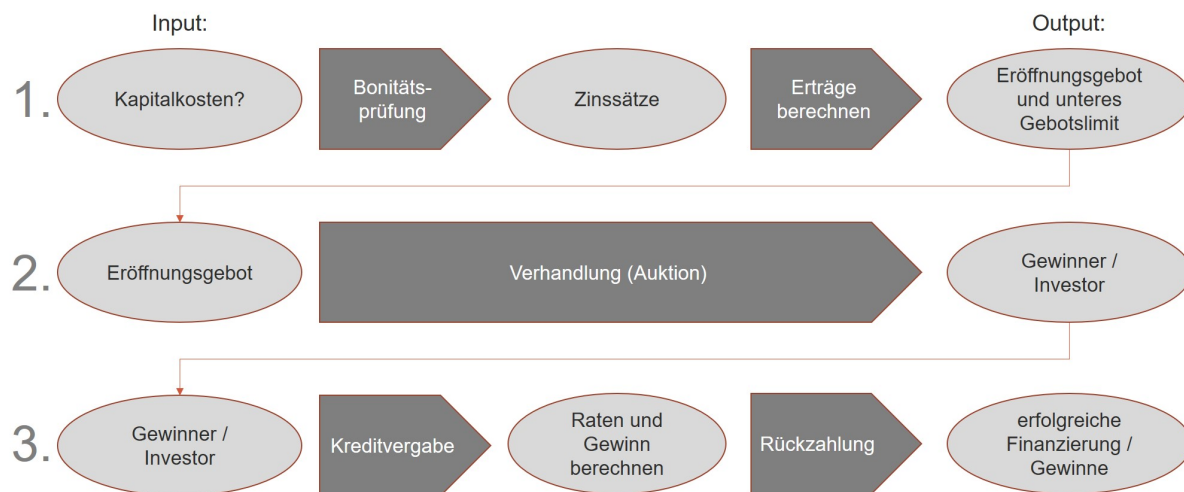


Abbildung 4.2: Ablauf des agentenbasierten Modells (eigene Darstellung)

itiator als Kapitalnachfrager zum Beispiel ein Lieferant (interner SC Akteur) und zwei Teilnehmer-Agenten, dem Kapitalmarkt, zum Beispiel eine Bank (externer SC Akteur) und dem Kapitalanbieter/Investor, zum Beispiel ein Einkäufer (interner SC Akteur). Die jeweiligen Funktionen der Agenten sind nachfolgend beschrieben:

- *Kapitalnachfrager (Initiator):*
 Ziele: Gewinnmaximierung und Minimierung der Kapitalkosten für die Supply Chain;
 Kenntnis des Finanzierungsrisikos und der erwarteten Rendite;
 Austausch von Nachrichten mit Supply Chain Akteuren und dem Kapitalmarkt;
 sendet Kreditanträge und empfängt Kreditangebote;
 lädt interne Investoren zu Verhandlungen ein;
 legt den Startwert der Auktion fest;
 reagiert auf Kreditangebote und entscheidet unabhängig über die Annahme oder das Ablehnen von Krediten;
 Bewertung der Finanzierungsmöglichkeiten und Entscheidung für die Beste.
- *Kapitalmarkt (Teilnehmer):*
 Ziel: Gewinnmaximierung
 Kenntnisse über die Kreditwürdigkeit und der Nachhaltigkeitsleistung der Kapitalnachfragenden;
 Austausch von Nachrichten mit Kapitalsuchenden (Nachfrager und Investoren);
 empfängt Kreditanträge und sendet Angebote;
 entscheidet unabhängig über die Gewährung von Darlehen und die Bedingungen (Zinsen);
 reagiert auf (neue) Kreditanträge und erwartet Kreditrückzahlung.

- *Kapitalanbieter/Investor (Teilnehmer)*: Ziele: Gewinnmaximierung und Minimierung der Kapitalkosten für die Supply Chain;
Kenntnis des Finanzierungsrisikos, der eigenen Kapitalkosten und der Nachhaltigkeitsleistung des Nachfragers;
Austausch von Nachrichten mit den Agenten Kapitalmarkt und Nachfrager;
sendet Kreditantrag und empfängt Kreditangebot;
empfängt Verhandlungsgesuche und sendet Angebote;
nimmt / lehnt Angebote vom Kapitalmarkt an / ab, nimmt Anfragen von Nachfragern entgegen und entscheidet über die Verhandlungsbereitschaft;
reagiert auf Kreditanfragen, nimmt an Verhandlungen teil (Auktion) und reagiert auf Gebote;
verhandelt den Zinssatz für die Kreditvergabe an Nachfrager, legt untere Bietgrenze fest und entscheidet selbstständig über die Annahme und Gewährung von Krediten.

Die Umsetzung des soeben beschriebenen Modells erfolgt in JADE (Java Agent Development Framework). JADE ist komplett in Java programmiert und setzt somit auf das FIPA-Referenzmodell auf. Die Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) ist die wichtigste Organisation hinsichtlich der Standardisierung von Multiagentensystemen.

4.4 Fazit

Das Thema Nachhaltigkeit in der Lieferkette ist in Wissenschaft und Praxis angekommen. Allerdings befinden sich sowohl Wissenschaft als auch Industrie gerade in Bezug auf die Finanzströme in den Anfängen. Digitale Technologien wie Distributed-Ledger oder MAS können die Entwicklung von geeigneten Instrumenten unterstützen und beschleunigen. Das Thema der Nachhaltigkeit in Supply Chains wird zukünftig noch an Bedeutung gewinnen, denn der politische und gesellschaftliche Druck nimmt zu. So stellt die Bundesregierung derzeit Überlegungen zu einem Lieferkettengesetz an. Eine Umfrage zum Nationalen Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte ([Auswärtiges Amt, Juli](#)) hat offengelegt, dass Unternehmen in Deutschland die Grundsätze der Ethik in Supply Chains zu wenig überwachen und unzureichend transparent gestalten. Es besteht also dringender Handlungsbedarf.

5 Ein agentenbasiertes Verhandlungsprotokoll für das Supply Chain Finance

Autorin des Originalbeitrags: Fiedler A.

Veröffentlicht in (zur Begutachtung): Computers & Industrial Engineering 2021, (positiv bewertet, im Gutachterprozess).

AN AGENT-BASED NEGOTIATION PROTOCOL FOR SUPPLY CHAIN FINANCE

5.1 Zusammenfassung

Supply Chain Finance ermöglicht es, Optimierungspotenziale in Bezug auf die Finanzströme einer Supply Chain zu entdecken und zu nutzen. Ein entscheidendes Merkmal von SCF ist die Bereitstellung von finanzieller Unterstützung auf der Grundlage eines Kernunternehmens, dass die gute Kreditwürdigkeit auf die vor- und nachgelagerten Unternehmen ausweitet und die Kreditvergabe ohne Übernahme inakzeptabler Risiken erleichtert. Zu diesem Zweck wird ein Multiagentensystem-Ansatz vorgeschlagen, um den Prozess zur Auswahl der bestmöglichen Finanzierungsoption in der Lieferkette zu automatisieren und zu erleichtern. Es muss entschieden werden, ob eine interne oder externe Finanzierung genutzt werden soll und welcher interne Akteur die günstigste Finanzierungsmöglichkeit bietet. Dieses zweite Entscheidungsproblem wird im MAS durch einen automatisierten Verhandlungsprozess in Form einer Auktion realisiert. Das Modell berücksichtigt die Informationsasymmetrie zwischen externen und internen Supply Chain Akteuren sowie zusätzliche externe Effekte für interne Supply Chain Akteure bei der Übernahme der Finanzierung. Numerische Experimente zeigen die Funktionalität und die Vorteile des speziell entwickelten Verhandlungsprotokolls.

5.2 Einleitung

Die Abhängigkeit europäischer Unternehmen von Bankkrediten ist verglichen mit den USA groß ([Praet 2016](#); [Kraemer-Eis u. a. 2019](#)). Diese Tatsache trifft ganz besonders auf

kleine und mittlere Unternehmen zu. Im Vergleich zu Großunternehmen ist es für KMU sehr viel schwieriger, Finanzmittel zu erhalten, zudem sind die Finanzierungskosten höher (Funk, 2019). Auf diesen Umstand begründet sind Konzepte, wie SCF in den Fokus gerückt. SCF ermöglicht es, Optimierungspotenziale in Bezug auf die Finanzströme einer Supply Chain zu entdecken und zu nutzen. Ein entscheidendes Merkmal von SCF ist die Bereitstellung von finanzieller Unterstützung auf der Grundlage eines Kernunternehmens, dass die gute Kreditwürdigkeit auf die vor- und nachgelagerten Unternehmen ausweitet und die Kreditvergabe ohne Übernahme inakzeptabler Risiken erleichtert.

Für ein kapitalnachfragendes Unternehmen, welches sich in einer komplexen Lieferkette befindet, ist die Auswahl geeigneter Finanzierungsoptionen jedoch nicht trivial. Zu diesem Zweck wird ein MAS-Ansatz vorgeschlagen, um den Prozess zur Auswahl bestmöglicher Finanzierungsoptionen in der Lieferkette zu automatisieren und zu erleichtern, was zu einer stärker kooperativen Partnerschaft führt. Diese Technologie erweitert nicht nur die Möglichkeit menschlicher Verhandlungen, sondern erweitert auch die Basis automatischer Verhandlungen zwischen intelligenten Software-Agenten, die die Interessen menschlicher Subjekte vertreten können.

Die Verhandlung zwischen intelligenten Agenten ist eines der grundlegenden Themen der Forschung in der verteilten künstlichen Intelligenz und MAS. Nach Wooldridge (2009) ist ein intelligenter Agent ein Computersystem, welches in eine Umgebung eingebettet ist und autonom Aktionen ausführt, um seine eigenen Ziele zu erreichen. Ein Verhandlungsprozess zielt darauf ab, die internen Pläne jedes Agenten so zu ändern, dass eine Einigung zwischen einer Untergruppe von Agenten im System erzielt werden kann. Das bekannte Contract-Net-Protocol (CNP), das von Smith u. Davis (1981) und Akinin u. a. (2004) für die dezentrale Verteilung von Aufgaben definiert wurde, ist ein verteiltes Verhandlungsmodell, welches auf dem Gedanken der Aufforderung zur Abgabe von Angeboten auf Märkten basiert. Die Beziehung zwischen Nachfragern und (An)-bietern wird in einer Ausschreibung und einer Bewertung der von den Bietern an die Manager eingereichten Vorschläge hergestellt. Das Protokoll ist inzwischen eines von mehreren, die als Grundlage zahlreicher Anwendungen und Erweiterungen dienen.

Die Wahl bzw. der Entwurf des Protokolls ist eine sehr wichtige Aufgabe, da das Protokoll das Ergebnis der Verhandlungen maßgeblich beeinflusst. Es wird ein Verhandlungsprotokoll vorgestellt, das eine Erweiterung des FIPA Iterated Contract Net Interaction Protocol darstellt und im SCF-Bereich Anwendung findet. Die Gesamtstruktur dieses Artikels ist wie folgt: Kapitel 5.3 führt in das Thema SCF ein und im folgenden Kapitel 5.4 werden die Anforderungen an dieses Konzept diskutiert. Dabei werden insbesondere die SCF-Akteure, -Instrumente und der allgemeine Prozess beleuchtet. In Kapitel 5.5 wird ein agentenbasiertes Modell für SCF vorgestellt, einschließlich der Präsentation eines speziell entwickelten Verhandlungsprotokolls und numerischer Experimente. Die Arbeit endet mit relevanten Schlussfolgerungen und gibt einen Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

5.3 Supply Chain Finance

Die Steuerung, Strukturierung und Koordinierung von Material-, Informations- und Finanzfluss entlang von Lieferketten definiert das Supply Chain Management. Besondere Aufmerksamkeit schenken Forschung und Industrie der Integration und Optimierung des Material- und Informationsflusses. Dabei wurde das Verständnis des Finanzflusses innerhalb der Lieferkette vernachlässigt (Pfohl u. Gomm 2009; Wuttke u. a. 2013b). Working Capital Management zur Behebung von Liquiditätsproblemen innerhalb der Lieferkette wurde bis zur weltweiten Finanzkrise 2008-2009 häufig vernachlässigt. Doch die fehlende Verfügbarkeit von Krediten, insbesondere für KMU, während der Finanzkrise gefährdete die Stabilität vieler Lieferketten (Hofmann u. Belin, 2011). Das veranlasste Unternehmen, die Vorteile zu erkennen, die sich aus dem Managen der Finanzströme in Zusammenarbeit mit den Akteuren der Lieferkette und Finanzinstitutionen ergeben (de Boer u. a., 2015). Dem Forschungsgebiet innerhalb des SCM mit der Bezeichnung Supply Chain Finance wurde von nun an vermehrt Aufmerksamkeit geschenkt. Die Bedeutung von SCF ist auch nach Bewältigung der Krise ungebrochen, denn der Zugang zu Fremdkapital ist aufgrund von konservativen Kreditmodellen und erhöhten regulatorischen Eigenkapitalanforderungen für Banken für viele KMU nach wie vor schwierig (Lekkakos u. Serrano, 2016). Es existiert kein einheitliches Begriffsverständnis von SCF. Im Rahmen dieses Beitrages wird sich auf die Definition von Gelsomino u. a. (2016, S.348) gestützt. Sie nehmen eine weit gefasste Perspektive ein und definieren:

„SCF aims to optimize financial flows at an inter-organizational level (Hofmann, 2005) through solutions implemented by financial institutions (Camerinelli, 2009) or technology providers (Lamoureaux u. Evans, 2011). The ultimate objective is to align financial flows with product and information flows within the supply chain, improving cash-flow management from a supply chain perspective“

SCF stellt also finanzielle, technologische und betriebswirtschaftliche Instrumente zur Freisetzung gebundener Liquidität in der Lieferkette zur Verfügung (Caniato u. a., 2016). Käufer und Lieferanten haben unterschiedliche finanzielle Interessen. Während Käufer möglichst lange Zahlungsziele anstreben, haben Lieferanten ein Interesse daran, die Zahlungen für verkaufte Güter und Dienstleistungen so schnell wie möglich zu erhalten. Es existiert ein Zielkonflikt, der durch die jeweilige Stellung der einzelnen Akteure in der Lieferkette aufgrund von sich daraus ergebenden Machtverhältnissen gelöst wird. Der Stärkere diktiert die Zahlungsfristen. Schwächere Firmen, in der Regel KMU, haben aber einen erschwerten Zugang zu Finanzmitteln, der auch noch mit höheren Finanzierungskosten verbunden ist. Aus strategischer Sicht können sich daraus Risiken und Ineffizienzen für die Lieferkette ergeben. SCF kann für beide Seiten und die gesamte Lieferkette durch die Bereitstellung entsprechender Finanzinstrumente Vorteile schaffen (Pfohl u. Gomm, 2009).

5.4 Anforderungen an Supply Chain Finance

Die Anforderungen an ein Verhandlungsprotokoll für das SCF leiten sich daraus ab, welche Instrumente des SCF verschiedene Akteure zur Verfügung stellen oder einsetzen, um die Finanzen und damit verbundene Prozesse der Lieferkette zu verbessern.

5.4.1 SCF Akteure

Die Akteure des SCF lassen sich nach [Pfohl u. Gomm \(2009\)](#) in primäre und unterstützende Akteure unterscheiden. In [Abbildung 5.1](#) sind die nachfolgend erläuterten Akteure dargestellt. Zu den primären Akteuren gehören die Kunden und Lieferanten, die als fokale oder auch nicht fokale Unternehmen in der Lieferkette agieren. Bei Bedarf arbeiten diese Akteure mit Finanzdienstleistern zusammen, um Finanzmittel mithilfe verschiedener SCF-Instrumente und anderer Finanzierungsformen zu beschaffen. Die gegenseitige Abhängigkeit von Kunde und Lieferant kann dabei durch die Nutzung von Kreditarbitrage positiv genutzt werden. Das finanzstärkere Unternehmen ermöglicht Zugang zu Kapital zu ermäßigten Zinssätzen. Das finanzielle Ungleichgewicht in der Lieferkette kann verringert werden, wenn die Finanzierung durch die Hauptakteure erfolgt, da diese über bessere Informationen (z. B. die tatsächlichen Bestellmengen) verfügen und auf dieser Grundlage die Kreditbedingungen festlegen können ([Chod, 2017](#)).

Unterstützende Akteure sind dagegen solche, die für die primären Akteure Leistungen zur Verfügung stellen, um die wertschöpfende Tätigkeit dieser zu unterstützen. Zu diesen Akteuren zählen Banken, die traditionell den Unternehmen Zugang zu Kapital verschaffen. Zunehmend fungieren Banken aber auch als Finanzplattform für die Implementierung von SCF-Instrumenten und bieten ein breites Spektrum SCF-bezogene Dienstleistungen ([Chakuu u. a., 2019](#)). Digitale Technologien und die Möglichkeiten der Datenanalyse ermöglichen es neuen Akteuren, neben den Banken am SCF-Markt teilzunehmen. So ist es Logistikdienstleistern heute möglich, alleine oder mit Partner SCF anzubieten ([Chakuu u. a. 2019](#); [Wen u. a. 2019](#)). Sofern es sich um einen finanzstarken Dienstleister handelt, könnte dieser beispielsweise das Eigentum an den Beständen übernehmen und den Fluss verwalten, um das Betriebskapital sowohl für Käufer als auch für Lieferanten zu maximieren. Eine andere Möglichkeit ist das Auftreten als Informationsagent. Hier werden Informationen über die Bestände mit den Finanzinstituten ausgetauscht, um so die Informationsasymmetrie zwischen Kapitalnachfrager und -anbieter zu verringern ([Lan u. Hua, 2013](#)).

Die Akteure des SCF lassen sich außerdem in Bezug auf die Lieferkette in externe und interne Akteure unterscheiden. Externer Akteur ist derjenige, der nicht Teilnehmer einer bestimmten Lieferkette ist beispielsweise eine Bank. Und die Teilnehmer innerhalb einer Lieferkette wie Lieferanten, Kunden und Logistikdienstleister, sind interne Akteure.

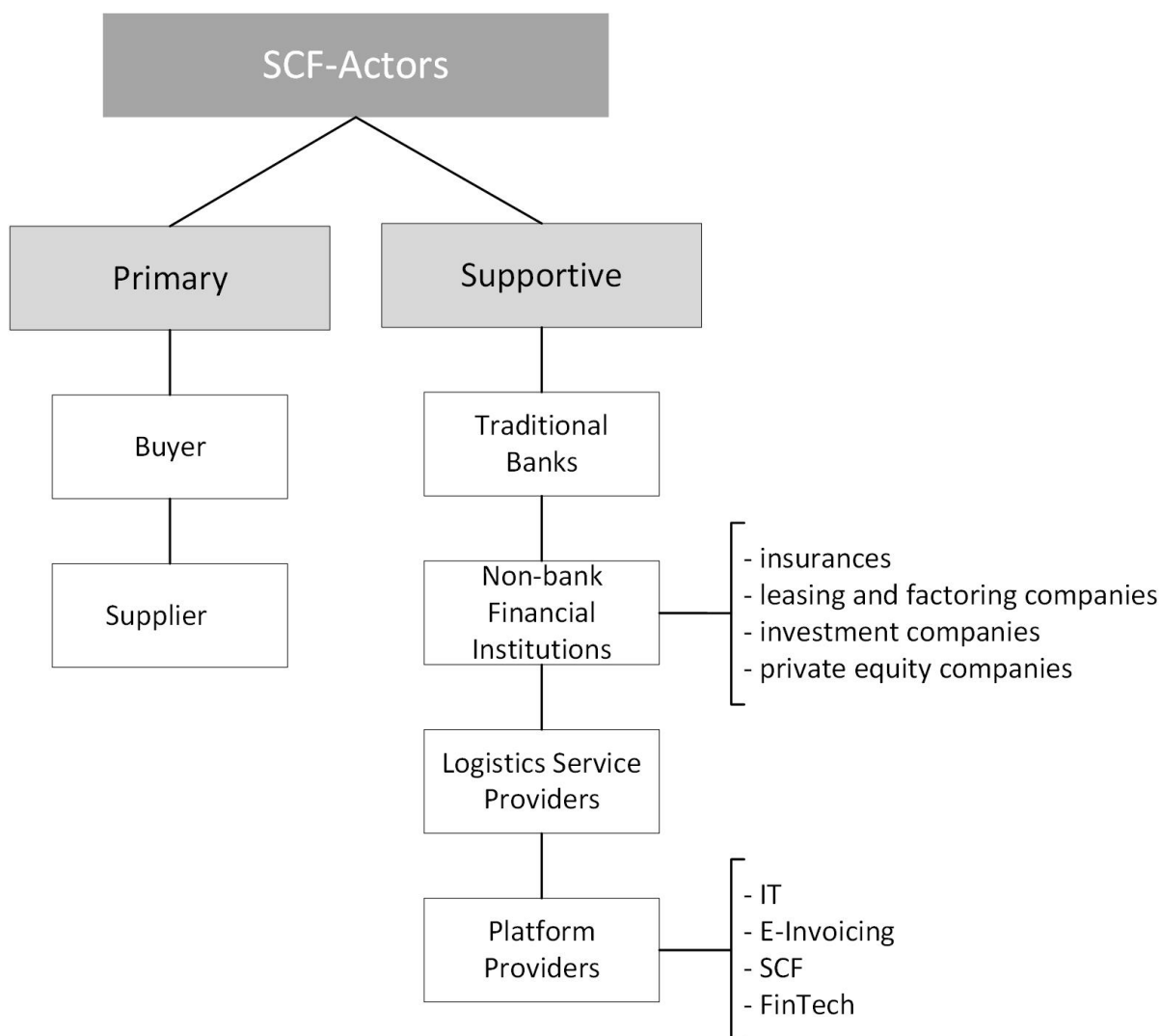


Abbildung 5.1: Akteure des SCF (eigene Darstellung)

5.4.2 Instrumente

Die Senkung der Kapitalkosten durch neue Finanzierungslösungen innerhalb einer SC ist Aufgabe des SCF. Unternehmen stehen eine Vielzahl an unterschiedlichen SCF-Konzepten zur Verfügung, um Liquidität in der Lieferkette freizusetzen. Diese unterscheiden sich in den verwendeten Mechanismen und beteiligten Akteuren. Eine Übersicht über die SCF-Instrumente und deren Einsatz in der Literatur findet sich in [Chakuu u. a. \(2019\)](#). Es gibt verschiedene Ansätze die Konzepte zu kategorisieren. Eine häufig verwendete, ist die Unterteilung in Finanzierung vor dem Versand (pre-shipment) für Rohstoffe und Waren, Finanzierung von Lagerbeständen (in-transit) und Finanzierung nach dem Versand (post-shipment) beispielsweise für Forderungen ([More u. Basu, 2013](#)). Alternativ dazu schlugen [de Boer u. a. \(2015\)](#) eine Einteilung in operative, taktische und strategische Instrumente

vor. Zu den operativen Instrumenten zählen jene zur Finanzierung des Nettoumlaufvermögens wie Reverse Factoring und Dynamic Discounting. Das Anlagevermögen finanziert sich durch taktische Instrumente und im Zusammenhang mit dem Eigenkapital kommen strategische Instrumente zum Tragen.

Eine weitere gängige Unterteilung ist die in die drei Kategorien Finanzierung von Verbindlichkeiten (Payables Financing or Buyer centric), Forderungsfinanzierung (Receivables Financing or Supplier centric) und Bestandsfinanzierung (Inventory Financing or Inventory centric) (Hofmann u. Belin 2011; Chakuu u. a. 2019; Hofmann u. Wetzels 2020). Ausführliche Darstellungen der einzelnen Instrumente finden sich u. a. in einer Veröffentlichung des [Global SCF Forum \(2016\)](#). Zahlreiche Fallbeispiele sind in den Working Capital Managementstudien der Universität St. Gallen in Zusammenarbeit mit PostFinance zu finden ([SCF-Lab Universität St. Gallen, 2020](#)).

5.4.3 Prozess

Wie in den vorangegangenen Kapiteln erläutert, steht den Entscheidungsträgern in der Lieferkette eine breite Palette von Instrumenten zur Verfügung, um den Finanzfluss zu optimieren. Allen gemeinsam ist die Beteiligung mehrerer Akteure an der Umsetzung von SCF-Mechanismen. Für den Erfolg des Projekts müssen diese Akteure in ihrem Handeln koordiniert werden und es muss eine Kommunikation - ein Informationsaustausch - zwischen ihnen stattfinden. Daher wird ein geeignetes Verfahren benötigt, um die Kommunikation der beteiligten Akteure zu strukturieren. Auktionen sind ein Beispiel für ein solches Koordinationsverfahren zur Ressourcenverteilung oder -übertragung (Wellman u. a., 2001). Der Einsatz von Auktionen als Verhandlungsinstrument wird in der Literatur häufig postuliert (Bulow u. Klemperer 1996; Collins u. a. 2002; Sandholm 2006).

Verhandlungen lassen sich hinsichtlich der Anzahl der Teilnehmer in multilateral und bilateral und hinsichtlich der Anzahl der verhandelten Attribute in einattributiv und multiattributiv unterscheiden. Eine Übersicht hierzu findet sich u. a. in [Rebstock \(2001\)](#). Bei einattributiven Verhandlungen ist das verhandelte Attribut in der Regel der Preis. Andere Attribute (z. B. Kreditlaufzeit, Kredithöhe) müssen somit bereits vorab vereinbart worden oder offensichtlich sein. Bei einer multiattributiven Verhandlung müssen sich die Akteure nicht nur hinsichtlich eines, sondern hinsichtlich mehrerer Attribute eines Kontraktes einigen. In dem hier vorliegenden Modell handelt es sich um eine einseitig multilaterale (one-to-many), einattributive Verhandlung. In einer zukünftigen Erweiterung wäre zwar auch ein multiattributives Szenario denkbar, allerdings sind derartige Systeme mit einigen Schwierigkeiten verbunden:

- Gebote werden auf Grundlage des Nutzens gemacht den ein Agent hat. Bei mehreren Attributen hängt dieser von allen ab und infolgedessen wird es komplexer, ein geeignetes Angebot zu machen.
- Verhandlungen finden oft unter unvollständig vorliegenden Informationen statt. Je mehr Aspekte ein Agent zu berücksichtigen hat, um so schwieriger kann es sein,

den Nutzen einzuschätzen und eine Strategie zu ergründen. Der traditionelle Ansatz zur Überwindung dieses Problems ist die Anwendung der Präferenzenerhebung vor einer Verhandlung. Allerdings ist die Präferenzenerhebung ein bekanntermaßen schwieriges und zeitaufwendiges Verfahren (Chen u. Pu, 2004), insbesondere wenn die Präferenzen der Agenten komplex sind.

- Bei einer Multi-Attribut-Verhandlung ist es wichtig, eine Pareto-optimale Lösung zu erreichen. Rationale Agenten sollen kein „zusätzliches Geld“ auf dem Tisch liegen lassen. Aber die Suche nach einer Pareto-optimale Lösung zwischen eigennützigen Agenten in einer Umgebung mit unvollständigen Informationen ist schwierig.

MAS wiederum sind eine vielversprechende Technologie mit deren Hilfe sich solche Auktionen automatisiert umsetzen lassen. Unter einem Agenten ist dabei eine logische autonome Einheit zu verstehen, eine Population solcher Agenten bilden das MAS (Wooldridge, 2009). Die Besonderheit von MAS besteht darin, dass die Interaktion zwischen Agenten unter Verwendung einer Agenten-Kommunikationssprache es den Partnern in der Lieferkette ermöglicht, auf automatisierte Weise effektiver miteinander zu verhandeln. Nachfolgend wird ein SCM-System als MAS betrachtet und die beteiligten Akteure als Agenten, dass dies prinzipiell möglich ist, haben verschiedene Vorarbeiten gezeigt (Barbuceanu u. Fox 1996; Appelrath 2003).

Verhandlungsprotokolle lassen sich in auktionen- und verhandlungsbasierte Protokolle unterscheiden (Lang u. Fink, 2011). Innerhalb der auktionenbasierten Protokolle werden Rechte an der Bestimmung der Vertragseigenschaften von einem unabhängigen Auktionator an die Agenten versteigert. Der Auktionator handelt hierbei eigennützig, da der Auktionserlös maximiert wird. Auktionenbasierte Protokolle sind beispielsweise Kombinatorische Auktionen und das Winner-Takes-It-All-Protokoll. Kombinatorische Auktionen fußen auf der Annahme, dass bei einer Versteigerung verschiedener Güterkombinationen Interdependenzen innerhalb der Kombinationen existieren. Wohingegen das Winner-Takes-It-All-Protokoll lediglich den Akteur mit der größten Zahlungsbereitschaft für den gesamten Vertrag bestimmt. Angepasst auf das in dieser Arbeit diskutierte Anwendungsszenario SCF gestaltet sich das Modell des Winner-Takes-It-All-Protokolls wie folgt:

$$\min \sum_{j=1}^J p_j \cdot x_j \quad (5.1)$$

$$s.t. \sum_{j=1}^J x_j \leq 1 \quad (5.2)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad (5.3)$$

Notation: J ist die Menge der Akteure $j = 1, \dots, J$; p_j ist der Preis (Renditeforderung) des Akteurs; x_j ist die Entscheidungsvariable, die den Wert 1 annimmt, wenn das Gebot angenommen wird und sonst 0 ist. Die Auktion läuft dann wie folgt ab:

1. Akteure reichen beim Auktionator die Gebote auf einen Gesamtvertrag ein (bestehend aus Kapitalbedarf und Laufzeit). Die Gebotshöhe für den Gesamtvertrag

bestimmt sich aus den Beträgen der Nutzen über alle Eigenschaften. Die Beträge resultieren aus den Fremdkapitalkosten, dem geschätzten Risiko und dem wahrscheinlichen Nutzen (Vertrauensgewinn).

2. Der Auktionator minimiert die Kapitalkosten, indem er das geringste Gebot auswählt (vgl. Formel 5.1).
3. Der Auktionator gibt den Gewinner bekannt und der Vertrag wird geformt. Dabei wird sichergestellt, dass es nur maximal einen Gewinner $winner \in \{\mathbb{N} | 0 < j \leq J\}$ gibt (vgl. Formeln 5.2 und 5.3).

Als Nachteil zeigt sich eine erhöhte Rechenzeit, wenn eine bestimmte Anzahl an Verhandlungsteilnehmern erreicht wird.

Verhandlungsbasierte Protokoll bieten eine Alternative (Klein u. a., 2007). In einem iterativen Prozess wird der Vertragsraum auf der Suche nach Pareto-effizienten Geboten überprüft. Die Agenten bestimmen hierbei die Richtung der Suche des Mediators, indem sie durch die Annahme- bzw. Ablehnungsentscheidung Informationen über die relative Güte des Vertragskandidaten preisgeben. Das Gebot, das zuletzt die Zustimmung erhält, wird als finaler Vertrag c festgelegt. Die Auktion läuft dann wie folgt ab:

1. Der Mediator ermittelt zufällig einen Initialgebot c'_0 , das als aktuell bestes Gebot c_0^* gesetzt wird. Es gilt $t \leftarrow 0$.
2. Der Mediator invertiert im aktuell besten Gebot c_0^* ein Bit und erhält somit ein neues Startgebot c'_t .
3. Die Agenten entscheiden darüber ein neues Gebot abzugeben oder abzulehnen. Eine Zustimmung durch einen Agenten hat den Wert $Z_j = 1$, während eine Ablehnung den Wert $Z_j = 0$ annimmt..
4. Der Mediator bestimmt den aktuell besten Vertrag:

$$c_{t+1}^* = \begin{cases} c'_t & \sum_{j=1}^J Z_j(c'_t) = J \\ c_t^* & \sum_{j=1}^J Z_j(c'_t) \neq J \end{cases} \quad (5.4)$$

Zwei Fälle können auftreten:

Fall 1: Wenn der ermittelte aktuell beste Vertrag aus der Menge der Akteure J stammt, ist das Abbruchkriterium nicht erfüllt und der Mediator beginnt wieder bei Schritt 2 mit $t \leftarrow t + 1$.

Fall 2: Das Abbruchkriterium tritt in Kraft, wenn kein Akteur mehr bereit ist, ein besseres Gebot abzugeben.

5. Sofern das Abbruchkriterium erfüllt ist, legt der Mediator den finalen Vertrag $c = c_T^*$ fest.

Ein derartiges Vorgehen bildet die Grundlage von Kommunikationsprotokollen für MAS, so zum Beispiel das Contract-Net-Protocol von Smith u. Davis (1981) oder auch das Iterated-Contract-Net Protocol (Foundation for Intelligent Physical Agents, 2000), welches Basis des hier präsentierten Verhandlungsprotokolls ist.

5.5 Agentenbasiertes Verhandlungsmodell für Supply Chain Finance

Ziel des agentenbasierten Verhandlungsmodells ist es, die Verhandlungen zwischen dem kapitalnachfragenden Unternehmen und den kapital anbietenden Unternehmen zu unterstützen, unter Berücksichtigung der Informationsasymmetrie zwischen externen und internen Supply Chain-Akteuren und zusätzlichen externen Effekten für interne Supply Chain-Akteure bei der Übernahme der Finanzierung. Da es sich um einen Nachfrager und viele Anbieter handelt, ist das agentenbasierte Verhandlungsmodell daher ein one-to-many-Verhandlungsmodell. Die Grundfunktionen des agentenbasierten Verhandlungsmodells für die Auswahl der besten Finanzierungsoption sind in der JADE-Plattform (Java Agent Development Framework) implementiert (Bellifemine u. a., 2007).

Der hier dargestellte Ansatz wurde auf Basis des Grundmodells der SCF von Gomm (2008) und Pfohl u. Gomm (2009) weiterentwickelt. Er basiert auf der Idee, dass zwischen internen und externen Supply Chain-Akteuren Informationsasymmetrie besteht. Ein Akteur außerhalb der Supply Chain, zum Beispiel ein Kreditinstitut, wird vor Kreditvergabe versuchen das Risiko der Finanzierung abzuschätzen und den zu erhebenden Zinssatz entsprechen bemessen. Ein kapitalnachfragendes Unternehmen innerhalb der Supply Chain hat wiederum Interesse, diese Risiken gegenüber dem potenziellen externen Kapitalgeber als möglichst gering darzustellen. Da diese Tatsache dem externen Kapitalgeber bewusst ist, wird er den Informationen misstrauen und einen zusätzlichen Aufschlag verlangen. Ausgangspunkt ist somit die Annahme, dass es innerhalb der Supply Chain Informationen bezüglich des Finanzierungsrisikos gibt, auf die von außerhalb der Supply Chain kein Zugang möglich ist.

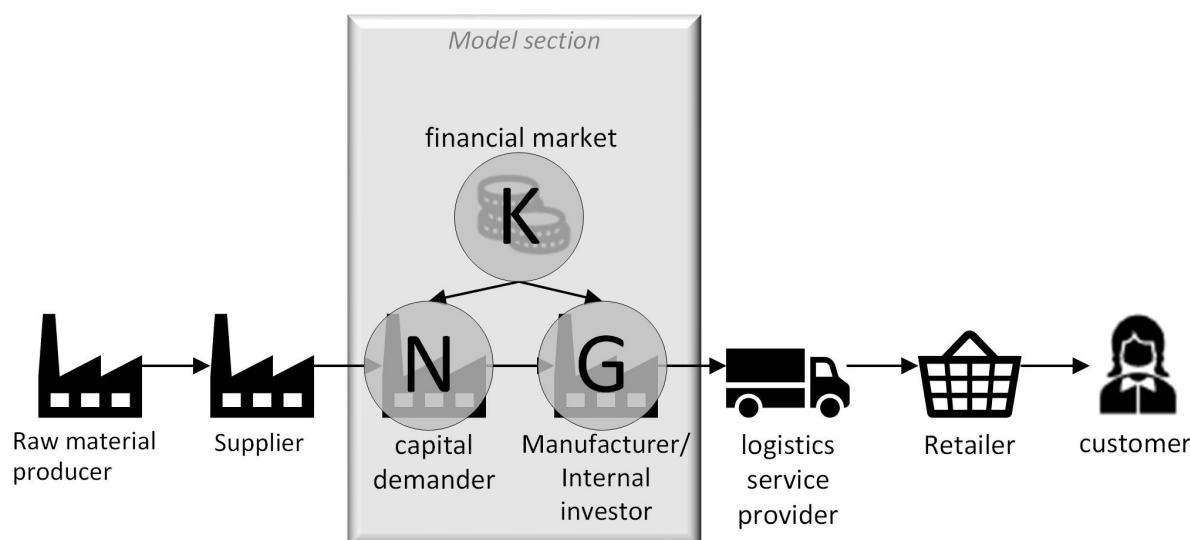


Abbildung 5.2: Modellausschnitt SCF (in Anlehnung an Gomm 2008)

Ausgangspunkt der Überlegungen ist eine Supply Chain mit einem Kapitalnachfrager N

Tabelle 5.1: Agenten Attribute

Attribut	Beschreibung
autonom	Der Agent kann ohne direkten Eingriff von außen handeln.
reaktiv	Der Agent nimmt seine Umgebung wahr und reagiert darauf in einem angemessenen Zeitrahmen.
pro-aktiv	Der Agent ergreift selbst die Initiative, um sein Ziel zu erreichen.
kommunikativ	Agenten können mit anderen Agenten interagieren.
lernend	Agenten ändern ihr Verhalten aufgrund von gesammelten Erfahrungen.

und internen Kapitalgebern G sowie einem externen Kapitalgeber (Kreditmarkt) K (vgl. Abbildung 5.2). Für die Realisierung eines Projektes in der Supply Chain besteht ein Finanzbedarf beim Unternehmen N. Das Unternehmen N hat keine freien Mittel und das Projekt ist so klein, dass die Deckung des Kapitalbedarfs durch Eigenkapital nicht sinnvoll wäre. Als Finanzierungsoptionen stehen demnach die Finanzierung durch einen externen Kapitalgeber K oder durch ein internes Unternehmen G zur Verfügung.

5.5.1 MAS-Architektur des Verhandlungsmodells für SCF

Die hier verwendeten Agenten lassen sich am besten durch ihre Eigenschaften beschreiben (vgl. Tabelle 5.1). In der Literatur werden Begriffe wie intelligente Agenten oder autonome Agenten verwendet, um allgemeine Agenten von solchen zu unterscheiden, die selbst entscheiden können, welche Aktionen in gegebenen Situationen erforderlich sind. Im Folgenden werden die Eigenschaften von Agenten definiert, die im Zusammenhang mit den hier implementierten Agenten relevant sind. Die bekannteste Definition von Agenten in diesem Zusammenhang stammt von [Wooldridge u. Jennings \(1995\)](#). Eine Übersicht über die Klassifizierung von Agenten nach ihren Attributen mit Literaturhinweisen findet sich in [Ediger \(2011\)](#).

Zur Umsetzung des Verhandlungsmodells wird ein MAS eingerichtet, um die Verhandlungen über Finanzierungsoptionen zu unterstützen. Das MAS besteht im Wesentlichen aus drei Typen von Software-Agenten: einem Initiator, dem Kapitalnachfrager (interner SC-Akteur) und zwei Teilnehmer-Agententypen, dem Kapitalmarkt (externer SC-Akteur) und dem Kapitalanbieter/Investor (interner SC-Akteur). Die jeweiligen Funktionen der Agenten sind in Tabelle 5.2 beschrieben.

Die Implementierung erfolgt in JADE. JADE ist ein Framework, das vom Unternehmen Telecom Italia entwickelt wurde und die Implementierung von Multiagentensystem beschleunigen soll. Hierzu kommt eine Middleware zum Einsatz. Zudem werden grafische Werkzeuge angeboten, um die Fehlersuche, die Konfiguration und das Ausführen der Agenten zu vereinfachen. JADE ist komplett in Java programmiert, verwendet den FIPA-Standard und setzt somit auf das FIPA-Referenzmodell auf. Mit dem Agent Management System (AMS) lassen sich die Agenten steuern. Abbildung 5.3 zeigt die zugrunde liegende Architektur des Systems. Die Anwendung besteht aus den beschriebenen drei Agententypen, deren Anzahl beliebig skaliert werden kann. Außerdem umfasst die Anwendung zwei

Tabelle 5.2: Agenten und ihre Eigenschaften im MAS für SCF

Attribute	Agent / Beschreibung		
	Kapitalnachfrager (Initiator)	Kapitalmarkt (Teilnehmer)	Kapitalanbieter/Investor (Teilnehmer)
autonom	entscheidet unabhängig über die Annahme von Krediten, lädt Investoren zu Verhandlungen ein; nimmt das Angebot der Bank an; nimmt Verhandlungen mit Lieferanten auf und entscheidet über die Annahme von Krediten	entscheidet unabhängig über die Gewährung von Darlehen und die Bedingungen (Zinsen); akzeptiert Kapitalanfragen und gewährt Kredite	entscheidet selbständig über die Annahme und Gewährung von Krediten; nimmt Angebote vom Kapitalmarkt an & nimmt Anfragen von Nachfragern entgegen & entscheidet über die Verhandlungsbereitschaft; verhandelt den Zinssatz für die Kreditvergabe an Nachfrager & legt untere Bietgrenze fest & gewährt Kredite
proaktiv, reaktiv	reagiert auf Kreditangebot, nimmt an Verhandlungen teil (Auktion); legt den Startwert fest;	reagiert auf (neue) Kreditanträge & erwartete Kreditrückzahlung;	reagiert auf Kreditanträge & nimmt an Verhandlungen teil (Auktion); reagiert auf Gebote;
	eigenes Ziel: Gewinnmaximierung; SC-Ziel: Minimierung der Kapitalkosten		SC-Ziel: Minimierung der Kapitalkosten
kommunikativ	Austausch von Nachrichten mit Kapitalgebern; sendet Kreditanträge & empfängt Kreditangebote; sendet Verhandlungsantrag & empfängt Angebote	Austausch von Botschaften mit Kapital-suchenden (Nachfrager und Investoren); empfängt Kreditanträge & sendet Angebote (Ausleihe)	Austausch von Botschaften mit Agenten Kapitalmarkt und Nachfrager; sendet Kreditantrag & empfängt Kreditangebot; empfängt Verhandlungsgesuche und sendet Angebote

Tabelle 5.2: Agenten und ihre Eigenschaften im MAS für SCF (Fortsetzung)

Attribute	Agent / Beschreibung		
	Kapitalnachfrager (Initiator)	Kapitalmarkt (Teilnehmer)	Kapitalanbieter/Investor (Teilnehmer)
lernend	Kenntnis des Finanzierungsrisikos und der erwarteten Rendite; Bewertung der Finanzierungsmöglichkeiten und Entscheidung für die Beste	Kenntnisse über die Kreditwürdigkeit der Kapitalnachfragenden	Kenntnis des Finanzierungsrisikos, der eigenen Kapitalkosten und des externen Nutzens

Spezialagenten, die JADE zur Verfügung stellt. Das Agent Management System (AMS), welches die Autorität in der Plattform repräsentiert und als einziger Agent in der Lage ist, Plattformverwaltungsaktionen, wie das Starten und Eliminieren von Agenten oder das Herunterfahren der gesamten Plattform durchzuführen (normale Agenten können solche Aktionen beim AMS anfordern). Sowie das Directory Faciliator (DF), welcher einen Dienst analog den Gelben-Seiten anbietet. Hier können Agenten die von ihnen angebotenen Dienste veröffentlichen und andere Agenten können diese finden bzw. benötigte Dienste anfragen ([Bellifemine u. a., 2007](#)).

5.5.2 Ablauf des Verhandlungsmodells für SCF

Die Bestimmung der besten Finanzierungsoption unter Berücksichtigung von Informationsasymmetrie und -kosten sowie einem zusätzlichen externen Nutzen läuft in drei Phasen ab, die nachfolgend erläutert werden. Für die notwendigen Berechnungen wurde das Grundmodell der SCF von [Gomm \(2008\)](#) erweitert. Insbesondere wurde der Parameter des nicht-finanziell bezogenen, externen Effekts (Nutzen y), der dem kapitalgebenden Unternehmen (G) bei der Übernahme der Finanzierung eines Projektes (P) bei einem kapitalnachfragenden Unternehmen (N) zugeschrieben wird, operationalisiert.

Vorbereitungsphase

Zunächst erfragen alle potenziellen Kapitalgeber (i_G) und der Kapitalnachfrager (i_N) am Kapitalmarkt (K) (z. B. bei einer Bank) nach den Konditionen für das Fremdkapital. Die Bank ermittelt die Zinsen auf Grundlage der jeweiligen Bonität und übermittelt an die Nachfrager entsprechende Angebote. Wegen der unterschiedlich guten Bonitäten und Beziehungen zur jeweiligen Bank fallen für die nachgefragte Summe unterschiedliche Kosten an.

Im nächsten Schritt werden die Renditeforderungen (r_G) gegenüber dem Nachfrager für

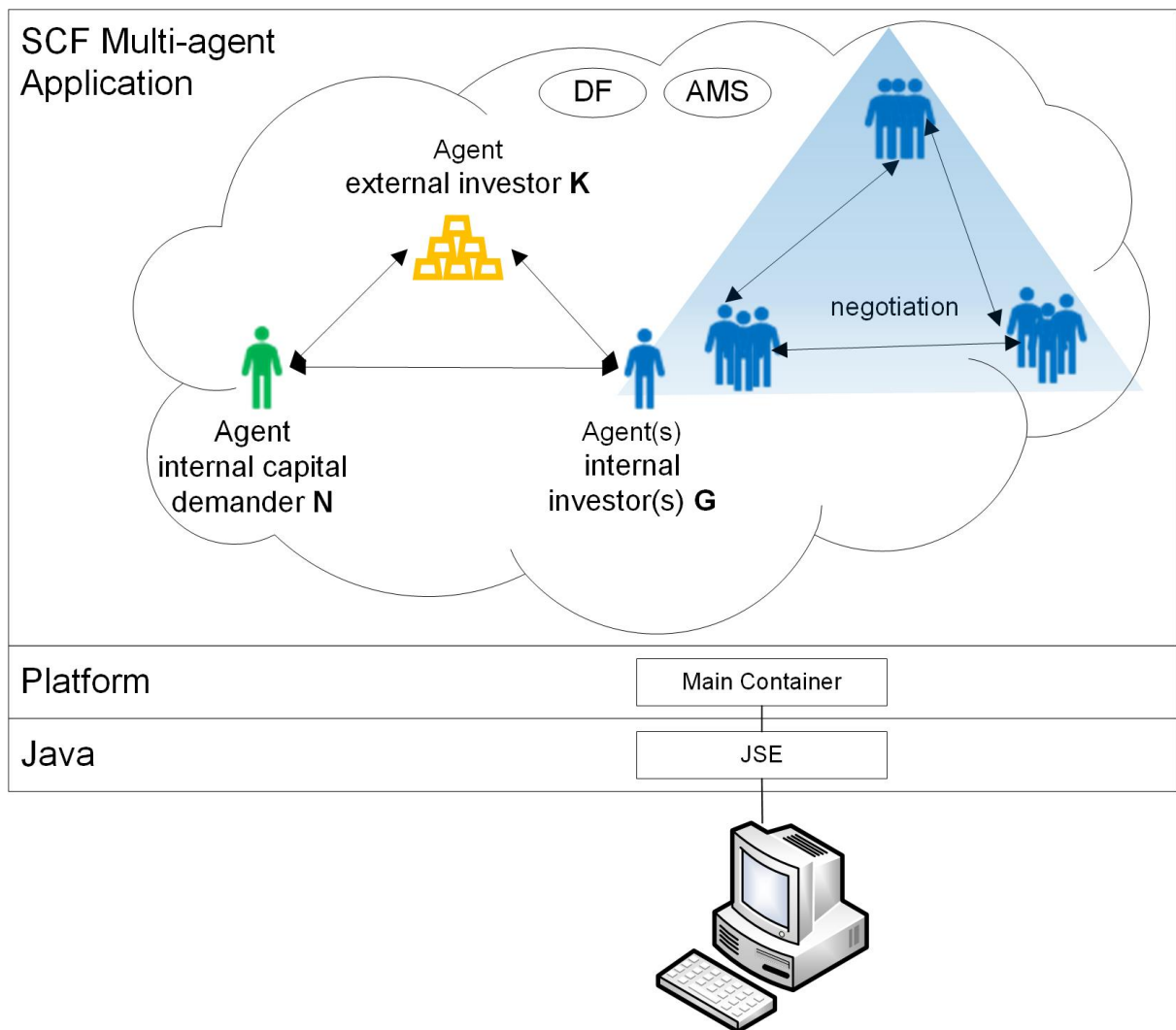


Abbildung 5.3: Architektur des MAS für SCF (eigene Darstellung)

jeden der potenziellen internen Kapitalgeber berechnet. Die Renditeforderung ist dabei abhängig von dem Informationsstand ($p_{in,fopt}$), sprich dem Risiko bezüglich des zu finanzierenden Projektes (vgl. Formel 5.6), dem Fremdkapitalzins und einem möglichen externen Nutzen (y) in Form von hinzugewonnenem Vertrauen durch die mögliche Übernahme der Finanzierung für ein Projekt innerhalb der SC (vgl. Formel 5.5). Der externe Nutzen setzt sich aus drei Faktoren zusammen: Risiko, Nutzen und Bedeutung (vgl. Formel 5.7). Der Faktor (R) entspricht dem Risiko, was mit der möglichen Übernahme der Finanzierung verbunden ist. Der potenzielle Investor hat Informationen über das zu finanzierende Projekt und kann daher den Erfolg des Projekts mit einer Wahrscheinlichkeit von $0 < p \leq 1$ (Gomm, 2008) einschätzen. Durch die Übertragung von Informationen von N auf G wird das wahrscheinliche Risiko für G auf $1 - p_{in,fopt}$ reduziert (vgl. Formel 5.8). Der Faktor Nutzen (U) für G bei der Übernahme der Finanzierung des Projekts besteht aus dem monetären Teil in Form von $U_1 = r_G * p_{in,fopt} - i_G$ und einer nicht-monetären

Komponente als Wahrscheinlichkeit für einen späteren Vertrauenszuwachs, den G von N erwarten kann, als Parameter $U_2 = [0, 1]$ (vgl. Formel 5.9).

Die Bedeutung (I) des Projekts für die Lieferkette wird als Wahrscheinlichkeit mit einem Parameter im Intervall $]0, 1]$ geschätzt (vgl. Formel 5.7). Die Null wird ausgeschlossen, weil es nicht sinnvoll erscheint, dass ein interner SC-Akteur ein Projekt finanziert, das keine positiven Auswirkungen auf die SC hat, in der sowohl N als auch G Akteure sind. Die Finanzierung eines für die SC nutzlosen Projekts durch G wird also ausgeschlossen.

$$r_G = \frac{i_G - y}{p_{infect}} \quad (5.5)$$

$$p_{infect} = \sqrt{\frac{i_G}{C}} \quad (5.6)$$

$$y = R \cdot U \cdot I \text{ mit } I \in]0, 1] \quad (5.7)$$

$$R = 1 - p_{infect} \quad (5.8)$$

$$U = U_1 + U_2 = (r_G \cdot p_{infect} - i_G) + U_2 \text{ mit } U_2 \in [0, 1] \quad (5.9)$$

Die derart bestimmten Renditeforderungen markieren zugleich die jeweiligen unteren Bietgrenzen der internen Investoren. Im selben Schritt erfolgt auch die Kalkulation der zu erwartenden Kosten bzw. der verbleibenden Rendite für den Nachfrager, wenn eine Finanzierung über den externen Kapitalmarkt (Bank) stattfinden würde. Der Fremdkapitalzinssatz (i_N), der an die Bank fällig wäre, stellt zugleich das Eröffnungsgebot der folgenden Auktion dar.

Verhandlungsphase

Die Verhandlungsphase ist durch eine umgekehrte Auktion gekennzeichnet. Das kapitalnachfragende Unternehmen eröffnet die Auktion mit dem Eröffnungsgebot in Höhe des Fremdkapitalzinssatzes, der bei einer Finanzierung durch die Bank anfallen würde. Die Gebote durch alle interessierten internen Investoren erfolgen mithilfe von Zufallszahlengeneratoren und einfacher Logik. Das jeweilige niedrigste Gebot der Vorrunde dient als Eröffnungsgebot der Folgerunde. Ein Investor wird dabei nur solange mitbieten, wie seine Bietuntergrenze (Renditeforderung) nicht unterschritten wird andernfalls steigt er aus der Auktion aus. Durch dieses iterative Bieten über mehrere Runden ist nach endlich vielen Runden ein Gewinner ermittelt.

Im abschließenden Schritt dieser Phase vergleicht das kapitalnachfragende Unternehmen die nun vorliegenden beiden Angebote des internen Investors und des externen Kapitalgebers (Bank). So wird sichergestellt, dass das Angebot mit den niedrigsten Kapitalkosten den Zuschlag erhält. Bei der Finanzierung durch die Bank ist die zu erwartende Rendite (r_N) für das nachfragende Unternehmens abhängig von der Projektrendite ($r_{Projekt}$) und dem Fremdkapitalzins (vgl. Formel 5.10). Wird die Finanzierung durch einen internen

Investor übernommen, sind zusätzlich die Kosten (c) für die Informationsübertragung an diesen zu berücksichtigen (vgl. Formeln 5.11, 5.12 und 5.13).

$$r_N = r_{Project} - i_G \quad (5.10)$$

$$r_N = r_{Project} - i_G - c \quad (5.11)$$

$$c = \Delta p \cdot C \quad (5.12)$$

$$\Delta p = p'_0 - p_0 \quad (5.13)$$

Ausführungsphase

In dieser Phase ist die beste Finanzierungsoption bekannt und der Nachfrager nimmt das entsprechende Angebot an. Im Anschluss erfolgt die Berechnung der Rückzahlungsmodalitäten sowie der Gewinne für Geber und Nehmer, die durch die Finanzierung des Projektes zu erwarten sind. Nach vollständiger Rückzahlung des geliehenen Kapitals ist die Transaktion abgeschlossen.

5.5.3 Entwurf eines Verhandlungsprotokolls für SCF

Das Senden und Empfangen von Nachrichten bildet die Grundlage der Kommunikation. In Multiagentensystemen basiert die Kommunikation auf der Sprechakttheorie (Austin 1975; Searle 1969). Demnach besteht ein Sprechakt aus einer Sprache, die zu Handlungen führt. Kommunikation ist demzufolge eine Form der Aktion. Eine Sprache, die es Agenten ermöglicht zu kommunizieren, beschreibt also die Bestandteile der Kommunikation, die Nachrichten. Protokolle sichern dabei die Sinnhaftigkeit der ausgetauschten Nachrichten. Basis ist der Gedanke mit der Nachricht alle Informationen mitzusenden, die für das Verständnis des Inhalts notwendig sind.

Das entwickelte Verhandlungsprotokoll stellt eine Erweiterung des Iterated-Contract-Net Protocol dar und verwendet, die von der FIPA standardisierte Agent Communication Language (ACL). Der FIPA Standard SC00037J (Foundation for Intelligent Physical Agents, 2002) beschreibt insgesamt 22 Nachrichtentypen, sogenannte „Communicative Act“ (Sprechakte). Die im Verhandlungsprotokoll für das SCF verwendeten, sind in Tabelle 5.3 erläutert. Das SCF-Protokoll ähnelt einer umgekehrten Auktion, bei der das niedrigste Gebot das beste Gebot ist. Die Auktion läuft genau so lange, wie es Gebote gibt, die niedriger sind als das aktuell beste. Der folgende Pseudocode beschreibt diesen Vorgang.

```

on receive loan offer {
    compute opening bid;
    send cfp to participants;
}
DO WHILE on receive bids from participants {

```

```

evaluate bids;
  IF (participant send refuse) {
    participant exit of auction;
  } ENDIF
  IF (non final iteration) {
    IF (participant send proposal)
      THEN {compute new bid;
            send new cfp to remaining participants;
           } ELSE {
            reject proposal;
           }
    }ENDIF
  IF (final iteration) {
    IF (proposal is acceptable) {
      send accept to participant;
      exit auction;
    } ELSE {
      reject proposal;
      exit auction;
    }
  } ENDIF
}
ENDDO
on receive accept from participant {exit;}

```

Tabelle 5.3: Verwendete Nachrichtentypen in FIPA ACL im Modellkontext

Nachrichtentypen	Beschreibung
call for proposal (cfp)	Der Initiator fordert zur Abgabe eines Angebots auf. Der Verhandlungsprozess beginnt. Die gewünschte Aktion und die notwendigen Voraussetzungen werden übermittelt.
propose	Ist die Antwort eines potenziellen Teilnehmers auf ein cfp an den Initiator. Ein Angebot wird abgegeben, es umfasst die erforderlichen Angaben, wie z.B. Kosten, Termin, Menge.
refuse	Ist die Antwort eines potenziellen Teilnehmers auf ein cfp. Eine Ablehnung wird übermittelt, z.B. wegen Kapazitätsgründen.
reject-proposal	Der Initiator lehnt ein Angebot ab.
accept-proposal	Der Initiator nimmt ein Angebot an.
information	Basismechanismus zum Informationsaustausch
failure	Die Durchführung einer machbaren Aktion ist aus irgendeinem Grund gescheitert. Der Grund wird mit übertragen.

Wie Abbildung 5.4 zeigt, sind die drei Phasen des Verhandlungsmodells im Protokoll

umgesetzt. Zur Erfüllung der Vorbereitungsphase werden an den Agenten Kapitalmarkt zunächst „cfp“ gesendet, um die Fremdkapitalkosten zu ermitteln. Dieser antwortet mit „propose“ und übermittelt so entsprechende Konditionen. Vor Eintritt in die Verhandlungsphase werden auf Grundlage der Informationen aus der Vorbereitungsphase seitens des Agenten Kapitalnachfrager (Initiator) das Eröffnungsgebot kalkuliert und seitens der Kapitalanbieter/Investor (Teilnehmer) die Untergrenzen bis zu der das Unterbreiten eines Angebotes sinnvoll ist. In der Verhandlungsphase fordert der Agent Kapitalnachfrager (Initiator) die Agenten Kapitalanbieter/Investoren (Teilnehmer) dazu auf, Angebote abzugeben. Es werden nur diejenigen potenziellen internen Investoren ein Angebot machen, die ein Gebot abgeben können, was unter dem Eröffnungsgebot liegt. Im Ergebnis der ersten Runde liegen verschiedene Angebote beim Initiator vor. Die nächste Runde wird wieder mit einem „cfp“ eröffnet, wobei nun das Eröffnungsgebot dem besten Gebot der Vorrunde entspricht. Wieder können nun seitens der Investoren niedrigere Gebote gemacht werden oder ablehnt werden. Dieser Prozess wird solange wiederholt, bis kein Teilnehmer mehr bietet, weil keiner mehr ein besseres Angebot übermitteln kann. Bevor es nun zur Ausführung kommt, wird geprüft, ob das Gewinnergebot des Verhandlungsprozesses besser ist als das Angebot des Kapitalmarktes zu Beginn der Vorbereitungsphase. In der Ausführungsphase wird der Gewinner über die Annahme des Angebotes informiert, die eigentliche Kreditvergabe und -rückzahlung erfolgen.

5.5.4 Experimente

Zum Testen der Implementierung des Fallbeispiels wurden drei interne Kapitalanbieter-Agenten sowie je ein externer Kapitalanbieter-Agent und ein interner Kapitalnachfrager-Agent erzeugt.

Experiment ohne externen Nutzen

Um die Funktionalität des Protokolls zu überprüfen, wurde zunächst ein vereinfachtes Experiment durchgeführt. Das heißt, es wurde ein externer Nutzen y von null angenommen. Die jeweiligen Gebote hängen also nur vom Fremdkapitalzinssatz und der Risikoeinschätzung in Form des Parameters p ab. Der Fokus lag auf dem Koordinationsmechanismus der implementierten Auktion. Die folgenden Daten bilden die Grundlage des Experiments (vgl. Tabelle 5.4). Laut der Daten müsste der Nachfrager mit einem Zinssatz von 10% rechnen, wenn die Finanzierung über den Kapitalmarkt erfolgen würde. Dies könnte z. B. der Fall sein, wenn es sich bei dem Anbieter um ein mittelständisches Unternehmen mit mäßiger Bonität handelt. Und die kreditgebende Bank würde das Risiko der Finanzierung des geplanten Projekts aufgrund fehlender Informationen entsprechend einschätzen. Die Investoren G_1 bis G_3 hingegen können mit deutlich geringeren Fremdkapitalkosten rechnen. Dies könnten finanzstarke Kunden (Hersteller) des Lieferanten sein. Im Gegensatz zum Kapitalmarkt haben die potenziellen Investoren aufgrund ihrer Position in der SC von vornherein Informationen (hier mit p_0 von 10% angegeben) über das zu finanzierende

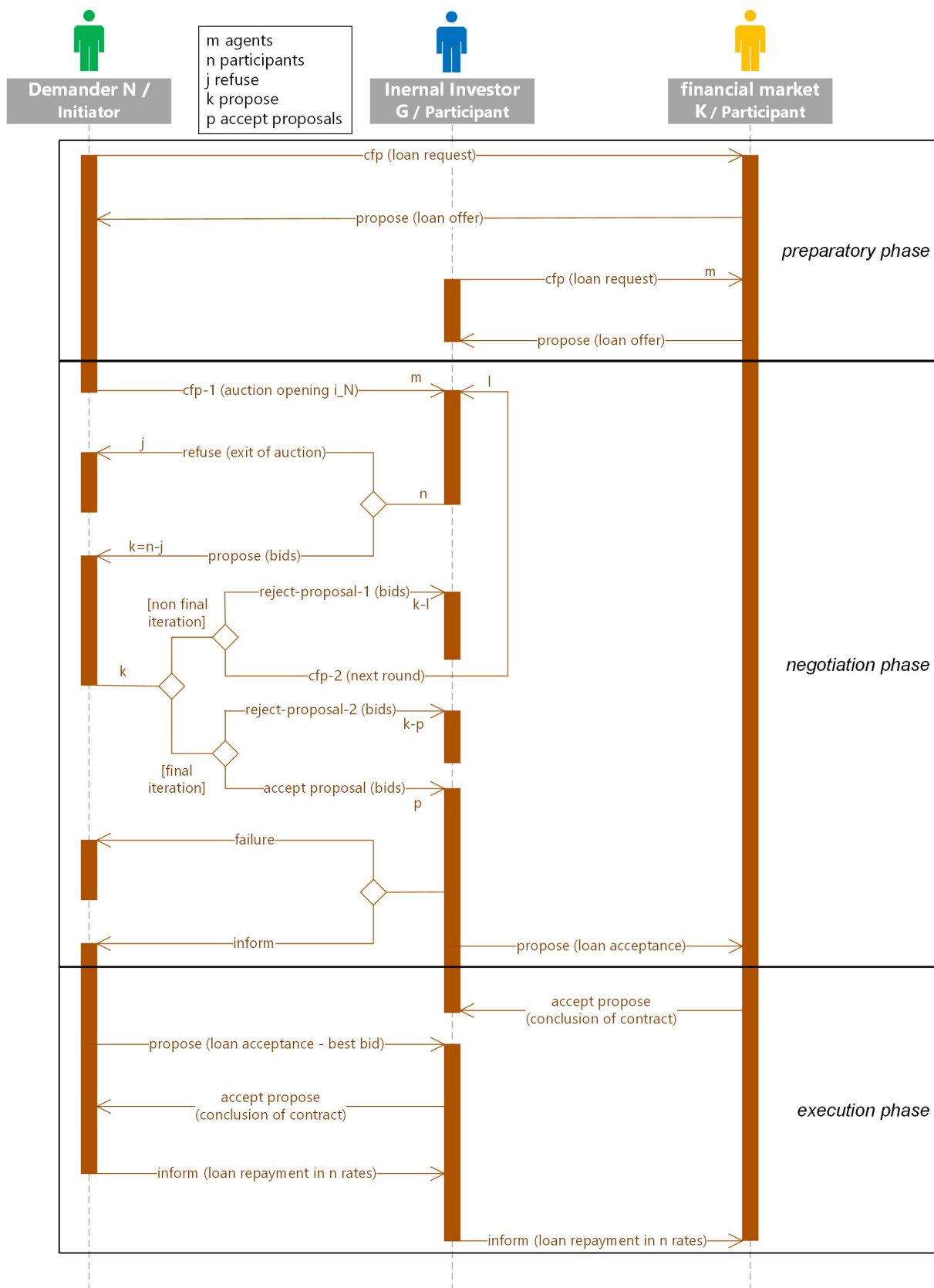


Abbildung 5.4: UML Verhandlungsprotokoll (eigene Darstellung)

Tabelle 5.4: Ausgangsdaten des einfachen Experiments

	Nachfrager	interner Investor		
		G_1	G_2	G_3
Zinssatz (i_N / i_G)	10,0%	6,0%	4,0%	4,5%
Kapitalbedarf	2000 €			
Laufzeit	2 Jahre			
Informationskosten C	100 €			
Projekttrendite $r_{project}$	20%			
Informationsmenge p_0	10%			

Projekt. Sie können daher das mit der Finanzierung verbundene Risiko besser einschätzen als der Kapitalmarkt, zumal bei den Verhandlungen weitere Informationen weitergegeben werden. Dies ist jedoch mit Kosten (100 €) in Höhe von 5% des Kreditvolumens verbunden, sodass Informationen nur solange übertragen werden, wie die Kosten den Nutzen nicht übersteigen (bis zum Punkt p_{infopt}).

Ablauf (Vorbereitungsphase)

Zunächst werden die jeweiligen Renditeanforderungen der Investoren (r_G) in Abhängigkeit vom Fremdkapitalzins und den Informationskosten ermittelt, die auch die jeweiligen unteren Bietgrenzen der Investoren darstellen. Die folgenden Daten (Tabelle 5.5) wurden berechnet. Demnach würde der Investor G_1 die Finanzierung übernehmen, wenn er eine

Tabelle 5.5: Bestimmung der unteren Gebotsgrenzen

	G_1	G_2	G_3
p_{infopt}	100,00%	89,44%	94,87%
c	4,50%	3,97%	4,24%
r_G	6,00%	4,47%	4,74%

Rendite von mindestens 6% erwarten kann, G_2 von 4,47% und G_3 von 4,74%. Das Eröffnungsgebot des Nachfragers (N) liegt bei 10%, was dem Zinssatz bei einer Finanzierung über den Finanzmarkt entsprechen würde.

Ergebnis (Verhandlungsphase)

Abbildung 5.5 und Tabelle 5.6 unten zeigen den Verlauf und das Ergebnis der Auktion.

Das Startgebot beträgt 10% und alle Investoren unterbieten und gehen in die nächsten Auktionsrunden. Der Investor G_1 scheidet nach der 12. Runde aus, da das abgegebene Gebot nahe an seinem Bietlimit liegt und es nicht unterschritten wird. Drei weitere Runden lang verhandeln die Investoren G_2 und G_3 , bis G_3 nach der 15. Runde kein Gebot

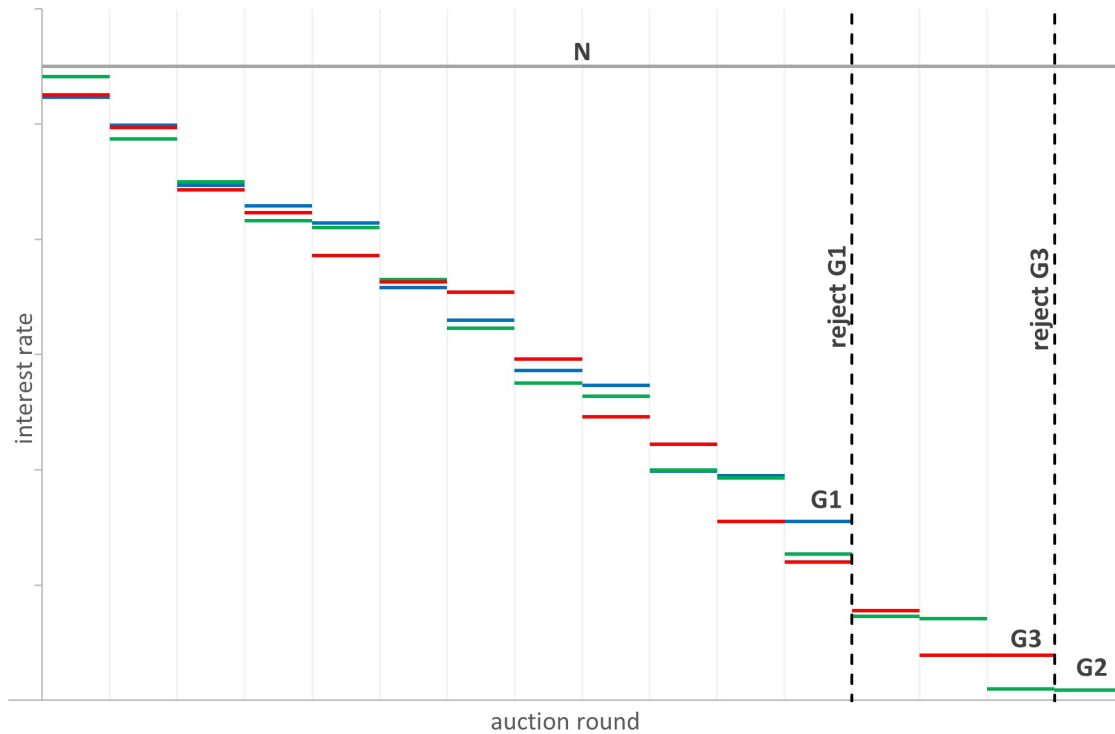


Abbildung 5.5: Gebote ohne externen Nutzen (eigene Darstellung)

mehr abgibt. G_3 verhält sich wie G_1 und gibt, da sein Limit fast erreicht ist, kein weiteres Gebot ab. Daher gewinnt G_2 die Auktion und bietet nun an, das Projekt für eine Rendite von 4,59% zu übernehmen.

Finanzierung (Umsetzungsphase)

Der Auktionsgewinner G_2 nimmt nun einen 4%-igen Kredit am Kapitalmarkt auf und wird seinerseits das Projekt zu dem in der Auktion ausgehandelten Preis von 4,59% finanzieren. Die Kapitalkosten für die Lieferkette wurden durch diese Maßnahme um 1,44% reduziert. Bei einer Finanzierung über den Finanzmarkt (K) würde N nur eine Rendite von 10% erwarten, während die Rendite für N bei einer Finanzierung über den Auktionsgewinner 11,44% beträgt. Es wird auch erwartet, dass die Beziehung zwischen den beteiligten Akteuren der Lieferkette durch ihre gemeinsame Teilnahme am Projekt gestärkt wurde. Dies wird im folgenden Experiment berücksichtigt.

Experiment mit dem externen Nutzen

Im vorherigen Experiment konnten die Funktion und der Nutzen des Modells gezeigt werden. Nun sollten die Komplexität des Anwendungsfalls erhöht und ein möglicher zu-

Tabelle 5.6: Auktionsverlauf ohne externen Nutzen

Runde	Gebote (Zinssatz)			Runde	Gebote (Zinssatz)		
	G_1	G_2	G_3		G_1	G_2	G_3
1	9,73%	9,91%	9,75%	9	7,23%	7,14%	6,96%
2	9,49%	9,37%	9,47%	10	6,49%	6,50%	6,72%
3	8,97%	9,00%	8,93%	11	6,45%	6,43%	6,05%
4	8,79%	8,66%	8,73%	12	6,05%	5,77%	5,70%
5	8,64%	8,60%	8,36%	13		5,23%	5,28%
6	8,08%	8,15%	8,13%	14		5,21%	4,89%
7	7,80%	7,73%	8,04%	15		4,60%	4,89%
8	7,36%	7,25%	7,46%	16		4,59%	

sätzlicher Nutzen, der durch die Übernahme der Finanzierung zu erwarten ist, in Betracht gezogen werden. Um zu zeigen, dass unter Berücksichtigung von y ein Bieter mit nicht der besten Bonität als Gewinner hervorgehen kann, wurden die Daten wie folgt ausgewählt (Tabelle 5.7).

In dieser Situation würde die Finanzierung des Projekts über den Finanzmarkt 8% Zin-

Tabelle 5.7: Ausgangsdaten mit externem Nutzen

	Nachfrager	interner Investor		
		G_1	G_2	G_3
Zinssatz (i_N / i_G)	8,0%	6,0%	4,0%	4,5%
Nutzen U_2		30,0%	25,0%	50,0%
Bedeutung I		10,0%	10,0%	10,0%
<hr/>				
Kapitalbedarf	2000 €			
Laufzeit	2 Jahre			
Informationskosten C	200 €			
Projekttrendite $r_{project}$	20%			
Informationsmenge p_0	10%			

sen für den Nachfrager zur Folge haben und die potenziellen internen Investoren hätten aus bekannten Gründen wieder deutlich bessere Konditionen. Allerdings schätzen die drei Investoren die Wahrscheinlichkeit eines Vertrauenszuwachses (U_2) durch die Finanzierungsübernahme unterschiedlich ein. Die Bedeutung (I) des Projekts für die Lieferkette wird von allen mit 10% angenommen. Alle anderen Variablen bleiben gegenüber dem vorherigen Experiment unverändert.

Ablauf (Vorbereitungsphase)

Zunächst werden wieder die jeweiligen Renditeanforderungen (r_G) der Investoren berech-

net. Diesmal sind sie abhängig vom Fremdkapitalzinssatz, den Informationskosten und den externen Effekten. Diese Renditeanforderungen stellen wiederum die jeweiligen Untergrenzen für die Gebote der Investoren dar. Es wurden die folgenden Daten berechnet (Tabelle 5.8).

Bereits an dieser Stelle wird deutlich, dass G_3 den größten externen Nutzen erwartet und

Tabelle 5.8: Ermittlung der Gebotsuntergrenzen mit externen Nutzen

	G_1	G_2	G_3
p_{infopt}	77,46%	63,25%	67,08%
c	6,75%	5,32%	5,71%
y	0,68%	0,92%	1,65%
r_G	6,87%	4,87%	4,25%

daher mit der geringsten Renditeforderung in die Auktion geht, obwohl seine Bonität im Vergleich zu den anderen Investoren nicht die Beste war. Interessant ist nun die Klärung der Fragen, ob G_3 auch als Auktionsgewinner hervorgehen wird und ob die Finanzierung des Projekts für N über den Finanzmarkt oder den Auktionsgewinner vorteilhafter ist.

Ergebnis (Verhandlungsphase)

Abbildung 5.6 und die Tabelle 5.9 zeigen den Verlauf und das Ergebnis der Auktion. Das Startgebot liegt bei 8% und alle Investoren haben unterboten und gehen in die nächsten Auktionsrunden. Der Investor G_1 scheidet nach der vierten Runde aus, da das Startgebot der folgenden Runde nahe an seinem Bietlimit liegt und er dieses nicht unterschreiten wird. Sieben weitere Runden lang verhandeln die Investoren G_2 und G_3 , bis G_2 nach der 11. Runde kein Gebot mehr abgibt. Das Gebot von G_3 in der 11. Runde beträgt 4,58%, was nahe am Gebotslimit von G_2 liegt. G_3 gewinnt daher die Auktion und bietet nun für eine Rendite von 4,33% für das Projekt.

Tabelle 5.9: Auktionsverlauf mit externem Nutzen

Runde	Gebote (Zinssatz)			Runde	Gebote (Zinssatz)		
	G_1	G_2	G_3		G_1	G_2	G_3
1	7,57%	7,98%	7,92%	7		5,66%	5,97%
2	7,30%	7,39%	7,41%	8		5,63%	5,66%
3	7,19%	7,21%	7,26%	9		5,32%	5,28%
4	7,19%	6,93%	6,83%	10		5,06%	5,14%
5		6,63%	6,50%	11		5,06%	4,58%
6		6,03%	6,31%	12			4,33%

Finanzierung (Umsetzungsphase)

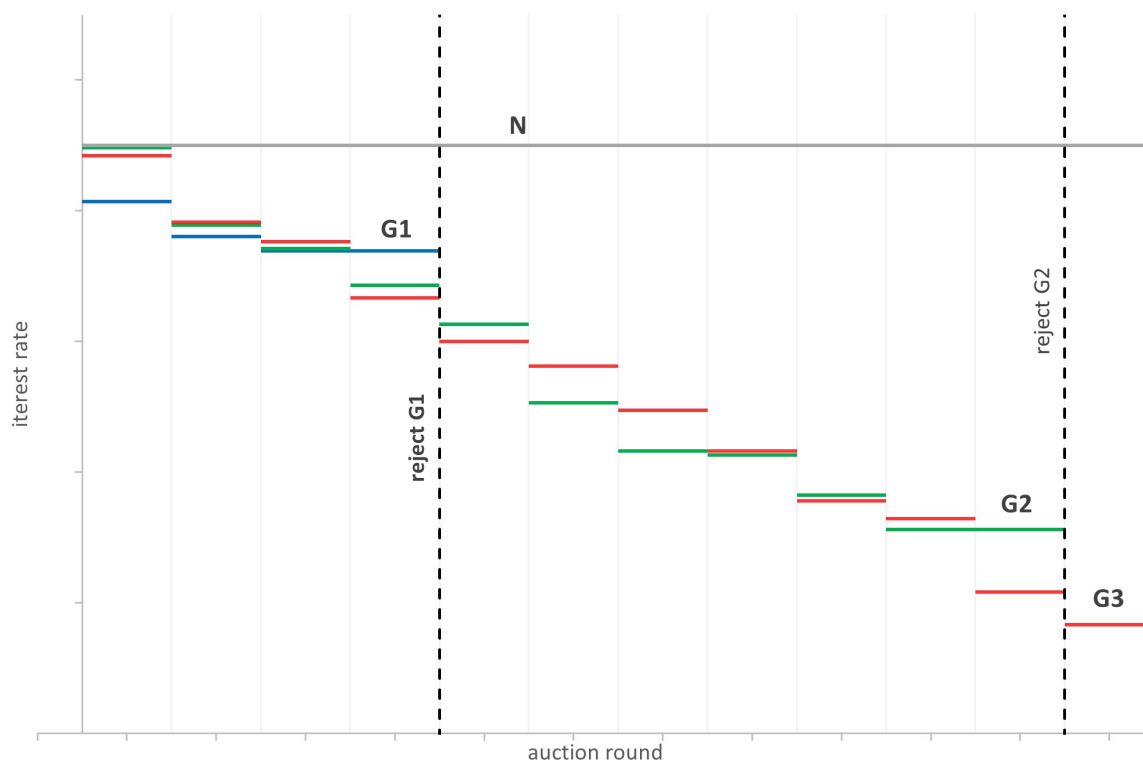


Abbildung 5.6: Gebote mit externem Nutzen (eigene Darstellung)

Gewinner G_3 wäre also bereit, die Finanzierung für 4,33% zu übernehmen, obwohl er im Gegenzug mit Fremdkapitalkosten von 4,5% rechnen müsste. Er erwartet jedoch einen nicht-finanziellen Nutzen, der so hoch ist, dass sich die Übernahme der Finanzierung noch lohnen würde. Seine Gesamtrendite unter Berücksichtigung von y würde daher 0% betragen, sodass er sich mit einer risikoadäquaten Rendite zufriedengeben würde. Für N stellt sich jedoch die Frage, welche der beiden Finanzierungsmöglichkeiten günstiger wäre. N muss also die zu erwartenden Renditen bei einer Finanzierung über G_3 oder K vergleichen. Es zeigt sich, dass N bei einer Finanzierung über K eine Rendite von 12% erwarten kann und bei einer Finanzierung über G_3 nur 9,96%. Daher sollte das Projekt über K finanziert werden.

5.6 Fazit und Ausblick

Das in diesem Beitrag vorgestellte Verhandlungsprotokoll im Rahmen eines MAS für das SCF ermöglicht eine automatisierte Verhandlung und Entscheidung über optimale Finanzierungsoptionen. Nach einer detaillierten Betrachtung der Grundlagen des SCF und MAS wurden die Anforderungen an ein solches Verhandlungsprotokoll erläutert. Bei der Entwicklung der Agenten aus der Analyse der Akteure des SCF wurde eine Auktion als

Koordinierungsmechanismus implementiert. Die Grundlage für den Verhandlungsprozess ist eine Weiterentwicklung des Grundmodells des SCF nach [Gomm \(2008\)](#). Wie in Kapitel [5.5.4](#) beschrieben, konnte das Potenzial des Modells in Experimenten gezeigt werden. Dabei wurde jeweils die Finanzierungsvariante mit den geringsten Kapitalkosten gefunden. Das Modell berücksichtigt die Informationsasymmetrie zwischen externen und internen Supply Chain Akteuren und zusätzliche externe Effekte für interne Supply Chain Akteure bei der Übernahme der Finanzierung, formalisiert durch die Faktoren U , I und R .

Im ersten Experiment wurde zur Begrenzung der Komplexität ein externer Nutzen y von null angenommen. Die Kapitalkosten, die per Auktion ausgehandelt wurden, waren abhängig vom Zinssatz des Fremdkapitals und dem Risiko in Form der verfügbaren Informationsmenge (p_0 bzw. $p_{in,opt}$) über das zu finanzierende Projekt. Es konnte ein Auktionsgewinner ermittelt werden, dessen Angebot besser war als die Finanzierung über den Finanzmarkt. Entsprechend wurde das Projekt durch einen internen SC-Akteur finanziert.

Im Gegensatz dazu wurde im zweiten Experiment der externe Nutzen y in Form von formalisiertem Vertrauen betrachtet. Die Berechnung der unteren Gebotsgrenzen (Tabelle [5.8](#)) zeigte bereits, dass der Investor G_3 aufgrund des erwarteten externen Nutzens eine Mindestrendite verlangte, die unter seinem Fremdkapitalzinssatz lag. Der Investor G_3 ging dann als Gewinner der Auktion aus den Verhandlungen hervor. Er bot jedoch aufgrund der hohen Kosten (5,71%) für die Bereitstellung weiterer Informationen zur Risikominderung nicht die beste Finanzierungsoption an. Dementsprechend wurde das Projekt von einem externen SC-Akteur finanziert.

Das Thema Nachhaltigkeit in Lieferketten gewinnt derzeit an Bedeutung, und auch der politische und gesellschaftliche Druck nimmt zu. Die deutsche Regierung erwägt derzeit ein Lieferkettengesetz. Eine Umfrage zum Nationalen Aktionsplan für Wirtschaft und Menschenrechte ([Auswärtiges Amt, Juli](#)) hat ergeben, dass Unternehmen in Deutschland die ethischen Grundsätze in Lieferketten zu wenig kontrollieren und nicht ausreichend transparent machen. Es besteht daher ein dringender Handlungsbedarf. Eine mögliche Weiterentwicklung des hier vorgestellten Ansatzes könnte darin bestehen, die Nachhaltigkeitsleistung des kapitalnachfragenden Unternehmens zu berücksichtigen, z. B. indem es mit günstigeren Finanzierungsmöglichkeiten belohnt wird.

Literaturverzeichnis

- [Abdollahzade u. a. 2018] ABDOLLAHZADE, A. ; SHAHBAZI, M. ; GHATARI, R. A.: Conceptual Agent based Modeling in Supply Chain: An Economic Perspective. In: *Environmental Energy and Economic Research* 2 (2018), Nr. 4, S. 250–263. <http://dx.doi.org/10.22097/eeer.2019.160148.1054>
- [Aknine u. a. 2004] AKNINE, S. ; PINSON, S. ; SHAKUN, M. F.: An Extended Multi-Agent Negotiation Protocol. In: *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 8 (2004), Nr. 1, S. 5–45. <http://dx.doi.org/10.1023/B:AGNT.0000009409.19387.f8>. – ISSN 1387–2532
- [Alchian u. Demsetz 2009] ALCHIAN, A. ; DEMSETZ, H.: Production, information costs, and economic organization. Version: 2009. <http://dx.doi.org/10.1017/cbo9780511817410.015>. In: KROSZNER, R. (Hrsg.) ; PUTTERMAN, L. G. (Hrsg.): *The economic nature of the firm*. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. – ISBN 9780511817410, S. 173–196
- [Aljazzar u. a. 2018] ALJAZZAR, S. M. ; GURTU, A. ; JABER, M. Y.: Delay-in-payments - A strategy to reduce carbon emissions from supply chains. In: *Journal of Cleaner Production* 170 (2018), 636–644. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.177>. – ISSN 09596526
- [Allwood u. Lee 2005] ALLWOOD, J. M. ; LEE, J.-H.: The design of an agent for modelling supply chain network dynamics. In: *International Journal of Production Research* 43 (2005), Nr. 22, S. 4875–4898. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540500168295>. – ISSN 0020–7543
- [Ankenbrand u. a. 2019] ANKENBRAND, K. ; LINSS, I. ; SUCKY, E.: Theorie (n) des Supply Chain Managements: Eine Literaturanalyse. In: SUCKY, E. (Hrsg.) ; KOLKE, R. (Hrsg.) ; BIETHAHN, N. (Hrsg.) ; WERNER, J. (Hrsg.) ; VOGELSANG, M. (Hrsg.): *Mobility in a Globalised World 2018*. Bamberg : University of Bamberg Press, 2019 (Logistik und Supply Chain Management). – ISBN 9783863096625, S. 114–137
- [Appelrath 2003] APPELRATH, H. J.: Scheduling the supply chain by teams of agents. In: SPRAGUE, R. H. (Hrsg.): *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*. Los Alamitos, Calif. : IEEE Computer Soc, 2003. – ISBN 0–7695–1874–5

- [Aschermann u. a. 2018] ASCHERMANN, M. ; DENNISEN, S. ; KRAUS, P. ; MÜLLER, J. P.: LightJason, a highly scalable and concurrent agent framework: overview and application. In: *Proceedings of the 17th International Conference on Autonomous Agents and MultiAgent Systems* (2018), S. 1794–1796
- [Asian Development Bank 2017a] ASIAN DEVELOPMENT BANK: *Deutsche Bank Enter Supply Chain Finance Deal Supporting SMEs in Developing Asia*. <https://www.adb.org/news/adb-deutsche-bank-enter-supply-chain-finance-deal-supporting-smes-developing-asia>. Version: 2017a (News and Events)
- [Asian Development Bank 2017b] ASIAN DEVELOPMENT BANK: *Trade Finance Gaps, Growth, And Jobs Survey*. www.adb.org/sites/default/files/publication/359631/adb-briefs-83.pdf. Version: 2017b (Asian Development Bank, ADB Briefings)
- [Austin 1975] AUSTIN, J. L.: *How to do things with words*. 2. New York : Oxford university press, 1975. – ISBN 019824553X
- [Auswärtiges Amt Juli] AUSWÄRTIGES AMT: *Monitoring zum Nationalen Aktionsplan Wirtschaft und Menschenrechte*. <https://www.auswaertiges-amt.de/de/aussenpolitik/themen/aussenwirtschaft/wirtschaft-und-menschenrechte/monitoring-nap/2124010>. Version: Juli 2020
- [Bals 2019] BALS, C.: Toward a supply chain finance (SCF) ecosystem – Proposing a framework and agenda for future research. In: *Journal of Purchasing and Supply Management* 25 (2019), Nr. 2, S. 105–117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2018.07.005>. – ISSN 14784092
- [Bancilhon u. a. 2018] BANCILHON, C. ; KARGE, C. ; NORTON, T.: *Win-Win-Win: The Sustainable Supply Chain Finance Opportunity: Report BSR*. https://www.bsr.org/reports/BSR_The_Sustainable_Supply_Chain_Finance_Opportunity.pdf. Version: 2018
- [Barbati u. a. 2012] BARBATI, M. ; BRUNO, G. ; GENOVESE, A.: Applications of agent-based models for optimization problems: A literature review. In: *Expert Systems with Applications* 39 (2012), Nr. 5, S. 6020–6028. – ISSN 09574174
- [Barbuceanu u. Fox 1996] BARBUCEANU, M. ; FOX, M. S.: Coordinating multiple agents in the supply chain. In: *Proceedings of the 5th Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises (WET ICE '96), June 19 - 21, 1996, Stanford, California*. Los Alamitos, Calif. : IEEE Computer Society Press, 1996. – ISBN 0-8186-7446-6, S. 134–141
- [Barclays 2017] BARCLAYS: *Green Product Framework*. www.home.barclays/content/dam/barclayspublic/docs/Citizenship/BAR_GreenProductFramework.p1.p1.pdf. Version: 2017

- [Baumöl 2008] BAUMÖL, U.: *Change Management in Organisationen: Situative Methodenkonstruktion für flexible Veränderungsprozesse: Zugl.: St. Gallen, Univ., Habil.-Schr., 2005*. 1. Aufl. Wiesbaden : Gabler, 2008 (Gabler Edition Wissenschaft). – ISBN 978-3-8350-0905-9
- [Bechtel u. Jayaram 1997] BECHTEL, C. ; JAYARAM, J.: Supply chain management: a strategic perspective. In: *The International Journal of Logistics Management* 8 (1997), Nr. 1, S. 15–34. – ISSN 0957-4093
- [Bellifemine u. a. 2001] BELLIFEMINE, F. ; POGGI, A. ; RIMASSA, G.: Developing multi-agent systems with a FIPA-compliant agent framework. In: *Software: Practice and Experience* 31 (2001), Nr. 2, S. 103–128. – ISSN 0038-0644
- [Bellifemine u. a. 2007] BELLIFEMINE, F. L. ; CAIRE, G. ; GREENWOOD, D.: *Developing multi-agent systems with JADE*. 7. Chichester : Wiley, 2007 (Wiley series in agent technology). – ISBN 0470058404
- [Bergenti u. a. 2017] BERGENTI, F. ; IOTTI, E. ; MONICA, S. ; POGGI, A.: Agent-oriented model-driven development for JADE with the JADEL programming language. In: *Computer Languages, Systems & Structures* 50 (2017), S. 142–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cl.2017.06.001>. – ISSN 14778424
- [Bergenti u. a. 2018] BERGENTI, F. ; MONICA, S. ; PETROSINO, G.: A scripting language for practical agent-oriented programming. In: KOSTER, J. de (Hrsg.) ; BERGENTI (Hrsg.) ; FRANCO, J. (Hrsg.): *Proceedings of the 8th ACM SIGPLAN International Workshop on Programming Based on Actors, Agents, and Decentralized Control*. New York : Association for Computing Machinery, 2018. – ISBN 9781450360661, S. 62–71
- [Betts 2010] BETTS, A.: *Collaborative financing: the wave of the future*. Financial-I Trade & Supply Chain Handbook, 2010
- [Bichler 2000] BICHLER, M.: Trading Financial Derivatives on the Web - An Approach Towards Automating Negotiations on OTC Markets. In: *Information Systems Frontiers* 1 (2000), Nr. 4, 401–414. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010070109801>. – ISSN 1572-9419
- [Bichler u. a. 2003] BICHLER, M. ; KERSTEN, G. ; STRECKER, S.: Towards a structured design of electronic negotiations. In: *Group Decision and Negotiation* 12 (2003), Nr. 4, S. 311–335. – ISSN 0926-2644
- [Bichler u. a. 2005] BICHLER, M. ; PIKOVSKY, A. ; SETZER, T.: Kombinatorische Auktionen in der betrieblichen Beschaffung. In: *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 47 (2005), Nr. 2, S. 126–134. – ISSN 0937-6429
- [Blackhurst u. a. 2005] BLACKHURST, J. ; CRAIGHEAD, C. W. ; ELKINS, D. ; HANDFIELD, R. B.: An empirically derived agenda of critical research issues for managing supply-chain disruptions. In: *International Journal of Production Research* 43 (2005), Nr. 19, S. 4067–4081. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540500151549>. – ISSN 0020-7543

- [Blos u. a. 2018] BLOS, M. F. ; DA SILVA, R. M. ; WEE, H.: A framework for designing supply chain disruptions management considering productive systems and carrier viewpoints. In: *International Journal of Production Research* 56 (2018), Nr. 15, S. 5045–5061. – ISSN 0020–7543
- [Boissier u. a. 2020] BOISSIER, O. ; BORDINI, R. H. ; HUBNER, J. ; RICCI, A.: *Multi-agent oriented programming: Programming multi-agent systems using JaCaMo*. Cambridge MA : The MIT Press, 2020 (Intelligent robotics and autonomous agents). – ISBN 9780262044578
- [Boissier u. a. 2013] BOISSIER, O. ; BORDINI, R. H. ; HÜBNER, J. F. ; RICCI, A. ; SANTI, A.: Multi-agent oriented programming with JaCaMo. In: *Science of Computer Programming* 78 (2013), Nr. 6, 747–761. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scico.2011.10.004>. – ISSN 0167–6423
- [Bonci u. a. 2018] BONCI, A. ; PIRANI, M. ; BIANCONI, C. ; LONGHI, S.: RMAS: Relational Multiagent System for CPS Prototyping and Programming. In: *2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*. Piscataway, NJ : IEEE, 2018. – ISBN 978–1–5386–4643–4, S. 1–6
- [Bordini u. a. 2007] BORDINI, R. H. ; HÜBNER, J. F. ; WOOLDRIDGE, M.: *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*. Chichester, UK : John Wiley & Sons, Ltd, 2007 (Wiley series in agent technology). <http://dx.doi.org/10.1002/9780470061848>. – ISBN 9780470061831
- [Bowersox u. Closs 1996] BOWERSOX, D. J. ; CLOSS, D. J.: *Logistical management: The integrated supply chain process*. New York : McGraw-Hill, 1996 (McGraw-Hill series in marketing). – ISBN 0070068836
- [Bulow u. Klemperer 1996] BULOW, J. ; KLEMPERER, P.: Auctions vs. Negotiations. In: *The American economic review* 86 (1996), Nr. 1, 180–194. <http://dx.doi.org/10.3386/w4608>. – ISSN 0002–8282
- [Büttner 2011] BÜTTNER, R.: *Automatisierte Verhandlungen in Multi-Agenten-Systemen*. Wiesbaden : Gabler, 2011. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-6500-4>. – ISBN 978–3–8349–2131–4
- [Cambridge Institute for Sustainability Leadership 2017] CAMBRIDGE INSTITUTE FOR SUSTAINABILITY LEADERSHIP: *Blue chips and startups launch new fintech pilot for more sustainable supply chains at the One Planet*. <https://www.cisl.cam.ac.uk/business-action/sustainable-finance/banking-environment-initiative/news/blue-chips-and-startups-launch-new-fintech-pilot>. Version: 2017
- [Camerinelli 2009] CAMERINELLI, E.: Supply chain finance. In: *Journal of Payments Strategy & Systems* 3 (2009), Nr. 2, S. 114–128. – ISSN 1750–1806
- [Caniato u. a. 2016] CANIATO, F. ; GELSOMINO, L. M. ; PEREGO, A. ; RONCHI, S.: Does finance solve the supply chain financing problem? In: *Supply Chain Management: An*

- International Journal* 21 (2016), Nr. 5, S. 534–549. <http://dx.doi.org/10.1108/SCM-11-2015-0436>. – ISSN 1359–8546
- [Cardoso u. Ferrando 2021] CARDOSO, R. C. ; FERRANDO, A.: A Review of Agent-Based Programming for Multi-Agent Systems. In: *Computers* 10 (2021), Nr. 2, 16. <http://dx.doi.org/10.3390/computers10020016>
- [Caridi u. a. 2005] CARIDI, M. ; CIGOLINI, R. ; MARCO, D. de: Improving supply-chain collaboration by linking intelligent agents to CPFR. In: *International Journal of Production Research* 43 (2005), Nr. 20, S. 4191–4218. – ISSN 0020–7543
- [Carter u. Easton 2011] CARTER, C. R. ; EASTON, P. L.: Sustainable supply chain management: evolution and future directions. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 41 (2011), Nr. 1, 46–62. <http://dx.doi.org/10.1108/09600031111101420>. – ISSN 0960–0035
- [Chakuu u. a. 2019] CHAKUU, S. ; MASI, D. ; GODSELL, J.: Exploring the relationship between mechanisms, actors and instruments in supply chain finance: A systematic literature review. In: *International Journal of Production Economics* 216 (2019), S. 35–53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.04.013>. – ISSN 09255273
- [Chan u. Chan 2009] CHAN, H. K. ; CHAN, F. T. S.: Effect of information sharing in supply chains with flexibility. In: *International Journal of Production Research* 47 (2009), Nr. 1, S. 213–232. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540600767764>. – ISSN 0020–7543
- [Chan u. Chan 2010] CHAN, H. K. ; CHAN, F. T.: A review of coordination studies in the context of supply chain dynamics. In: *International Journal of Production Research* 48 (2010), Nr. 10, S. 2793–2819. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540902791843>. – ISSN 0020–7543
- [Chen u. a. 2008] CHEN, J.-C. ; WANG, K.-J. ; WANG, S.-M. ; YANG, S.-J.: Price negotiation for capacity sharing in a two-factory environment using genetic algorithm. In: *International Journal of Production Research* 46 (2008), Nr. 7, S. 1847–1868. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540601008440>. – ISSN 0020–7543
- [Chen u. Pu 2004] CHEN, L. ; PU, P.: *Survey of Preference Elicitation Methods*. <https://infoscience.epfl.ch/record/52659>. Version: 2004 (Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL) Technical Report IC)
- [Chen u. Hu 2011] CHEN, X. ; HU, C.: The value of supply chain finance. In: HABIB, M. M. (Hrsg.): *Supply Chain Management*. BoD – Books on Demand, 2011. – ISBN 9789533072500, S. 111–132
- [Chen u. Nof 2010] CHEN, X. W. ; NOF, S. Y.: A decentralised conflict and error detection and prediction model. In: *International Journal of Production Research* 48 (2010), Nr. 16, S. 4829–4843. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540903067201>. – ISSN 0020–7543

- [Chmielewicz 1979] CHMIELEWICZ, K.: *Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft*. 2. Stuttgart : Poeschel, 1979
- [Chod 2017] CHOD, J.: Inventory, risk shifting, and trade credit. In: *Management Science* 63 (2017), Nr. 10, S. 3207–3225. – ISSN 0025–1909
- [Chod u. a. 2017] CHOD, J. ; TRICHAKIS, N. ; TSOUKALAS, G. ; ASPEGREN, H. ; WEBER, M.: Blockchain and the Value of Operational Transparency for Supply Chain Finance. In: *SSRN Electronic Journal* (2017), S. 1–56. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3078945>. – ISSN 1556–5068
- [Chopra u. Meindl 2013] CHOPRA, S. ; MEINDL, P.: *Supply Chain Management. Strategy, Planning and Operation*. 5. Upper Saddle River, New Jersey : Pearson, 2013. – ISBN 978–0–13–274395–2
- [Coase 1937] COASE, R. H.: The nature of the firm. In: *Economica* 4 (1937), Nr. 4, S. 386–405
- [Coase 1960] COASE, R. H.: The Problem of Social Cost. In: *Journal of Law and Economics* 3 (1960), Nr. 1, S. 1–44
- [Collier u. a. 2015] COLLIER, R. W. ; RUSSELL, S. ; LILLIS, D.: Reflecting on Agent Programming with AgentSpeak(L). Version: 2015. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-25524-8_22. In: CHEN, Q. (Hrsg.): *PRIMA 2015: principles and practice of multi-agent systems*. Cham : Springer, 2015 (Lecture notes in computer science Lecture notes in artificial intelligence). – ISBN 9783319255231, 351–366
- [Collins u. a. 2002] COLLINS, J. ; GINI, M. ; MOBASHER, B.: *Multi-Agent Negotiation using Combinatorial Auctions with Precedence Constraints*. <https://conservancy.umn.edu/handle/11299/215513>. Version: 2002 (Technical Report)
- [Collins u. a. 1998] COLLINS, J. ; TSVETOVAT, M. ; MOBASHER, B. ; GINI, M.: Magnet: A multi-agent contracting system for plan execution. In: *Proceedings of the Artificial Intelligence and Manufacturing Workshop: State of the Art and State of Practice*, AAAI Press, 1998, S. 63–68
- [Confessore u. a. 2008] CONFESSORE, G. ; CORINI, D. ; STECCA, G.: A computational method for pricing of delivery service in a logistics network. In: *International Journal of Production Research* 46 (2008), Nr. 5, S. 1231–1242. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540701224285>. – ISSN 0020–7543
- [Conrad u. Staehle 1988] CONRAD, P. ; STAEHLE, W. H.: *Mensch und Organisation*. Bd. 14: *Involvement-Forschung: Motivation und Identifikation in der verhaltenswissenschaftlichen Organisationstheorie*. Reprint 2019. Berlin and Boston : De Gruyter, 1988. – ISBN 9783110860405
- [Cranefield u. a. 2005] CRANEFIELD, S. ; PURVIS, M. ; NOWOSTAWSKI, M. ; HWANG, P.: Ontologies for interaction protocols. Version: 2005. http://dx.doi.org/10.1007/3-7643-7361-X_1. In: TAMMA, V. (Hrsg.) ; CRANEFIELD, S. (Hrsg.) ; FININ, T. W.

- (Hrsg.) ; WILLMOTT, S. (Hrsg.): *Ontologies for agents: theory and experiences*. Basel : Birkhäuser, 2005 (Whitestein Series in Software Agent Technologies), S. 1–17
- [Croatti u. Ricci 2020] CROATTI, A. ; RICCI, A.: Mobile Apps as Personal Assistant Agents: the JaCa-Android Framework for programming Agents-based applications on mobile devices. In: *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems* 34 (2020), Nr. 2, S. 1–27. – ISSN 1387–2532
- [Dai u. a. 2014] DAI, H. ; LIN, J. ; LONG, Q.: A fractal perspective-based methodological framework for supply chain modelling and distributed simulation with multi-agent system. In: *International Journal of Production Research* 52 (2014), Nr. 22, S. 6819–6840. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2014.919414>. – ISSN 0020–7543
- [Davidsson u. a. 2005] DAVIDSSON, P. ; HENESEY, L. ; RAMSTEDT, L. ; TÖRNQUIST, J. ; WERNSTEDT, F.: An analysis of agent-based approaches to transport logistics. In: *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 13 (2005), Nr. 4, S. 255–271. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trc.2005.07.002>. – ISSN 0968090X
- [de Boer u. a. 2015] DE BOER, R. ; STEEMAN, M. ; VAN BERGEN, M.: *Supply chain finance, its practical relevance and strategic value: the supply chain finance essential knowledge series*. Windesheim University of Applied Sciences, 2015. – ISBN 9082480905
- [Dennis 2017] DENNIS, L. A.: *Gwendolen semantics: 2017*. University of Liverpool, Department of Computer Science, Liverpool, 2017 (Tech. Rep.). <https://livrepository.liverpool.ac.uk/3005908/1/ulcs-17-001.pdf>
- [Ediger 2011] EDIGER, P.: *Modellierung und Techniken zur Optimierung von Multiagentensystemen in Zellularen Automaten*. Darmstadt, Technische Universität, Dissertation, 2011
- [Eisenführ u. Weber 1993] EISENFÜHR, F. ; WEBER, M.: Die Strukturierung des Entscheidungsproblems. Version: 1993. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-09670-3_2. In: *Rationales Entscheiden*. Springer, Berlin, Heidelberg, 1993, S. 15–50
- [Eisenhardt 1989] EISENHARDT, K. M.: Agency Theory: An Assessment and Review. In: *Academy of Management Review (AMR)* 14 (1989), Nr. 1, S. 57–74. <http://dx.doi.org/10.5465/amr.1989.4279003>
- [Ellram 1991] ELLRAM, L. M.: Supply–Chain Management: The Industrial Organisation Perspective. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 21 (1991), Nr. 1, 13–22. <http://dx.doi.org/10.1108/09600039110137082>. – ISSN 0960–0035
- [Enjalbert u. a. 2011] ENJALBERT, S. ; ARCHIMÈDE, B. ; CHARBONNAUD, P.: Distributed simulation of virtual workshops for the multi-site scheduling feasibility evaluation. In: *International Journal of Production Research* 49 (2011), Nr. 22, S. 6663–6676. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.520911>. – ISSN 0020–7543

- [Eurostat 2021] EUROSTAT: *Produktionsindizes, monatliche Daten*. <https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/main/data/database>. Version: 2021
- [Ferber 2001] FERBER, J.: *Multiagentensysteme: eine Einführung in die verteilte künstliche Intelligenz*. München, : Addison Wesley, 2001. – ISBN 3827316790
- [Fiedler u. a. 2019] FIEDLER, A. ; SACKMANN, D. ; HAASIS, H. D.: A Literature Review on the State of the Art of Multi-agent Systems in Supply Chain Management. Version: 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-29821-0_5. In: BIERWIRTH, Christian (Hrsg.) ; KIRSCHSTEIN, Thomas (Hrsg.) ; SACKMANN, Dirk (Hrsg.): *Logistics Management*. Cham : Springer International Publishing, 2019 (Lecture Notes in Logistics). – ISBN 978-3-030-29820-3, S. 62–74
- [Fiordelisi u. a. 2014] FIORDELISI, F. ; MONFERR A, S. ; SAMPAGNARO, G.: Relationship lending and credit quality. In: *Journal of Financial Services Research* 46 (2014), Nr. 3, S. 295–315
- [FIPA 2020] FIPA: *Foundation for Intelligent Physical Agents*. <http://www.fipa.org/>. Version: 2020
- [Fleischmann u. a. 2005] FLEISCHMANN, B. ; MEYR, H. ; WAGNER, M.: Advanced Planning. Version: 2005. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-24814-5_5. In: STADTLER, H. (Hrsg.) ; KILGER, C. (Hrsg.): *Supply chain management and advanced planning*. Berlin : Springer, 2005. – ISBN 3-540-22065-8, S. 81–106
- [Fleisher 1991] FLEISHER, C. S.: Using an Agency-Based Approach to Analyze Collaborative Federated Interorganizational Relationships. In: *The Journal of Applied Behavioral Science* 27 (1991), Nr. 1, S. 116–130. <http://dx.doi.org/10.1177/0021886391271006>
- [Foundation for Intelligent Physical Agents 1997] FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS: *Specification Part 2: Agent communication language*. <http://www.fipa.org/specs/fipa00003/0C00003A.html>. Version: 1997
- [Foundation for Intelligent Physical Agents 2000] FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS: *Iterated Contract Net Interaction Protocol Specification*. <http://www.fipa.org/specs/fipa00030/PC00030D.pdf>. Version: 2000
- [Foundation for Intelligent Physical Agents 2002] FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS: *FIPA Communicative Act Library Specification. Document number SC00037J*. <http://www.fipa.org/specs/fipa00037/SC00037J.html>. Version: 2002
- [Foundation for Intelligent Physical Agents 2003] FOUNDATION FOR INTELLIGENT PHYSICAL AGENTS: *Glossary*. <http://www.pa.icar.cnr.it/cossentino/FIPAmeth/glossary.htm>. Version: 2003
- [Franklin u. Graesser 1997] FRANKLIN, S. ; GRAESSER, A.: Is It an agent, or just a program?: A taxonomy for autonomous agents. Version: 1997. <http://dx.doi.org/>

- [10.1007/BFb0013570](https://doi.org/10.1007/BFb0013570). In: MÜLLER, J. P. (Hrsg.): *Intelligent agents III* Bd. 1193. Berlin : Springer, 1997. – ISBN 978-3-540-62507-0, S. 21–35
- [Fugate u. a. 2010] FUGATE, B. S. ; MENTZER, J. T. ; STANK, T. P.: Logistics performance: efficiency, effectiveness, and differentiation. In: *Journal of Business Logistics* 31 (2010), Nr. 1, S. 43–62. <http://dx.doi.org/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00127.x>. – ISSN 0735–3766
- [Funk 2019] FUNK, A. K.: Quantitative Lockerung in der Eurozone und Finanzierungsbedingungen von KMU: Wer profitiert am meisten? In: *KOF Analysen* (2019), Nr. 1, S. 82–91. <http://dx.doi.org/10.3929/ETHZ-B-000334793>
- [Gelsomino u. a. 2016] GELSOMINO, L. M. ; MANGIARACINA, R. ; PEREGO, A. ; TUMINO, A.: Supply chain finance: a literature review. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 46 (2016), Nr. 4, S. 348–366. <http://dx.doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2014-0173>. – ISSN 0960–0035
- [Gericke u. Winter 2009] GERICKE, A. ; WINTER, R.: Entwicklung eines Bezugsrahmens für Konstruktionsforschung und Artefaktkonstruktion in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In: BECKER, J. (Hrsg.) ; KRCDMAR, H. (Hrsg.) ; NIEHAVES, B. (Hrsg.): *Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik*. Heidelberg : Physica-Verl., 2009. – ISBN 978-3-7908-2335-6, S. 195–210
- [Ghadimi u. a. 2019] GHADIMI, P. ; WANG, C. ; LIM, M. K. ; HEAVEY, C.: Intelligent sustainable supplier selection using multi-agent technology: Theory and application for Industry 4.0 supply chains. In: *Computers & Industrial Engineering* 127 (2019), S. 588–600. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.050>. – ISSN 03608352
- [Ghirardi u. a. 2008] GHIRARDI, M. ; MENGA, G. ; SACCO, N.: An optimisation-oriented model of distributed supply-chain. In: *Mathematics and Computers in Simulation* 79 (2008), Nr. 4, S. 937–946. – ISSN 0378–4754
- [Global SCF Forum 2016] GLOBAL SCF FORUM: *Standard definitions for techniques of Supply Chain Finance*. <https://iccwbo.org/publication/standard-definitions-techniques-supply-chain-finance/>. Version: 2016
- [Gobbi u. Sette 2014] GOBBI, G. ; SETTE, E.: Do firms benefit from concentrating their borrowing? Evidence from the great recession. In: *Review of Finance* 18 (2014), Nr. 2, S. 527–560
- [Gomm 2008] GOMM, M.: *Supply Chain Finanzierung: Optimierung der Finanzflüsse in Wertschöpfungsketten*. Berlin : Erich Schmidt, 2008. – ISBN 3503106898
- [Gomm 2010] GOMM, M.: Supply chain finance: applying finance theory to supply chain management to enhance finance in supply chains. In: *International Journal of Logistics Research and Applications* 13 (2010), Nr. 2, S. 133–142. – ISSN 1367–5567

- [Gopalakrishnan u. a. 2012] GOPALAKRISHNAN, K. ; YUSUF, Y. Y. ; MUSA, A. ; ABUBAKAR, T. ; AMBURSA, H. M.: Sustainable supply chain management: A case study of British Aerospace (BAe) Systems. In: *International Journal of Production Economics* 140 (2012), Nr. 1, 193–203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.01.003>. – ISSN 09255273
- [Greenwald u. Stone 2001] GREENWALD, A. ; STONE, P.: Autonomous bidding agents in the trading agent competition. In: *IEEE Internet Computing* 5 (2001), Nr. 2, S. 52–60. – ISSN 1089–7801
- [Grosse-Ruyken u. a. 2011] GROSSE-RUYKEN, P. T. ; WAGNER, S. M. ; JÖNKE, R.: What is the right cash conversion cycle for your supply chain? In: *International Journal of Services and Operations Management* 10 (2011), Nr. 1, S. 13–29
- [Gulliver 1979] GULLIVER, P. H.: *Disputes and negotiations: A cross-cultural perspective*. Orlando, FL : Academic Press, 1979
- [Gupta u. Dutta 2011] GUPTA, S. ; DUTTA, K.: Modeling of financial supply chain. In: *European Journal of Operational Research* 211 (2011), Nr. 1, 47–56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.11.005>. – ISSN 03772217
- [Haller 1999] HALLER, M.: *Bewertung der Flexibilität automatisierter Materialflusssysteme der variantenreichen Großserienproduktion*. München, Technische Universität, Dissertation, 1999
- [Hashmi u. a. 2015] HASHMI, M. A. ; SEGHROUCHNI, A. E. F. ; AKRAM, M. U.: A Planning Based Agent Programming Language Supporting Environment Modeling. In: *2015 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology*. Piscataway, NJ : IEEE, 2015. – ISBN 978–1–4673–9618–9, S. 76–83
- [Hausladen u. Dachsel 2018] HAUSLADEN, I. ; DACHSEL, B.: Supply Chain Finance im Überblick. In: *WiSt - Wirtschaftswissenschaftliches Studium* 47 (2018), Nr. 2-3, S. 4–11. <http://dx.doi.org/10.15358/0340-1650-2018-2-3-4>. – ISSN 0340–1650
- [He u. a. 2003] HE, M. ; JENNINGS, N. R. ; LEUNG, H.: On agent-mediated electronic commerce. In: *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 15 (2003), Nr. 4, S. 985–1003. <http://dx.doi.org/10.1109/tkde.2003.1209014>. – ISSN 1041–4347
- [Helmold u. a. 2019] HELMOLD, M. ; DATHE, T. ; HUMMEL, F.: Verhandlungskonzepte. Version: 2019. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-23969-5_2. In: HELMOLD, M. (Hrsg.) ; DATHE, T. (Hrsg.) ; HUMMEL, F. (Hrsg.): *Erfolgreiche Verhandlungen*. Wiesbaden : Springer Gabler, 2019. – ISBN 978–3–658–23968–8, S. 43–56
- [Hindriks u. a. 2001] HINDRIKS, K. V. ; BOER, F. S. ; VAN DER HOEK, W. ; MEYER, J. J. C.: Agent Programming with Declarative Goals. Version: 2001. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-44631-1_16. In: CASTELFRANCHI, C. (Hrsg.) ; LESPÉRANCE, Y. (Hrsg.): *Intelligent Agents VII Agent Theories Architectures and Languages*. Berlin and Heidelberg : Springer, 2001 (Lecture notes in computer science). – ISBN 9783540446316, 228–243

- [Hofmann 2005] HOFMANN, E.: Supply chain finance: some conceptual insights. In: LASCH, R. (Hrsg.): *Logistik Management*. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl., 2005 (Gabler Edition Wissenschaft). – ISBN 3835001558, S. 203–214
- [Hofmann 2009] HOFMANN, E.: Inventory financing in supply chains. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 39 (2009), Nr. 9, 716–740. <http://dx.doi.org/10.1108/09600030911008175>. – ISSN 0960–0035
- [Hofmann u. Belin 2011] HOFMANN, E. ; BELIN, O.: *Supply Chain Finance Solutions: Relevance - Propositions - Market Value*. Berlin Heidelberg : Springer, 2011 (SpringerBriefs in Business). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-17566-4>. – ISBN 9783642175664
- [Hofmann u. Kotzab 2010] HOFMANN, E. ; KOTZAB, H.: A supply chain-oriented approach of working capital management. In: *Journal of Business Logistics* 31 (2010), Nr. 2, S. 305–330. <http://dx.doi.org/10.1002/j.2158-1592.2010.tb00154.x>. – ISSN 0735–3766
- [Hofmann u. a. 2018] HOFMANN, E. ; STREWE, U. M. ; BOSIA, N.: *Supply Chain Finance and Blockchain Technology: The Case of Reverse Securitisation*. Cham : Springer International Publishing, 2018 (SpringerBriefs in Finance). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-62371-9>. – ISBN 9783319623719
- [Hofmann u. Wetzel 2020] HOFMANN, E. ; WETZEL, P.: *Working Capital Management Studie 2020: Supply Chain Finance In-N-Out*. 7. Auflage. Zürich, 2020
- [Honorato-Zimmer u. a. 2019] HONORATO-ZIMMER, R. ; MILLAR, A. J. ; PLOTKIN, G. D. ; ZARDILIS, A.: Chromar, a language of parameterised agents. In: *Theoretical Computer Science* 765 (2019), S. 97–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcs.2017.07.034>. – ISSN 03043975
- [Hsieh 2015] HSIEH, F.-S.: Scheduling Sustainable Supply Chains Based on Multi-agent Systems and Workflow Models. In: *ISKE 2015*. Piscataway, NJ : IEEE, 2015. – ISBN 978-1-4673-9323-2, S. 252–259
- [Huang u. a. 2006] HUANG, G. Q. ; LAU, J. S. K. ; MAK, K. L. ; LIANG, L.: Distributed supply-chain project rescheduling: part II—distributed affected operations rescheduling algorithm. In: *International Journal of Production Research* 44 (2006), Nr. 1, S. 1–25. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540500151507>. – ISSN 0020–7543
- [Huang u. a. 2003] HUANG, George Q. ; LAU, Jason S. K. ; MAK, K. L.: The impacts of sharing production information on supply chain dynamics: a review of the literature. In: *International Journal of Production Research* 41 (2003), Nr. 7, S. 1483–1517. – ISSN 0020–7543
- [Hubner u. a. 2007] HUBNER, J. F. ; SICHMAN, J. S. ; BOISSIER, O.: Developing organised multiagent systems using the MOISE+ model: programming issues at the system and agent levels. In: *International Journal of Agent-Oriented Software Engineering* 1 (2007), Nr. 3-4, S. 370–395

- [Jain 2001] JAIN, N.: Monitoring costs and trade credit. In: *The Quarterly Review of Economics and Finance* 41 (2001), Nr. 1, 89–110. [http://dx.doi.org/10.1016/S1062-9769\(00\)00063-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1062-9769(00)00063-6). – ISSN 1062–9769
- [Jain u. a. 2009] JAIN, V. ; WADHWA, S. ; DESHMUKH, S. G.: Select supplier-related issues in modelling a dynamic supply chain: potential, challenges and direction for future research. In: *International Journal of Production Research* 47 (2009), Nr. 11, S. 3013–3039. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540701769958>. – ISSN 0020–7543
- [Jennings u. a. 2001] JENNINGS, N. R. ; FARATIN, P. ; LOMUSCIO, A. R. ; PARSONS, S. ; SIERRA, C. ; WOOLDRIDGE, M.: Automated negotiation: prospects, methods and challenges. In: *International Journal of Group Decision and Negotiation* 10 (2001), Nr. 2, S. 199–215
- [Jensen u. Meckling 1976] JENSEN, M. C. ; MECKLING, W. H.: Theory of the firm: Managerial behavior, agency costs and ownership structure. In: *Journal of Financial Economics* 3 (1976), Nr. 4, 305–360. [http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X\(76\)90026-X](http://dx.doi.org/10.1016/0304-405X(76)90026-X). – ISSN 0304–405X
- [Juneja u. a. 2015] JUNEJA, D. ; JAGGA, A. ; SINGH, A.: A review of FIPA standardized agent communication language and interaction protocols. In: *Journal of Network Communications and Emerging Technologies* 5 (2015), Nr. 2, S. 179–191
- [Kato u. Kamoshida 2020] KATO, T. ; KAMOSHIDA, R.: Multi-Agent Simulation Environment for Logistics Warehouse Design Based on Self-Contained Agents. In: *Applied Sciences* 10 (2020), Nr. 21, 7552. <http://dx.doi.org/10.3390/app10217552>
- [Kehagias u. a. 2005] KEHAGIAS, D. D. ; SYMEONIDIS, A. L. ; MITKAS, P. A.: Designing Pricing Mechanisms for Autonomous Agents Based on Bid–Forecasting. In: *Electronic Markets* 15 (2005), Nr. 1, S. 53–62
- [KfW 2009] KfW: *Unternehmensbefragung 2009 - Unternehmensfinanzierung - deutliche Spuren der Krise: Keine Kreditklemme, aber massive Finanzierungsschwierigkeiten*. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Unternehmensbefragung/Unternehmensbefragung-2009.pdf>.
Version: 2009
- [KfW 2010] KfW: *Unternehmensbefragung 2010 - Unternehmensfinanzierung: Anhaltende Schwierigkeiten und Risiken für die wirtschaftliche Erholung*. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Unternehmensbefragung/Unternehmensbefragung-2010-lang.pdf>.
Version: 2010
- [KfW 2020] KfW: *Unternehmensbefragung 2020 - Kreditzugang: Finanzierungsklima: Unternehmen gut gerüstet vor der Krise*. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Unternehmensbefragung/Unternehmensbefragung-2020-%E2%80%93-Kreditzugang.pdf>.
Version: 2020

- [Kilaru 2018] KILARU, J.: *PLASA: Programming Language for Synchronous Agents*. Long Beach, CA, USA, California State University, Master's Thesis, 2018. <https://search.proquest.com/openview/f835b68bf15d1288a78d1de8bda1aa6a/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- [Klages 1967] KLAGES, H.: *Rationalität und Spontaneität: Innovationswege der modernen Grossforschung*. 4. Gütersloh : Bertelsmann, 1967
- [Klein u. a. 1978] KLEIN, B. ; CRAWFORD, R. G. ; ALCHIAN, A. A.: Vertical Integration, Appropriable Rents, and the Competitive Contracting Process. In: *The Journal of Law and Economics* 21 (1978), Nr. 2, S. 297–326. <http://dx.doi.org/10.1086/466922>
- [Klein u. a. 2007] KLEIN, M. ; FARATIN, P. ; SAYAMA, H.: An Annealing Protocol for Negotiating Complex Contracts. Version: 2007. <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-59140-984-7.ch048>. In: *Handbook of Research on Nature-Inspired Computing for Economics and Management*. IGI Global, 2007, S. 739–749
- [Klügl 2012] KLÜGL, F.: Multiagentensysteme. In: GÖRZ, G. (Hrsg.) ; SCHNEEBERGER, J. (Hrsg.): *Handbuch der künstlichen Intelligenz*. Walter de Gruyter, 2012, S. 527–556
- [Koller 1990] KOLLER, M.: *Sozialpsychologie des Vertrauens: Ein Überblick über theoretische Ansätze*. Bielefelder Arbeiten zur Sozialpsychologie Nr. 153, 1990 <https://pub.uni-bielefeld.de/record/2592051>
- [Kraemer-Eis u. a. 2019] KRAEMER-EIS, H. ; BOTSARI, A. ; GVETADZE, S. ; LANG, F. ; TORFS, W.: *European Small Business Finance Outlook: June 2019: EIF Working Paper, No. 57*. Luxembourg : European Investment Fund (EIF), 2019 <https://www.european-microfinance.org/publication/eif-european-small-business-finance-outlook>
- [Kuhlen 1999] KUHLEN, R.: *Suhrkamp-Taschenbuch Wissenschaft*. Bd. 1443: *Die Konsequenzen von Informationsassistenten: Was bedeutet informationelle Autonomie oder wie kann Vertrauen in elektronische Dienste in offenen Informationsmärkten gesichert werden?* 1. Aufl., Orig.-Ausg. Frankfurt am Main : Suhrkamp, 1999. – ISBN 3518290436
- [Lamoureux u. Evans 2011] LAMOUREUX, J. F. ; EVANS, T.: Supply Chain Finance: A New Means to Support the Competitiveness and Resilience of Global Value Chains. In: *SSRN Electronic Journal* (2011), S. 289–311. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2179944>. – ISSN 1556–5068
- [Lan u. Hua 2013] LAN, W. ; HUA, S.: Supply chain finance. Version: 2013. http://www.iberglobal.com/Archivos/China_supply_chain_perspectives_fung.pdf. In: HUA, S. (Hrsg.): *Supply Chain Perspectives and Issues in China*. Fung Global Institute and the Fung Business Intelligence Centre, 2013. – ISBN 978–988–12480–2–2, 117–126
- [Lang u. Fink 2011] LANG, F. ; FINK, A.: Kombinatorische Auktionen als Instrument zur Verhandlung von Verträgen mit interdependenten Eigenschaften. In: *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2011* 10 (2011), 1052–1062. <https://aisel.aisnet.org/wi2011/10>

- [Lee u. Billington 1993] LEE, H. L. ; BILLINGTON, C.: Material Management in Decentralized Supply Chains. In: *Operations research* 41 (1993), Nr. 5, S. 835–847
- [Lekkakos u. Serrano 2016] LEKKAKOS, S. D. ; SERRANO, A.: Supply chain finance for small and medium sized enterprises: the case of reverse factoring. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 46 (2016), Nr. 4, S. 367–392. <http://dx.doi.org/10.1108/IJPDLM-07-2014-0165>. – ISSN 0960–0035
- [Lewicki u. Robinson 1998] LEWICKI, R. J. ; ROBINSON, R. J.: Ethical and Unethical Bargaining Tactics: An Empirical Study. In: *Journal of Business Ethics* 18 (1998), Nr. 2, S. 211–228. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005719122519>. – ISSN 1573–0697
- [Li u. Sheng 2011] LI, J. ; SHENG, Z.: A multi-agent model for the reasoning of uncertainty information in supply chains. In: *International Journal of Production Research* 49 (2011), Nr. 19, S. 5737–5753. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.524257>. – ISSN 0020–7543
- [Liang u. a. 2018] LIANG, X. ; ZHAO, X. ; WANG, M. ; LI, Z.: Small and Medium-Sized Enterprises Sustainable Supply Chain Financing Decision Based on Triple Bottom Line Theory. In: *Sustainability* 10 (2018), Nr. 11, S. 4242. <http://dx.doi.org/10.3390/su10114242>
- [Liebl u. a. 2016] LIEBL, J. ; HARTMANN, E. ; FEISEL, E.: Reverse factoring in the supply chain: objectives, antecedents and implementation barriers. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 46 (2016), Nr. 4. <http://dx.doi.org/10.1108/IJPDLM-08-2014-0171>. – ISSN 0960–0035
- [Liu u. a. 2015] LIU, X. ; ZHOU, L. ; WU, Y.-C.: Supply Chain Finance in China: Business Innovation and Theory Development. In: *Sustainability* 7 (2015), Nr. 11, S. 14689–14709. <http://dx.doi.org/10.3390/su71114689>
- [Lomuscio u. a. 2003] LOMUSCIO, A. R. ; WOOLDRIDGE, M. ; JENNINGS, N. R.: A Classification Scheme for Negotiation in Electronic Commerce. In: *Group Decision and Negotiation* 12 (2003), Nr. 1, S. 31–56. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1022232410606>. – ISSN 0926–2644
- [Long 2014] LONG, Q.: Distributed supply chain network modelling and simulation: integration of agent-based distributed simulation and improved SCOR model. In: *International Journal of Production Research* 52 (2014), Nr. 23, S. 6899–6917. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2014.910623>. – ISSN 0020–7543
- [Lu u. a. 2005] LU, T. P. ; CHANG, T. M. ; YIH, Y.: Production control framework for supply chain management—an application in the elevator manufacturing industry. In: *International Journal of Production Research* 43 (2005), Nr. 20, S. 4219–4233. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540500142167>. – ISSN 0020–7543
- [Luck u. a. 2003] LUCK, M. ; MCBURNEY, P. ; PREIST, C.: *Agent technology: enabling next generation computing: A roadmap for agent based computing*. AgentLink, 2003. – ISBN 0854327886

- [Luo u. a. 2002] LUO, Y. ; LIU, K. ; DAVIS, D. N.: A multi-agent decision support system for stock trading. In: *IEEE Network* 16 (2002), Nr. 1, S. 20–27. <http://dx.doi.org/10.1109/65.980541>. – ISSN 0890–8044
- [Maes u. a. 1999] MAES, P. ; GUTTMAN, R. H. ; MOUKAS, A. G.: Agents that Buy and Sell: Transforming Commerce as we Know It. In: *Communications of the ACM* (1999), Nr. 42, S. 81–91
- [Marak u. Pillai 2019] MARAK, Z. ; PILLAI, D.: Factors, Outcome, and the Solutions of Supply Chain Finance: Review and the Future Directions. In: *Journal of Risk and Financial Management* 12 (2019), Nr. 1, 3. <http://dx.doi.org/10.3390/jrfm12010003>
- [Marsh 1994] MARSH, S.: Trust in distributed artificial intelligence. Version: 1994. http://dx.doi.org/10.1007/3-540-58266-5_6. In: CASTELFRANCHI, C. (Hrsg.): *Artificial social systems* Bd. 830. Berlin : Springer, 1994. – ISBN 978–3–540–58266–3, S. 94–112
- [Martin u. Patterson 2009] MARTIN, P. R. ; PATTERSON, J. W.: On measuring company performance within a supply chain. In: *International Journal of Production Research* 47 (2009), Nr. 9, S. 2449–2460. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540701725604>. – ISSN 0020–7543
- [McKinsey 2015] MCKINSEY: Supply-chain finance: The emergence of a new competitive landscape. In: *McKinsey on Payments* 8 (2015), Nr. 22, 10–16. <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/supply-chain-finance-the-emergence-of-a-new-competitive-landscape#>
- [Mentzer u. a. 2004] MENTZER, J. T. ; MIN, S. ; BOBBIT, L. M.: Toward a unified theory of logistics. In: *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* 34 (2004), Nr. 8, 606–627. <http://dx.doi.org/10.1108/09600030410557758>. – ISSN 0960–0035
- [Metze 2010] METZE, T. (Hrsg.): *Produktionswirtschaft und Industriebetriebslehre*. Bd. 23: *Supply Chain Finance: Die wertorientierte Analyse und Optimierung des Working Capital in Supply Chains: Zugl.: Bayreuth, Univ., Diss.* Lohmar : Eul, 2010. – ISBN 9783899369816
- [Mishra u. a. 2012] MISHRA, N. ; KUMAR, V. ; CHAN, F.T.S.: A multi-agent architecture for reverse logistics in a green supply chain. In: *International Journal of Production Research* 50 (2012), Nr. 9, S. 2396–2406. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.581003>. – ISSN 0020–7543
- [Mitnick 1973] MITNICK, B. M.: Fiduciary Rationality and Public Policy: The Theory of Agency and Some Consequences. In: *Proceedings of the American Political Science Association*, 1973
- [More u. Basu 2013] MORE, D. ; BASU, P.: Challenges of supply chain finance. In: *Business Process Management Journal* 19 (2013), Nr. 4, S. 624–647. <http://dx.doi.org/10.1108/BPMJ-09-2012-0093>

- [Moyaux u. a. 2006] MOYAUX, T. ; CHAIB-DRAA, B. ; D'AMOURS, S.: Supply Chain Management and Multiagent Systems: An Overview. Version: 2006. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-33876-5_1. In: CHAIB-DRAA, B. (Hrsg.) ; MÜLLER, J. P. (Hrsg.): *Multiagent based supply chain management* Bd. 28. Berlin : Springer, 2006. – ISBN 978-3-540-33875-8, S. 1–27
- [Navas-Alemán u. a. 2012] NAVAS-ALEMÁN, L. ; PIETROBELLI, C. ; KAMIYA, M.: *IDB Working Paper Series*. Bd. IDB-WP-349: *Inter-firm linkages and finance in value chains*. Washington, DC : Inter-American Development Bank (IDB), 2012
- [Nwana 1996] NWANA, H. S.: Software Agents: An Overview. In: *The Knowledge Engineering Review* 11 (1996), Nr. 3, S. 205–244. – ISSN 0269–8889
- [Ogier u. a. 2015] OGIER, M. ; CHAN, F. T. S. ; CHUNG, S. H. ; CUNG, V.-D. ; BOISSIÈRE, J.: Decentralised capacitated planning with minimal-information sharing in a 2-echelon supply chain. In: *International Journal of Production Research* 53 (2015), Nr. 16, S. 4927–4950. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2015.1005763>. – ISSN 0020–7543
- [Ogier u. a. 2013] OGIER, M. ; CUNG, V.-D. ; BOISSIÈRE, J. ; CHUNG, S. H.: Decentralised planning coordination with quantity discount contract in a divergent supply chain. In: *International Journal of Production Research* 51 (2013), Nr. 9, S. 2776–2789. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2012.737951>. – ISSN 0020–7543
- [O'Hare u. Jennings 1996] O'HARE, G. M. P. ; JENNINGS, N. R.: *Foundations of distributed artificial intelligence*. New York, NY : John Wiley & Sons, 1996. – ISBN 0471006750
- [Omran u. a. 2017] OMRAN, Y. ; HENKE, M. ; HEINES, R. ; HOFMANN, E.: Blockchain-driven supply chain finance: Towards a conceptual framework from a buyer perspective. In: *IPSERA*, 2017, 1–15
- [Online Etymology Dictionary 2021] ONLINE ETYMOLOGY DICTIONARY: “*Negotiation*”. <https://www.etymonline.com/search?q=Negotiation>. Version: 2021
- [Padovan 2000] PADOVAN, B.: *Ein Vertrauens-und Reputationsmodell für Multi-Agenten Systeme*. Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität, Dissertation, 2000
- [Paulitschek 2009] PAULITSCHKEK, P.: Die Prinzipal-Agenten-Theorie als ökonomischer Bezugsrahmen. Version: 2009. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8349-8190-5_3. In: *Aufsicht über den Berufsstand der Wirtschaftsprüfer in Deutschland*. Gabler, 2009, S. 19–72
- [Pfohl u. Gomm 2009] PFOHL, H. C. ; GOMM, M.: Supply chain finance: optimizing financial flows in supply chains. In: *Logistics Research* 1 (2009), Nr. 3-4, S. 149–161. <http://dx.doi.org/10.1007/s12159-009-0020-y>. – ISSN 1865–035X

- [Pfohl u. a. 2003] PFOHL, H. C. ; HOFMANN, E. ; ELBERT, R.: Financial Supply Chain Management : Neue Herausforderungen für die Finanz- und Logistikwelt. In: *Logistik Management* 5 (2003), Nr. 4. <https://www.alexandria.unisg.ch/id/eprint/29035>
- [Picot 1991] PICOT, A.: Ein neuer Ansatz zur Gestaltung der Leistungstiefe. In: *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung* 43 (1991), Nr. 12, 336–357. <https://epub.ub.uni-muenchen.de/6826/1/6826.pdf>
- [Picot u. a. 2005] PICOT, A. ; DIETL, H. ; FRANCK, E.: *Organisation: Eine ökonomische Perspektive*. 4., überarb. und erw. Aufl. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2005 <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/2859/>. – ISBN 3–7910–2371–3
- [Picot u. a. 2015] PICOT, A. ; DIETL, H. ; FRANCK, E. ; FIEDLER, M. ; ROYER, S.: *Organisation: Theorie und Praxis aus ökonomischer Sicht*. 7. Schäffer-Poeschel, 2015
- [Picot u. a. 2008] PICOT, A. ; REICHWALD, R. ; WIGAND, R.: *Information, Organization and Management*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2008. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-71395-1>. – ISBN 9783540713951
- [Picot u. a. 2020] PICOT, A. ; REICHWALD, R. ; WIGAND, R. T. ; MÖSLEIN, K. ; NEUBURGER, R. ; NEYER, A. K.: *Die grenzenlose Unternehmung: Information, Organisation & Führung*. 6., vollständig neu bearbeitete Auflage. Wiesbaden : Springer Gabler, 2020 (Lehrbuch). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-658-28565-4>. – ISBN 978-3-658-28564-7
- [Pokahr u. a. 2005] POKAHR, A. ; BRAUBACH, L. ; LAMERSDORF, W.: Jadex: A BDI Reasoning Engine. Version: 2005. http://dx.doi.org/10.1007/0-387-26350-0_6. In: BORDINI, R. H. (Hrsg.): *Multi-agent programming* Bd. 15. New York, NY : Springer, 2005. – ISBN 978-0-387-24568-3, S. 149–174
- [Praet 2016] PRAET, P.: *Monetary policy and the euro area banking system: Speech, Member of the Executive Board of the ECB, Madrid, 4 October 2016*. <https://www.ecb.europa.eu/press/key/date/2016/html/sp161004.en.html>. Version: 2016
- [Prockl 2007] PROCKL, G. (Hrsg.): *Neue betriebswirtschaftliche Forschung*. Bd. 359: *Logistik-Management im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Erklärung und praktischer Handlung*. 1. Aufl. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl., 2007. – ISBN 978-3-8350-0968-4
- [Prudhomme u. a. 2020] PRUDHOMME, C. ; CRUZ, C. ; CHERIFI, H.: An Agent based model for the transmission and control of the COVID-19 in Dijon. In: *MARAMI 2020-Modèles & Analyse des Réseaux: Approches Mathématiques & Informatiques-The 11th Conference on Network Modeling and Analysis* (2020), Nr. 2750. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03115147/document>
- [Pruitt 1981] PRUITT, D. G.: *Negotiation Behavior*. New York : Academic Press, 1981. – ISBN 0277-9536

- [PUMA 2016] PUMA: *PUMA's Financing Program for Suppliers wins Innovation Award*. www.puma-catchup.com/puma-wins-innovation-award/. Version: 2016 (Blog post)
- [Rahman u. a. 2019] RAHMAN, H. A. ; PARK, J. ; SUH, J.: Use of Software Agent Technology in Management Information System: A Literature Review and Classification. In: *Asia Pacific Journal of Information Systems* 29 (2019), Nr. 1, S. 65–82. <http://dx.doi.org/10.14329/apjis.2019.29.1.65>. – ISSN 2288–5404
- [Rebstock 2001] REBSTOCK, M.: Elektronische Unterstützung und Automatisierung von Verhandlungen. In: *Wirtschaftsinformatik* 43 (2001), Nr. 6, S. 609–619. – ISSN 0937–6429
- [Ricci u. a. 2009] RICCI, A. ; PIUNTI, M. ; VIROLI, M. ; OMICINI, A.: Environment Programming in CArtAgO. Version: 2009. http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-89299-3_8. In: *Multi-Agent Programming*. Springer, Boston, MA, 2009, S. 259–288
- [Richter 1991] RICHTER, R.: Institutionenökonomische Aspekte der Theorie der Unternehmung. In: ORDELHEIDE, D. (Hrsg.) ; RUDOLPH, B. (Hrsg.) ; BÜSSELMANN, E. (Hrsg.): *Betriebswirtschaftslehre und ökonomische Theorie*. Stuttgart : Poeschel, 1991 (Wissenschaftliche Jahrestagung des Verbandes der Hochschullehrer für Betriebswirtschaft e.V). – ISBN 3791005510, S. 395–429
- [Richter u. a. 2003] RICHTER, R. ; FURUBOTN, E. G. ; STREISSLER, M.: *Neue Institutionenökonomik: Eine Einführung und kritische Würdigung*. 3., überarb. und erw. Aufl. Tübingen : Mohr Siebeck, 2003 (Neue ökonomische Grundrisse). – ISBN 9783161480607
- [Riege u. a. 2009] RIEGE, C. ; SAAT, J. ; BUCHER, T.: Systematisierung von Evaluationsmethoden in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In: BECKER, J. (Hrsg.) ; KRCCMAR, H. (Hrsg.) ; NIEHAVES, B. (Hrsg.): *Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik*. Heidelberg : Physica-Verl., 2009. – ISBN 978-3-7908-2335-6, S. 69–86
- [Rodriguez u. a. 2014] RODRIGUEZ, S ; GAUD, N. ; GALLAND, S.: SARL: A General-Purpose Agent-Oriented Programming Language. In: *2014 IEEE/WIC/ACM International Joint Conferences on Web Intelligence (WI 2014) and Intelligent Agent Technologies (IAT 2014)*. Piscataway, NJ : IEEE, 2014. – ISBN 9781479941438
- [Rohde u. a. 2000] ROHDE, J. ; MEYR, H. ; WAGNER, M.: Die Supply Chain Planning Matrix. In: *PPS Management* 5 (2000), Nr. 36716
- [Rosas u. Camarinha-Matos 2009] ROSAS, J. ; CAMARINHA-MATOS, L. M.: An approach to assess collaboration readiness. In: *International Journal of Production Research* 47 (2009), Nr. 17, S. 4711–4735. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540902847298>. – ISSN 0020–7543
- [Ross 1973] ROSS, S. A.: The economic theory of agency: The principal's problem. In: *The American economic review* 63 (1973), Nr. 2, S. 134–139. – ISSN 0002–8282

- [Rubin u. Brown 1975] RUBIN, J. Z. ; BROWN, B. R.: *The Social Psychology of Bargaining and Negotiation*. New York : Academic Press, 1975. – ISBN 9781483289076
- [Sach 1993] SACH, A.: *Kapitalkosten der Unternehmung und ihre Einflußfaktoren*. Schweiz, Universität St. Gallen, Dissertation, 1993
- [Sadlovska 2007] SADLOVSKA, V.: *Technology platforms for supply chain finance*. Boston : Aberdeen Study, 2007
- [Sanders u. Beywl 2006] SANDERS, J. R. (Hrsg.) ; BEYWL, W. (Hrsg.): *Handbuch der Evaluationsstandards: Die Standards des "Joint Committee on Standards for Educational Evaluation"*. 3., erw. und aktualisierte Aufl. Wiesbaden : VS Verl. für Sozialwiss, 2006 http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2628600&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm. – ISBN 3531146726
- [Sandholm 2006] SANDHOLM, T.: Optimal winner determination algorithms. In: *Cramton, P.; Shoham, Y. and Steinberg, R. (eds.), Combinatorial Auctions* (2006), S. 337–368
- [SCF-Lab Universität St. Gallen 2020] SCF-LAB UNIVERSITÄT ST. GALLEN: *Working Capital Management Studien*. https://www.postfinance.ch/de/unternehmen/beduerfnisse/unternehmen/working-capital-management/aktuelle-wcm-studien.html?utm_source=newsletter&utm_medium=email&utm_campaign=wcm_summit_120_danke. Version: 2020
- [Schütte 1998] SCHÜTTE, R.: *Neue betriebswirtschaftliche Forschung*. Bd. 233: *Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung: Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle*. Wiesbaden : Gabler Verlag, 1998. – ISBN 978-3-409-12843-8
- [Schwegler 1995] SCHWEGLER, G.: *Logistische Innovationsfähigkeit: Konzept und organisatorische Grundlagen einer entwicklungsorientierten Logistik-Technologie: Zugl.: Köln, Univ., Diss., 1995*. Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl., 1995 (DUV). – ISBN 978-3-8244-0275-5
- [Searle 1969] SEARLE, J. R.: *Speech acts: An essay in the philosophy of language*. Cambridge University Press, 1969. – ISBN 052109626X
- [Shapiro 1987] SHAPIRO, S. P.: The Social Control of Impersonal Trust. In: *American Journal of Sociology* 93 (1987), Nr. 3, S. 623–658. <http://dx.doi.org/10.1086/228791>
- [Shukla u. Kiridena 2016] SHUKLA, N. ; KIRIDENA, S.: A fuzzy rough sets-based multi-agent analytics framework for dynamic supply chain configuration. In: *International Journal of Production Research* 54 (2016), Nr. 23, S. 6984–6996. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1151567>. – ISSN 0020-7543
- [Skiera u. Spann 2003] SKIERA, B. ; SPANN, M.: Auktionen. In: DILLER, H. (Hrsg.) ; HERRMANN, A. (Hrsg.): *Handbuch Preispolitik*. Wiesbaden : Gabler Verlag, 2003. – ISBN 978-3-322-90513-0, S. 623–641

- [Smith u. Davis 1981] SMITH, R. G. ; DAVIS, R.: Frameworks for cooperation in distributed problem solving. In: *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics* 11 (1981), Nr. 1, S. 61–70. – ISSN 0018–9472
- [Specht 1992] SPECHT, G.: Technologiemanagement: Grundgedanken zum Gegenstand und zugleich Sammelrezension. In: *Die Betriebswirtschaft* 52 (1992), Nr. 4, S. 547–566
- [Spremann 1990] SPREMANN, K.: Asymmetrische information. In: *Zeitschrift für Betriebswirtschaft* 60 (1990), Nr. 5/6, 561–586. <https://www.alexandria.unisg.ch/31925/1/61asy.pdf>
- [Stockmann 2006] STOCKMANN, R.: *Sozialwissenschaftliche Evaluationsforschung*. Bd. 5: *Evaluation und Qualitätsentwicklung: Eine Grundlage für wirkungsorientiertes Qualitätsmanagement*. Münster : Waxmann, 2006 <http://www.socialnet.de/rezensionen/isbn.php?isbn=978-3-8309-1621-5>. – ISBN 3830916213
- [Stopka u. Urban 2018] STOPKA, U. ; URBAN, T.: *Investition und Finanzierung: Lehr- und Übungsbuch für Bachelor-Studierende*. Berlin : Springer Gabler, 2018 (Lehrbuch). – ISBN 978–3–642–01691–2
- [Ströbel u. Weinhardt 2003] STRÖBEL, M. ; WEINHARDT, C.: The Montreal Taxonomy for Electronic Negotiations. In: *Group Decision and Negotiation* 12 (2003), Nr. 2, S. 143–164. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1023072922126>. – ISSN 0926–2644
- [Taschner u. Charifzadeh 2020] TASCHNER, A. ; CHARIFZADEH, M.: Supply Chain Finance. In: *Management Accounting in Supply Chains*. Wiesbaden : Springer Fachmedien, 2020. – ISBN 978–3–658–28597–5, S. 121–151
- [Teuteberg 2003] TEUTEBERG, F.: Experimental Evaluation of a Model for Multilateral Negotiation with Fuzzy Preferences on an Agent-based Marketplace. In: *Electronic Markets* 13 (2003), Nr. 1, S. 21–32
- [Tsai u. Peng 2017] TSAI, C. H. ; PENG, K. J.: The FinTech Revolution and Financial Regulation: The Case of Online Supply-Chain Financing. In: *Asian Journal of Law and Society* 4 (2017), Nr. 1, S. 109–132. <http://dx.doi.org/10.1017/als.2017.8>. – ISSN 2052–9015
- [Ury 1993] URY, W.: *Getting Past No: Negotiating your way from confrontation to cooperation*. New York : Bantam, 1993. – ISBN 0553371312
- [Valentine u. Cooper 2008] VALENTINE, J. C. ; COOPER, H.: Research Synthesis and Meta-Analysis. In: SMITH, M. C. (Hrsg.) ; DEFRADES-DENSCH, N. (Hrsg.): *Handbook of Research on Adult Learning and Development*. Routledge Handbooks Online, 2008. – ISBN 9780805858198, S. 184–202
- [van Parunak 2000] VAN PARUNAK, H. D.: Agents in overalls: Experiences and issues in the development and deployment of industrial agent-based systems. In: *International Journal of Cooperative Information Systems* 9 (2000), Nr. 03, S. 209–227. – ISSN 0218–8430

- [van Randen u. a. 2016] VAN RANDEN, H. J. ; BERCKER, C. ; FIEMML, J.: *Einführung in UML: Analyse und Entwurf von Software*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016. – ISBN 978-3-658-14411-1
- [Vitteau u. Huget 2004] VITTEAU, B. ; HUGET, M. P.: Modularity in Interaction Protocols. Version: 2004. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-24608-4_17. In: DIGNUM, F. (Hrsg.): *Advances in agent communication* Bd. 2922. Berlin and Heidelberg and New York : Springer, 2004. – ISBN 978-3-540-20769-6, S. 291–309
- [Voeth u. Herbst 2009] VOETH, M. ; HERBST, U.: *Verhandlungsmanagement: Planung, Steuerung und Analyse*. Stuttgart : Schäffer-Poeschel, 2009
- [Wacker 1998] WACKER, J. G.: A definition of theory: research guidelines for different theory-building research methods in operations management. In: *Journal of Operations Management* 16 (1998), Nr. 4, 361–385. [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(98\)00019-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(98)00019-9). – ISSN 02726963
- [Wang u. a. 2011] WANG, X. H. ; WONG, T. N. ; WANG, G.: Knowledge representation for multi-agent negotiations in virtual enterprises. In: *International Journal of Production Research* 49 (2011), Nr. 14, S. 4275–4297. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.518996>. – ISSN 0020-7543
- [Wellman u. a. 2001] WELLMAN, M. P. ; WALSH, W. E. ; WURMAN, P. R. ; MACKIE-MASON, J. K.: Auction protocols for decentralized scheduling. In: *Games and economic behavior* 35 (2001), Nr. 1-2, S. 271–303. – ISSN 0899-8256
- [Wen u. a. 2019] WEN, Z. ; LIAO, H. ; KAZIMIERAS ZAVADSKAS, E. ; AL-BARAKATI, A.: Selection third-party logistics service providers in supply chain finance by a hesitant fuzzy linguistic combined compromise solution method. In: *Economic research-Ekonomika istraživanja* 32 (2019), Nr. 1, S. 4033–4058. <http://dx.doi.org/10.1080/1331677X.2019.1678502>. – ISSN 1331-677X
- [Westermayer 2002] WESTERMAYER, T.: *Trust in Bots: Zur Rolle von Vertrauen und Reputation bei Multiagenten-Systemen*. Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität, Studienarbeit, 2002
- [Williamson 1975] WILLIAMSON, O. E.: *Markets and Hierarchies: Analysis and Antitrust Implications: A Study in the Economics of Internal Organization*. New York : Free Press, 1975
- [Williamson 1979] WILLIAMSON, O. E.: Transaction-Cost Economics: The Governance of Contractual Relations. In: *The Journal of Law and Economics* 22 (1979), Nr. 2, S. 233–261. <http://dx.doi.org/10.1086/466942>
- [Williamson 1985] WILLIAMSON, O. E.: *The economic institutions of capitalism*. New York : Free Press, 1985
- [Wolfram 2020] WOLFRAM, C.: An agent-based model of covid-19. In: *Complex Systems* 29 (2020), Nr. 1, S. 87–105

- [Wooldridge u. a. 1996] WOOLDRIDGE, M. ; BUSSMANN, S. ; KLOSTERBERG, M.: Production sequencing as negotiation. In: *Proceedings of the First International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology (PAAM-96)* (1996), S. 709–726
- [Wooldridge u. Jennings 1995] WOOLDRIDGE, M. J. ; JENNINGS, N. R.: Intelligent agents: Theory and practice. In: *The Knowledge Engineering Review* 10 (1995), Nr. 2, S. 115–152. – ISSN 0269–8889
- [Wooldridge 2009] WOOLDRIDGE, Michael: *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & Sons, 2009. – ISBN 0470519460
- [Wottawa u. Thierau 1998] WOTTAWA, H. ; THIERAU, H.: *Lehrbuch Evaluation*. 2. Bern : Huber, 1998
- [Wuttke u. a. 2013a] WUTTKE, D. A. ; BLOME, C. ; FOERSTL, K. ; HENKE, M.: Managing the innovation adoption of supply chain finance: Empirical evidence from six European case studies. In: *Journal of Business Logistics* 34 (2013), Nr. 2, S. 148–166. – ISSN 0735–3766
- [Wuttke u. a. 2013b] WUTTKE, D. A. ; BLOME, C. ; HENKE, M.: Focusing the financial flow of supply chains: An empirical investigation of financial supply chain management. In: *International Journal of Production Economics* 145 (2013), Nr. 2, S. 773–789. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.05.031>. – ISSN 09255273
- [Xu 2011] XU, L. D.: Information architecture for supply chain quality management. In: *International Journal of Production Research* 49 (2011), Nr. 1, S. 183–198. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.508944>. – ISSN 0020–7543
- [Xu u. a. 2018] XU, X. ; CHEN, X. ; JIA, F. ; BROWN, S. ; GONG, Y. ; XU, Y.: Supply chain finance: A systematic literature review and bibliometric analysis. In: *International Journal of Production Economics* 204 (2018), S. 160–173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.003>. – ISSN 09255273
- [Yu u. a. 2017a] YU, C. ; WONG, T. N. ; LI, Z.: A hybrid multi-agent negotiation protocol supporting supplier selection for multiple products with synergy effect. In: *International Journal of Production Research* 55 (2017), Nr. 1, S. 18–37. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1189105>. – ISSN 0020–7543
- [Yu u. a. 2017b] YU, Y. ; CAO, R. Q. ; SCHNIEDERJANS, D.: Cloud computing and its impact on service level: a multi-agent simulation model. In: *International Journal of Production Research* 55 (2017), Nr. 15, S. 4341–4353. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2016.1251624>. – ISSN 0020–7543
- [Zhang u. a. 2011a] ZHANG, L. ; WANG, S. ; LI, F. ; WANG, H. ; WANG, L. ; TAN, W.: A few measures for ensuring supply chain quality. In: *International Journal of Production Research* 49 (2011), Nr. 1, S. 87–97. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.508965>. – ISSN 0020–7543

-
- [Zhang u. a. 2011b] ZHANG, X. ; LU, Q. ; WU, T.: Petri-net based applications for supply chain management: an overview. In: *International Journal of Production Research* 49 (2011), Nr. 13, S. 3939–3961. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.492800>. – ISSN 0020–7543
- [Zhao u. Huchzermeier 2018] ZHAO, L. ; HUCHZERMEIER, A.: *Supply chain finance: Integrating operations and finance in global supply chains*. Cham, Switzerland : Springer, 2018 (EURO advanced tutorials on operational research). – ISBN 978–3–319–76662–1

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Alle Teile meiner Arbeit, die wortwörtlich oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, wurden unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Gleiches gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Die Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch nicht als Prüfungsleistung eingereicht.

Die elektronische Fassung der Arbeit stimmt mit der gedruckten Version überein.

Mir ist bewusst, dass wahrheitswidrige Angaben als Täuschung behandelt werden.

Leipzig, den 1. Februar 2022

Alexandra Fiedler