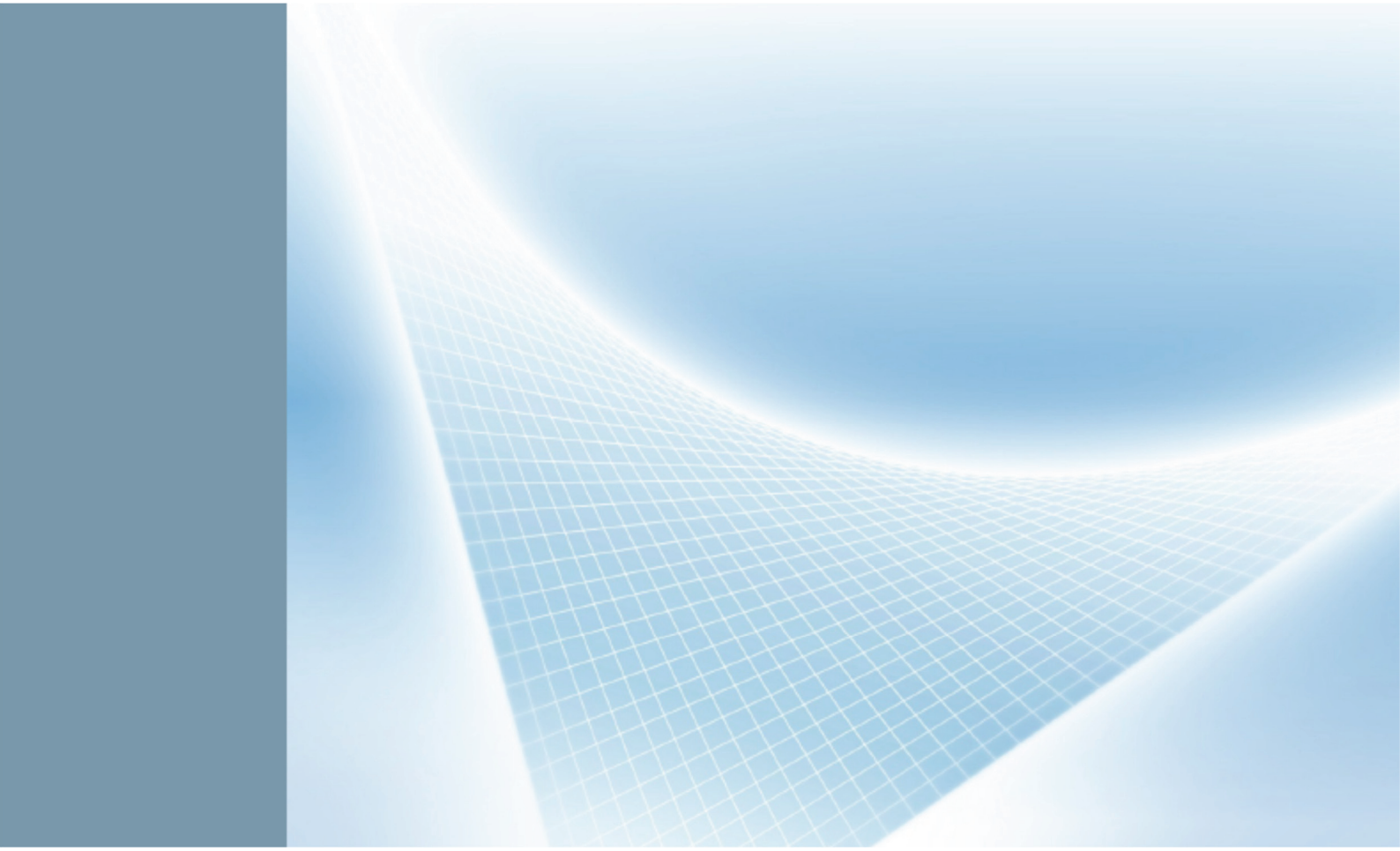
Institute of Technology and Process Management

ulm university universität ulm

Leo Brecht, Birgit Stelzer



Distributed Manufacturing

Eine Technologievorausschau anhand IT-gestützter bibliometrischer Analyse und Szenariotechnik

Mandy Gardemin, Laura Lindemann, Benjamin Schopf, Birgit Stelzer, Edgar Schiebel

ITOP-Schriftenreihe Nr. 10
ISSN (Print) 2199-4919
ISSN (Online) 2511-1698

Projektmitarbeiter

Wissenschaftlicher Direktor
Prof. Dr. Leo Brecht, Universität Ulm

Wissenschaftliche Projektleiterin
Dr. Birgit Stelzer

Studentische Mitarbeiter
Mandy Gardemin, L.L.B.
Laura Lindemann, B.Sc.
Benjamin Schopf, B.Sc

Kooperationspartner:
Dr. Edgar Schiebel, Austrian Institute of Technology, Wien

Impressum

Herausgeber

Prof. Dr. Leo Brecht, Institutsdirektor und Dr. Birgit Stelzer, Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Technologie- und Prozessmanagement

Universität Ulm
Helmholtzstraße 22
D-89081 Ulm

Fon +49 (0) 7 31 50-3 23 00
Fax +49 (0) 7 31 50-3 23 09

E-Mail: leo.brecht@uni-ulm.de
Internet: www.uni-ulm.de/mawi/itop.html

Druck

Copyright © by Prof. Dr. Leo Brecht, Universität Ulm.
Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.

Ulm, Mai 2017. Printed in Germany.

Inhaltsverzeichnis

Impressum ..... **I**

Inhaltsverzeichnis ..... **II**

Abbildungsverzeichnis ..... **IV**

Tabellenverzeichnis ..... **V**

Abkürzungsverzeichnis ..... **I**

1 Executive Summary **1**

2 Einleitung **4**

2.1 Industrie 4.0 ..... *4*

2.2 Distributed Manufacturing *5*

3 Forschungsmethodischer Rahmen **8**

3.1 Bibliometrie *8*

3.2 Szenariotechnik *8*

4 Bibliometrische Analyse zu Distributed Manufacturing **10**

4.1 Einbettung des Technologiefeldes in die Dimensionen der Wissenschaft *11*

4.2 Netzwerkanalysen *21*

4.2.1 Netzwerk der Autoren 22

4.2.2 Netzwerk der Forschungsdisziplinen 28

4.3 Wissensbasen und Forschungsfronten *31*

4.3.1 Wissensbasen: Landkarte der Co-Zitationen 31

4.3.2 Forschungsfronten: Gebirgslandschaft der bibliografisch gekoppelten Publikationen 36

4.3.3 Forschungsportfolio: Positionierung der Forschungsfronten in der Wissenschaft 42

4.4 Zusammenfassung *43*

5 Szenariotechnik zu Distributed Manufacturing **45**

5.1 Definition des Untersuchungsgegenstandes *46*

5.2 Einflussbereiche und Treiber *48*

5.2.1 Trends: begriffliche Definition 48

5.2.2 Megatrends 49

5.2.3 Soziokulturelle Trends und Konsumententrends: 52
5.2.4 Einflussbereiche und Treiber von Distributed Manufacturing 53
5.3 Deskriptoren und Projektionen 57
5.3.1 Deskriptoren 57

5.3.2 Projektionskatalog 59
5.4 Alternativenbündelung 66
5.5 Beschreibung der Szenarien 68
5.5.1 Szenario 1: Die intelligente Vernetzung der Welt 68
5.5.2 Szenario 2: Eine Welt wächst zusammen 70
5.5.3 Szenario 3: Die Vorboten des Mad Max 71
5.6 Störereignisse und deren Wirkung auf die Szenarien 72
5.6.1 Störereignis 1: Atomkrieg 72
5.6.2 Störereignis: keine Verfügbarkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen 74
5.6.3 Störereignis 3: Datenschutz wird enorm wichtig 75

6 Ableitung robuster Technologien 77

7 Fazit 82

Literaturverzeichnis 84

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Armbanduhrenproduktion im Distributed Manufacturing 6
Abbildung 2: Vorgehensweise bibliometrische Analyse(eigene Darstellung) 10
Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Publikationen im Distributed Manufacturing 12
Abbildung 4: Gartner Hype Cycle Emerging Technologies 2015 13
Abbildung 5: Umfrage zu Hindernissen industrieller Anwendung des 3D-Drucks in den USA (2014) .. 15
Abbildung 6: Publikationsverteilung nach Ländern 18
Abbildung 7: Ranking der Industrienationen nach Bruttoinlandsprodukt 18
Abbildung 8: Anzahl nach Art der Quellen zu Distributed Manufacturing 19
Abbildung 9: Top Ten der Journale im Distributed Manufacturing 20
Abbildung 10: Autorennetzwerk zum Bereich Distributed Manufacturing 22
Abbildung 11: Autorenkomponente Shen Weiming und Lihui Wang 23
Abbildung 12: Autorenkomponente 1 nach Forschungsbereichen 24
Abbildung 13: Autorenkomponente um Andrew YC Nee und Yun Feng Zhang 25
Abbildung 14: Autorenkomponente 2 nach Forschungsbereichen 26
Abbildung 15: Autorenkomponente um Paulo Leitao 26
Abbildung 16: Autorenkomponente 3 nach Forschungsbereichen 27
Abbildung 17: Disziplinen-Netzwerk im Bereich Distributed Manufacturing 28
Abbildung 18: Cloud-basiertes ERP-System 30
Abbildung 19: Wissensbasennetzwerk Distributed Manufacturing 33
Abbildung 20: Cloud Manufacturing 34
Abbildung 21: Potenzielle Einsatzgebiete des Cloud Manufacturing 35
Abbildung 22: Forschungsfrontennetzwerk Distributed Manufacturing 37
Abbildung 23: Forschungsfronten Distributed Manufacturing 37
Abbildung 24: Forschungsportfolio zum Thema *Distributed Manufacturing* 42
Abbildung 25: Semantisches Netz 47
Abbildung 26: Systemanalyse 53
Abbildung 27: Systemgrid 56
Abbildung 28: Alternativenbündelung Distributed Manufacturing 67
Abbildung 29: Wildcard Atomkrieg 73
Abbildung 30: Wildcard keine Verfügbarkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen 74
Abbildung 31: Wildcard Datenschutz wird enorm wichtig 75
Abbildung 32: Umsatzentwicklung der deutschen Werkzeugindustrie 78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionen der Disziplinen 29
Tabelle 2: Forschungsdimensionen Wissensbasen 32
Tabelle 3: Forschungsdimensionen Distributed Manufacturing 40
Tabelle 4: Szenariotechnik nach ITOP 45
Tabelle 5: Relevante Trends im Distributed Manufacturing 49
Tabelle 6: Einflussmatrix 54
Tabelle 7: Relevanzmatrix 55
Tabelle 8: Schlüsseltreiber 57
Tabelle 9: Schlüsseltreiber und Deskriptoren 58
Tabelle 10: Strategische Roadmap des Themenbereichs *Distributed Manufacturing* 79
Tabelle 11: Strategische Ziele 80

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
AG	Aktiengesellschaft
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
B2B	Business to Business
B2C	Business to Consumer
CAD	computer-aided design
CAM	computer-aided manufacturing
CAPP	computer-aided process planning
d. h.	das heißt
etc.	et cetera
F&E	Forschung und Entwicklung
ff.	fort folgende
ggf.	gegebenenfalls
Hrsg.	Herausgeber
IJPR	International Journal of Production Research
IdD	Internet der Dinge
IT	Informationstechnologie
ITOP	Institut für Technologie- und Produktmanagement
o.J.	ohne Jahresangabe
PLA	Polylactide
RFID	radio-frequency identification
S.	Seite
TIM	Technologie- und Innovationsmanagement
u. a.	unter anderem
usw.	und so weiter
Vgl.	Vergleiche
z. B.	zum Beispiel

1 Executive Summary

Schon so manche industrielle Revolution hat das Leben der Menschen verändert. Zuerst war es die Mechanisierung, die durch Einführung von mechanischen Produktionsmaschinen in den Produktionsprozess implementiert wurde. Im zweiten Schritt konnte durch elektrische Energie eine arbeitsteilige Massenproduktion eingeführt werden. An dritter Stelle gelang es durch den Einsatz von IT und Elektronik die Produktion weiter zu automatisieren. Die vierte und aktuell andauernde industrielle Revolution findet auf Basis von cyber-physischen Systemen statt.[1] Auch durch diese vierte industrielle Revolution wird der Produktionsprozess verändert und den Unternehmen ganz neue Möglichkeiten geboten. In Hinblick auf diese Veränderung hat das Distributed Manufacturing eine große Bedeutung. „Es liefert Technologien, Systeme und Strategien, die die Wirtschaftlichkeit und die Organisation der Fertigung ändern, vor allem im Hinblick auf die Lage und das Ausmaß.“ [2]

Die vorliegende Arbeit wird eine Technologievorausschau für das Themenfeld *Distributed Manufacturing* liefern. Ziel der Arbeit soll es sein zu ermitteln welche Technologien in Zukunft genutzt werden können, um Distributed Manufacturing in Unternehmen umzusetzen. Letztendlich soll daraus die Bedeutung des Distributed Manufacturing für die Zukunft abgeleitet werden.

Für die Technologievorausschau werden im ersten Schritt mittels einer bibliometrischen Analyse u. a. Wissensbasen und Forschungsfronten analysiert, die Auskunft über aufkommende Forschungsthemen zum *Distributed Manufacturing* geben. Mittels dieser Ergebnisse soll im Anschluss die Szenariotechnik durchgeführt werden, deren Resultat am Ende robuste Technologien und strategische Maßnahmen für ein Unternehmen definieren.

Der vorliegende Forschungsbericht befasst sich mit Veränderungen traditioneller Produktionsprozesse. Schlüsselfragen sind hierbei: Wie wird sich die Produktion in Zukunft ändern? Wie kann ein produzierendes Unternehmen sich gegenüber den anstehenden Veränderungen bestmöglich wappnen? Auf welche möglichen Zukunftsszenarien muss sich ein produzierendes Unternehmen einstellen? Welche emergenten Technologien sind von Bedeutung, um auch zukünftig am Markt bestehen zu können?

Im Rahmen der Technologievorausschau sollen die oben genannten Fragen beantwortet werden. Mit Hilfe einer bibliometrischen Analyse werden emergente Technologien und aktuelle Forschungsthemen aus einem Datensatz wissenschaftlicher Publikationen ermittelt. In der anschließenden Szeanriotechnik werden drei Szenarien gebildet, welche die möglichen Entwicklungsrichtungen des Distributed Manufacturing visionieren sollen.

Die Hauptergebnisse der Technologievorausschau sind:

Hot Spots der Wissenschaft

Wichtige Autoren im Themenfeld *Distributed Manufacturing* sind Dr. Weiming Shen und Lihui Wang. Dr. Weiming Shen ist Senior Research Scientist am National Research Council Canada. und forscht zum

[1] Vgl. Siemens (2013).
[2] Vgl. Quora (o.J.).

Bereich intelligente Agenten-Technologien und deren Anwendungen. Lihui Wang, Professor am KTH Royal Institute of Technology publiziert zum Thema *Distributed Process Planning* sowie *Cloud Manufacturing.*

Seit 1991 ist ein kontinuierlicher Anstieg der Publikationen zum Thema *Distributed Manufacturing* zu verzeichnen. Allerdings ist der zeitliche Verlauf der Publikationen von Schwankungen gekennzeichnet, die vermuten lassen, dass neue relevante Technologien der Grund für das erneute Interesse an der Forschung waren und dem damit verbundenen erneuten Anstieg der Publikationen.

Führende Nationen hinsichtlich der Forschung zum Thema *Distributed Manufacturing* sind die USA, China, Deutschland und Japan.

Das Thema findet nicht nur auf Industriekonferenzen und –messen Anklang. Auf der „Greenbuild International Conference 2015“, der größten Messe zum Thema ökologischen Bauen, wurde Distributed Manufacturing behandelt.

Das Journal, in dem Distributed Manufacturing am häufigsten thematisiert wird, ist das „International Journal of Production Research“.

Autorennetzwerke

Das Autorennetzwerk weist drei bedeutende Teilnetzwerke auf. Das erste um Lihui Wang und Weiming Shen beschäftigt sich mit den Themen *Implementation Systems*, *Cloud Manufacturing* und *agentenbasierte Systeme*. Die zweite Komponente um Andrew YC Nee publiziert zu den Bereichen *Computer Science*, *Engineering und Robotic*. Weitere Schwerpunkte sind *Control Systems* und *Operation Research*. Die dritte Komponente um Paulo Leitao thematisiert u. a. die Themen *Intelligent Systems*, *Automation* und *Control Systems*. Es lässt sich zudem sagen das wenig Kooperation untereinander stattfindet.

Forschungsdisziplinen

Die wichtigsten Forschungsdisziplinen im Bereich Distributed Manufacturing lassen sich in 3 Cluster gliedern. Auffällig ist, dass die Disziplinen sich mit den Forschungsbereichen der wichtigsten Autoren gleichen. Das Cluster Computer Science beinhaltet die zwei Disziplinen *Interdisciplinary Applications* und *Artificial Intelligence*. Der Bereich Engineering mit den Disziplinen *Engineering Manufacturing* und *Engineering Industrial* ist der wichtigste. Die dritte große Komponente kann zusammengefasst werden zu dem Bereich Automation Control Systems.

Wissensbasen und Forschungsfronten

Thematische Schwerpunkte mit aktuell hohem Forschungsinteresse sind Systeme, die eine Umsetzung des Distributed Manufacturing ermöglichen sowie deren Implementierung, deren Einsatzgebiete und den damit verbundenen gestellten Anforderungen an diese Systeme.

Aus den Referenzen dieser Publikationen erschließen sich vor allem die Themen *internetbasierte Systeme* und *agentenbasierte Fertigungssysteme* sowie *Cloud Manufacturing*. Sie bilden die sogenannten Wissensbasen, „historische“ Quellen, auf die referenziert wird und aus denen sich heutige Themenschwerpunkte entwickelt haben.

Drei Szenarien

Das Szenario 1 geht davon aus, dass im Jahr 2035 die komplette Welt vernetzt ist und alle verfügbaren Geräte mit dem Internet verbunden sind. Distributed Manufacturing hat sich als neues Produktionsverfahren vollständig etabliert. Es funktioniert über Echtzeitinformationen und ist durch die Vernetzung der Welt nicht mehr an einen Standort gebunden. Weitere leistungsstarke Technologien wie die Cloud-Technologie sind ein fester Bestandteil geworden. Unternehmen kommunizieren und arbeiten ausschließlich über die Cloud. Es wurden zudem weltweite einheitliche Standards geschaffen, die eine dezentrale Produktion ermöglichen.

Szenario 2 beschreibt einen fortschreitenden Prozess der Vernetzung. Viele Unternehmen greifen auf neue Produktionssysteme zurück. Eine vollständige Integration der neuen Produktionssysteme ist allerdings noch nicht möglich. Der Online-Handel gewinnt zunehmend an Bedeutung und es ist absehbar, dass in naher Zukunft der Großteil des Vertriebs der Unternehmen über den E-Commerce abgewickelt wird. Erste Unternehmen, vor allem große Industrieunternehmen, die das notwendige Kapital haben für die Implementierung des Distributed Manufacturing, erkennen die Chance für die Generierung von Wettbewerbsvorteilen durch die Nutzung des 3D-Drucks und der Cloud-Technologie.

In Szenario 3 leben 10 Milliarden Menschen auf der Welt. Erste Versorgungsnotstände sind aufgrund der Knappheit von nicht erneuerbaren Ressourcen ausgebrochen. Andauernde Energieversorgungsprobleme führen zu Produktionsausfällen. Die Umorganisierung der Gesellschaft führt zu einer sinkenden Vernetzung. Die Technologie des 3D-Drucks, die eine ressourcenschonende Produktion von Gütern ermöglicht, gewinnt in dieser Zeit jedoch an Bedeutung.

Robuste Technologien

Zu den sogenannten robusten Technologien, die in allen Szenarien den Unternehmen Wettbewerbsvorteile verschaffen können, zählen der 3D-Druck, der eine ressourcenschonende Produktion ermöglicht und die Familie der agentenbasierten Systeme. Die agentenbasierten Systeme stellen die Basis für die vollständige Implementierung des Distributed Manufacturing dar und gewährleisten eine reibungslose Kommunikation der Maschinen untereinander.

2 Einleitung

2.1 Industrie 4.0

Deutsche Produkte stehen für die Attribute Qualität sowie Perfektion. In den letzten Jahren haben allerdings andere Anbieter im globalen Wettbewerb aufgeholt und bieten nun immer mehr konkurrenzfähige Produkte an. Daraus folgt, dass vermehrt Konsum- und Investitionsgüter angeboten werden, die nach individuellen Kundenwünschen gestaltet werden können. Allerdings verursacht die Produktion solcher individuellen Produkte unvorhersehbare Bedarfsschwankungen innerhalb der Wertschöpfungskette. Um diese Schwankungen zu eliminieren, werden Produktions- und Logistikprozesse benötigt, die dynamisch auf diese reagieren können. Mit den momentan mehrheitlich verwendeten, zentral gesteuerten Prozessen innerhalb des Produktionsverfahrens ist dies jedoch nicht möglich. Die Lösung dieses Problems wäre eine intelligente Vernetzung der Produktion im Rahmen einer vierten industriellen Revolution, auch Industrie 4.0 genannt.[3]

Unter Industrie 4.0 versteht man die Vernetzung der Produktion mittels modernster Informations- und Kommunikationstechnik.[4] Maschinen, Anlagen, Logistik, Produkte und Menschen arbeiten zusammen, vernetzen sich und schaffen die Arbeitswelt der Zukunft.[5] Die treibende Kraft zur Entstehung der Industrie 4.0 ist die zunehmende Digitalisierung der Wirtschaft und Gesellschaft. Daraus folgt eine Veränderung der Gestaltung des Produktionsprozesses. Die technischen Voraussetzungen für diese Entwicklung sind große Datenspeicher, Datenübertragungsgeschwindigkeit, Rechnerleistung sowie intelligente digitale vernetze Systeme mit deren Unterstützung eine selbstorganisierte Produktion möglich wird. Das Ziel der Industrie 4.0 ist es die Fähigkeiten der Menschen durch technische Unterstützung zu erweitern, sodass sie zu einem flexiblen Problemlöser werden. Letztendlich soll durch diese Erweiterung eine optimale Zusammenarbeit zwischen Maschine, Mensch und IT-System hervorgebracht werden.[6] Das Ergebnis ist eine intelligente Verzahnung des Produktions- und Logistikprozess zwischen den Unternehmen im selben Produktionsprozess, um die Produktion „flexibler und effizienter zu gestalten."[7] Daraus entsteht eine intelligente Wertschöpfungskette, die dazu noch sämtliche Phasen des Produktlebenszyklus miteinbezieht. Vorteilhaft dabei ist das auf Kundenwünsche von der Produktionsidee über das zusätzliche Serviceangeboten bis hin zum Recycling eingegangen werden kann.[8] Industrie 4.0 ist die Antwort auf die Herausforderungen wie z. B. Ressourcenknappheit oder den demographischen Wandel.[9]

Aktuell ist das Interesse der Öffentlichkeit in Bezug auf Industrie 4.0 auf zwei Schwerpunkte konzentriert. Das dominierende Thema ist dabei die Normierungsinitiative für die Industrie 4.0. Hierbei geht es darum Standards in der digitalen Produktion zu initiieren und diese national als auch international abzustimmen.[10] Dies ist wichtig, damit Maschinen, Produktteile sowie Computer miteinander vernetzt werden können und die Fähigkeiten der Industrie 4.0 nicht durch nationale

[3] Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015), S. 2
[4] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)
[5] Vgl. Bertram (2016)
[6] Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015), S. 1 ff.
[7] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)
[8] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)
[9] Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung (2013), S. 6
[10] Vgl. Juschkat (2016)

Grenzen gestoppt werden.[11] Ein weiteres viel öffentlich diskutiertes Thema im Rahmen der vierten industriellen Revolution ist die IT-Sicherheit. Bei der Verschmelzung der Produktionsprozesse ist es essentiell, dass ein sicherer Datenaustausch zwischen allen Beteiligten der Wertschöpfungskette stattfinden kann, damit es zu keinem Angriff auf sensible Unternehmensdaten durch Hacker kommen kann. Die Entwicklung von IT-Sicherheitssystemen für die Industrie sind von hoher Wichtigkeit, damit die Unternehmen in die vollen Fähigkeiten der Industrie 4.0 vertrauen können.[12] Ansonsten ist eine Vernetzung der Produktion nicht möglich. Die beiden genannten Themenbereiche verfügen über die Gemeinsamkeit, dass für beide vorerst eine Einigung bzw. Lösung gefunden werden muss, damit die Fähigkeiten der Industrie 4.0 in den Unternehmen optimal eingesetzt werden können.

2.2 Distributed Manufacturing

Im Zusammenhang mit dem Thema Industrie 4.0 sollte der verhältnismäßig große Themenbereich *Distributed Manufacturing* erwähnt werden, da es die Technologien, Systeme und Strategien bietet, die die Produktion nach den Maßstäben der Industrie 4.0 ermöglichen. Aufgrund des großen Stellenwertes des Themengebiets *Distributed Manufacturing* und dem erwarteten weiteren Interessenwachstum am Gesamtsystem Industrie 4.0, ist eine Technologievorausschau für die Unternehmen aus dem Produktionssektor von hoher Wichtigkeit. Diese können durch die Vorausschau ihre Marktposition verbessern und ihre Wettbewerbsfähigkeit ausbauen, da sie sich auf das Geschehen in der Zukunft besser einstellen können. Allerdings ist es dafür auch in diesem Bereich wichtig, dass in Zukunft Normierungsinitiativen für die Produktion und eine angemessene IT-Sicherheit gegeben sind. In der Zukunft müssen u. a. für diese Themengebiete Lösungen gefunden werden.

Das Freihandelsabkommen zwischen der Europäischen Union und der USA (TTip) könnte ein fördernder Faktor für die Entwicklung der Industrie 4.0 sein. Das Freihandelsabkommen würde dafür sorgen, dass die Märkte USA und Europäische Union füreinander geöffnet werden. Um die verschiedenen vorherrschenden Kundenansprüchen zu erfüllen, könnte Industrie 4.0 flexiblere Produktionsmöglichkeiten bieten.

Hingegen könnten fehlende Investitionsmittel, Fachkräfte, Standards und Sicherheitsbedenken Hemmnisse einer erfolgreichen Entwicklung der Industrie 4.0 sein.[13] Es würde sich allerdings lohnen diese Hemmnisse zu überwinden, da das Gesamtsystem Industrie 4.0 und auch der Themenbereich *Distributed Manufacturing* ein großes Marktpotenzial bieten. Eine Einzelfertigung von auf die Kundenbedürfnisse abgestimmter Produkte kann ohne Einbüßen von Produktionsverluste realisiert werden.[14] Ermöglicht werden kann dies durch die Unterstützung von einigen Zusatztechnologien, wie z. B. der 3D-Druck, Internet der Dinge, Cloud-Technologie und cyber-physische Systeme. Diese Systeme liefern Informationen über das Produktionsumfeld in Echtzeit. Sie lernen typische Kapazitätsprofile, welche mit Kommunikationsfunktionen für die Mitarbeiter kombiniert werden.[15]

In den letzten Jahren wurden die wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Strukturen durch die Digitalisierung und der damit verbundenen Herausbildung neuer Informations- und Kommunikationstechnologien verändert. Durch die daraus resultierende zunehmende globale

[11] Vgl. Hommel (2016)
[12] Vgl. Schonscheck (2015)
[13] Vgl. MHP (2014) S. 39
[14] Vgl. Simon (2013)
[15] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016) S. 21

Vernetzung der Unternehmen hat sich ein Übergang von der Massenproduktion zu flexibleren Produktionsformen entwickelt. Außerdem folgt aus der globalen Vernetzung ein erhöhter globaler Wettbewerb der Unternehmen. Daraus ergeben sich bedeutende Veränderungen im Wertschöpfungsprozess der Unternehmen, um auch auf dem weltweiten Markt bestehen zu können. Zunehmender Wettbewerb und die tendenzielle Marktsättigung für standardisierte Produkte, zwingen die Unternehmen auf die differenzierten Konsumentenbedürfnisse einzugehen.[16] Ziel dabei ist es eine hohe Kundenzufriedenheit mittels zeitgerechter sowie personalisierter Produkte und Dienstleistungen zu erlangen.[17] Zur Zielerreichung, als auch zur Sicherung eines Qualitätsstandards, ist die Fokussierung der Unternehmen auf ihre Kernkompetenzen Voraussetzung.[18] Distributed Manufacturing bietet hierbei die Möglichkeit durch die Zerlegung der Arbeitsschritte auf die genannten Veränderungen und die Anforderungen einzugehen.

Distributed Manufacturing beschreibt „Technologien, Systeme und Strategien, die die Wirtschaftlichkeit und die Organisation der Fertigung ändern, vor allem im Hinblick auf die Lage und das Ausmaß.“[19] Die Idee des Technologiefeldes Distributed Manufacturing dabei ist es so viel wie möglich der Materialversorgungskette durch digitale Informationen zu ersetzen.[20] In der Wissenschaft als Synonym verwendete Begriffe sind: Distributed Production, Local Manufacturing, Decentralized Manufacturing und Decentralized Production.
Eine Produktion nach den Maßstäben des Distributed Manufacturing könnte wie folgt aussehen. (vgl. Abbildung 1).

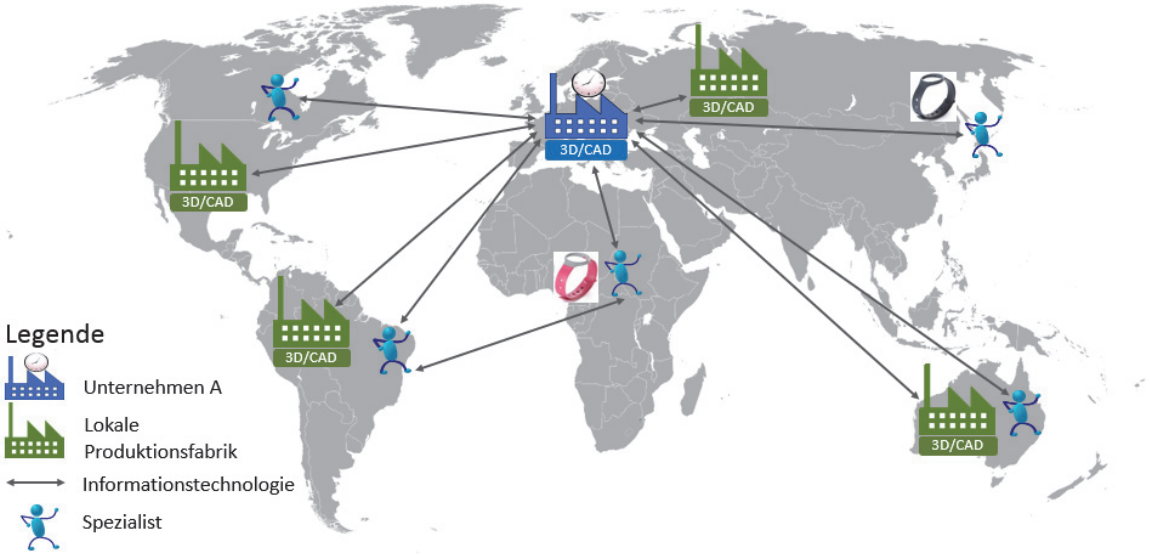


Abbildung 1: Armbanduhrenproduktion im Distributed Manufacturing

Beim Distributed Manufacturing kann Unternehmen A eine neue Kollektion von Armbanduhren designen und produzieren, die es dem Kunden ermöglicht durch zahlreiche Individualisierungen und Anpassungen seine neue Armbanduhr mit zu gestalten. Der Kunde wird so aktiv mit in den Wertschöpfungsprozess eingebunden. Das Internet wird als neues Rekrutierungsportal genutzt. Es werden Designer gesucht, die Spezialisten in der Uhrenindustrie sind. Nach Abschluss des

[16] Vgl. Petschow et al. (2014), S. 10
[17] Vgl. Gunasekaran (1998)
[18] Vgl. Chituc und Restivo (2009)
[19] Vgl. Quora (o.J.)
[20] Vgl. Meyerson (2015)

Auswahlprozesses steht dem Unternehmen für die Umsetzung der neuen Kollektion ein Team der kompetentesten Designer zur Verfügung. Die Produktion der Waren erfolgt beim Distributed Manufacturing auf lokaler Ebene. Das Unternehmen A beauftragt verschiedene Fabriken mit ausreichenden Kapazitäten für die Fertigung der Uhren. Die zeitgerechten und individualisierten Designs werden hierfür an 3D-Drucker und an CNC-Maschinen weitergeleitet. Am Ende des Wertschöpfungsprozesses steht ein Produkt, das durch den Einbezug von Kompetenzen und Technologien weit über die bisherigen Unternehmensgrenzen hinaus nicht nur individuell und qualitativ hochwertig ist sondern weitaus mehr Chancen für Unternehmen A bringt.[21]

[21] Vgl. Bella (2015)

3 Forschungsmethodischer Rahmen

3.1 Bibliometrie

Die bibliometrische Analyse untersucht bibliografische Informationen unter Verwendung von mathematischen und statistischen Methoden.[22] Die Datengrundlage im vorliegenden Fall sind wissenschaftliche Publikationen. Mit Hilfe der Bibliometrie können wissenschaftliche Publikationsleistungen sowie Forschungsergebnisse und aktuelle Entwicklungen in einem bestimmten Themenfeld analysiert werden.[23] Fragestellungen, die in diesem Zusammenhang untersucht werden, sind zum Beispiel, welche Forschungsschwerpunkte ein bestimmtes Thema aufweist, welche Experten an den Themen arbeiten oder wie sich Forschungsschwerpunkte in Publikationen im Zeitverlauf entwickeln. Da sich aus den Beobachtungen technologische Trends ableiten lassen, kommt der Bibliometrie im Bereich der Technologievorausschau eine besondere Bedeutung zu.[24]

Die bibliometrische Analyse erfolgt mit Hilfe des Tools BibTechMon des Austrian Institute of Technology (AIT). Diese Software ermöglicht es, mit Hilfe des themenspezifischen Datensatzes Informationen über die wissenschaftlichen Veröffentlichungen im Zusammenhang der Biobased Economy bzw. den Biomaterialien zu generieren und deskriptive Statistiken bzw. vor allem Netzwerke für die jeweiligen Schwerpunkte der Analysen zu erstellen. Zu diesen Netzwerken zählen Autorennetzwerke, Organisationsnetzwerke, die Wissensbasen und die Forschungsfronten.[25] Der Mehrwert der bibliometrischen Netzwerkanalyse liegt in der Gruppierung der Information in thematische Cluster, die vom Algorithmus gebildet und von den Autoren inhaltlich interpretiert werden. Diese Analyse ermöglicht die Identifikation von Forschungsschwerpunkten und emergenten Technologien. Diese Informationen fließen schließlich in die Szenariotechnik mit ein. Das heißt, während der Ableitung der verschiedenen Szenarien werden die Ergebnisse aus der bibliometrischen Analyse stets im Blick behalten, um letztendlich die Zukunftsvorausschau innerhalb der Szenariotechnik zu schärfen.

3.2 Szenariotechnik

Die Szenariotechnik ermöglicht grundsätzlich das Visionieren unterschiedlicher Zukünfte für einen Betrachtungsgegenstand. Dieser Betrachtungsgegenstand wird als System definiert. Es gilt, die Einflüsse auf dieses System zu bestimmen. Diese werden detailliert beschrieben (Deskriptoren) und in die Zukunft projektiert (Projektionen). Die Projektion erfolgt dabei nicht (nur) trendspezifisch im Sinne eines möglichen Trendverlaufs, sondern in Form von Alternativen. Das heißt, es resultieren mehrere zukünftige Zustände (Szenarien), welche intern möglichst homogen und stabil sind und sich voneinander unterscheiden.

[22] Vgl. Havemann (2009), S. 7
[23] Vgl. Ball und Tunger (2005), S. 15
[24] Vgl. Havemann (2009), S. 7
[25] Näheres zu den wesentlichen Ergebnissen der Bibliometrie siehe auch Bericht Nr. 7 aus der ITOP-Schriftenreihe:“ Big Data im Kontext von Industrie 4.0“ von Burmeister et al. (2016).

Für die Ableitung der Szenarien gibt es eine Vielzahl an Vorgehensweisen. Für den Zweck der Technologievorausschau verwenden wir[26] im vorliegenden Bericht die Vorgehensweise nach Stelzer et al. (2015). Dort erfolgt die Technologievorausschau anhand von acht Schritten.[27]

1. Systemische Beschreibung des Analyseobjekts
2. Identifizierung und Strukturierung von Einflussbereichen, Einflussfaktoren und Deskriptoren und deren Vernetzung
3. Ableiten von Projektionen und Bestimmung der Anzahl an Szenarien
4. Ableiten von Rohszenarien durch die Bildung konsistenter Projektionsbündel
5. Beschreibung der Szenarien
6. Identifizierung von Störereignissen und Bestimmung deren Einflusses auf die Szenarien
7. Identifizierung emergenter Technologien und Bestimmung robuster Technologien, die über alle Szenarien Bestand haben
8. Ableitung von Handlungsempfehlungen.

Wichtig ist, dass an die Szenariobildung (Schritt 5) bzw. die Störereignisanalyse die Identifizierung emergenter bzw. robuster Technologien anschließt. Außerdem sollen die Erkenntnisse aus der Technologievorausschau für das strategische Management aufbereitet werden.

Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Frage, wie sich Biomaterialien in der Zukunft entwickeln und welche emergenten Technologien in diesem Themenbereich aufkommen. Die Arbeit gliedert sich somit in drei Teile: Im folgenden Kapitel wird das Forschungsthema der Materialwissenschaften und der Biomaterialien vorgestellt, die Begriffe werden dort definiert, abgegrenzt und eingeordnet. Der zweite Teil der Arbeit besteht aus der bibliometrischen Analyse des Themengebietes. Dabei werden erst deskriptive Analysen vorgestellt und die aktuellen Hotspots der Forschung in diesem Thema identifiziert und vorgestellt. Daran knüpft die Analyse der verschiedenen Netzwerke an, zu denen die Autoren- und Organisationsnetzwerke zählen. Im Anschluss werden die Wissensbasen sowie Forschungsfronten aufgezeigt. Im dritten Teil der Arbeit werden durch eine Trendanalyse, die für den Themenbereich Biomaterialien relevanten Einflussfaktoren und Treiber identifiziert und anhand verschiedener Projektionen drei Szenarien abgeleitet. Die Szenariotechnik wird dabei mit den Ergebnissen der Bibliometrie verknüpft, um als Ergebnis relevante und robuste Technologien im Hinblick auf die nächsten 20 Jahre für den Themenbereich ableiten zu können. Das Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe dieser Schritte die Bedeutung der Biomaterialien im Bereich der Materialwissenschaften für die Zukunft abzuleiten.

[26] Die Szenariotechnik wurde im Workshop-Format durchgeführt. Beteiligte Personen waren die Autoren dieses Berichts.

[27] Vgl. für die Methodenkombination aus Bibliometrie und Szenariotechnik Stelzer et al. (2015)

4 Bibliometrische Analyse zu Distributed Manufacturing

Ziel der nachfolgend dargestellten bibliometrischen Analyse ist es, emergente Technologien im Bereich des Themenbereiches *Distributed Manufacturing* zu erkennen. Mittels der Analyse von wissenschaftlichen Veröffentlichungen in diesem Gebiet sollen Aussagen über die weltweiten Forschungskooperationen von Wissenschaftlern und Organisationen sowie über den inhaltlichen Fokus der Veröffentlichungen getroffen werden können. Die Ergebnisse zeigen u. a. zukünftige Forschungsschwerpunkte im Distributed Manufacturing auf. Ein weiteres Ziel der Bibliometrie ist somit auch die die Ermittlung und Bewertung von Wissenschaftsbereichen. Erreicht werden die Ziele mittels einer Analyse von wissenschaftlichen Literaturbeständen unter Einsatz der Mapping-Software BibTechMon™. Als Datengrundlage enthält die Software wissenschaftliche Artikel aus der Literaturdatenbank Web of Science aus denen Themen, Autoren, Organisationen etc. extrahiert und anschließend automatisch beschlagwortet werden. Zur Darstellung der Beziehung der Artikel werden über die Software Netzwerke gerechnet. Innerhalb dieser Netzwerke lassen sich einzelne Forschungsgemeinschaften, Themencluster oder Forschungsfronten, welche neue Themen beinhalten, identifizieren. Diese Netzwerke geben Auskunft darüber, welche Themen aktuell relevant sind und schaffen einen Überblick zum aktuellen Forschungsstand sowie zur zukünftigen Entwicklung der Thematik. Abbildung 2 zeigt die Vorgehensweise der Bibliometrie in der Übersicht.

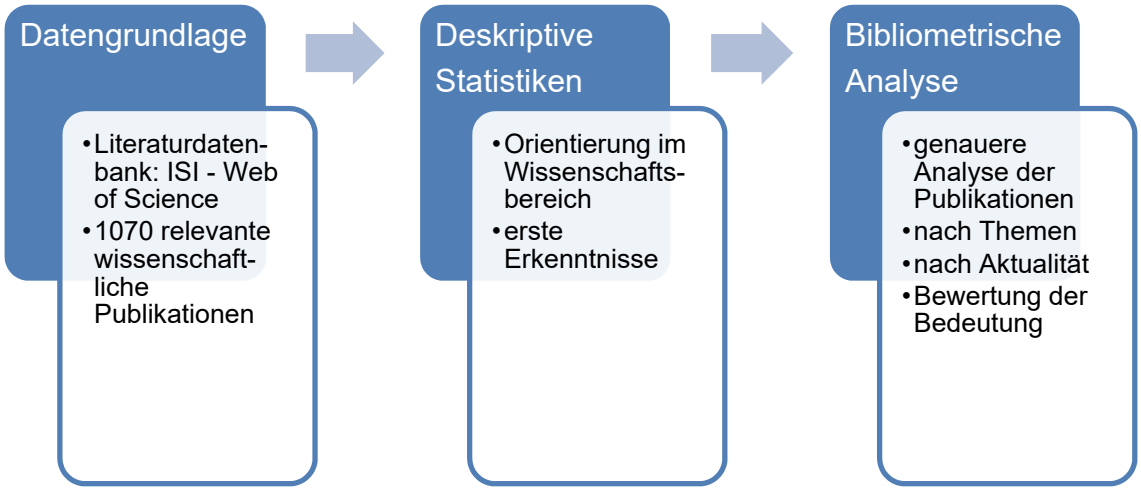


Abbildung 2: Vorgehensweise bibliometrische Analyse (eigene Darstellung)

Im ersten Schritt werden die Literaturdaten für das Themengebiet *Distributed Manufacturing* von der Online-Zitationsdatenbank Web of Science heruntergeladen. Unter der Verwendung des Konnektors OR, um themenfremde Artikel in der Datenbasis zu vermeiden, wurden mit den Suchbegriffen „Distributed Manufacturing“, „distributed production“, „local manufacturing“, „decentralized manufacturing“ und „dezentralized production“ 1070 wissenschaftliche Artikel in der Web of Science Core Collection vom 23. März 2016 gefunden. Im zweiten Schritt werden die Daten deskriptiv statistisch ausgewertet. Daraus können erste Erkenntnisse zum entsprechenden Wissenschaftsbereich gezogen werden. Im letzten Schritt kann nun aufgrund der getroffenen Vorbereitungen die bibliometrische Analyse durchgeführt werden. Es folgt eine genaue Analyse der Publikationen nach Themen, Autoren und Organisationen.

4.1 Einbettung des Technologiefeldes in die Dimensionen der Wissenschaft

Zusammenfassung

Wichtige Autoren im Themenfeld *Distributed Manufacturing* sind Dr. Weiming Shen und Lihui Wang. Dr. Weiming Shen ist Senior Research Scientist am National Research Council Canada und forscht zum Bereich intelligente Agenten-Technologien und deren Anwendungen. Lihui Wang, Professor am KTH Royal Institute of Technology publiziert zum Thema Distributed process planning sowie Cloud manufacturing.

Seit 1991 ist ein kontinuierlicher Anstieg der Publikationen zum Thema *Distributed Manufacturing* zu verzeichnen. Allerdings ist der zeitliche Verlauf der Publikationen von Schwankungen gekennzeichnet, die vermuten lassen, dass neue relevante Technologien der Grund für das erneute Interesse an der Forschung waren und dem damit verbundenen erneuten Anstieg der Publikationen.

Führende Nationen sind die USA, China, Deutschland und Japan.

Das Thema findet nicht nur auf den bekannten Industriemessen Anklang. Auch auf der „Greenbuild International Conference 2015“ wurde Distributed Manufacturing behandelt.

Das Journal, in dem Distributed Manufacturing am häufigsten thematisiert wird, ist das „International Journal of Production Research“. Das IJPR hat einen Impact Faktor von 1,477 und gehört zu den Top 30 der einflussreichsten Zeitschriften im Bereich *Science* und *Operation Research*.

In diesem Kapitel wird auf die Bedeutung der wissenschaftlichen Artikel eingegangen. Wie bereits in Kapitel 3 im Abschnitt bibliometrische Analyse beschrieben, besteht der Datensatz zu dem Thema *Distributed Manufacturing* aus 1070 Artikeln. Diese bilden die Datengrundlage für die anschließende bibliometrische Analyse. Zunächst werden Hotspots identifiziert. Hotspots sind geeignet, um einen ersten groben Überblick über das Forschungsfeld zu erhalten. Ein Hotspot stellt im Kontext der Bibliometrie einen in jüngeren Jahren am häufigsten von anderen Forschern zitierten Artikel dar. Anhand von Hotspots können demnach die aktuell wichtigsten Themen ermittelt werden.

Zur weiteren Auswertung der Artikel werden deskriptive Statistiken erstellt. Ziel hierbei ist es die Autoren und Organisationen zu ermitteln, die am meisten zu dem Forschungsthema publiziert haben. Weiterhin können Aussagen über die zeitliche Entwicklung der Publikationen getroffen werden und die Länder bestimmt werden, die besonders aktiv zu diesem Thema forschen.

Bedeutende Autoren und deren Themenschwerpunkte

Nachstehend werden Autoren und deren Forschungsthemen näher beschrieben, welchen im Bereich Distributed Manufacturing am häufigsten publizieren.

Weiming Shen[28] ist der aktivste Autor im Forschungsbereich Distributed Manufacturing. Dr. Weiming Shen ist Senior Research Scientist am National Research Council Canada am Institut Integrated

[28] 17 veröffentlichte Artikel von 1070 untersuchten Publikationen (rund 1,6%)

Manufacturing Technologies. Er arbeitet als Professor an der Universität Waterloo und als Forschungsprofessor an der Universität of Western Ontario. Seit bereits 20 Jahren forscht und publiziert er im Bereich intelligente Agenten-Technologien und deren Anwendungen. Weiming Shen ist ein international angesehener Forscher und hat zahlreiche Konferenzen und Workshops u. a. in Österreich, Schweiz, Niederlande, Frankreich, Italien, Kanada, USA, Brasilien, China, Taiwan und Korea abgehalten.[29] Er ist Mitglied in unzähligen Verbänden, Institutionen und Communities, u. a. in dem Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), der American Society of Mechanical Engineers (ASME), der Associaion for Comptung Machinery (ACM) und der Association for the Advancement of Artificial Intelligence (AAAI).[30]

Weitere wichtige Autoren sind Lihui Wang[31], Andrew YC Nee[32] und Paulo Leitao[33]. Lihui Wang ist Professor am KTH Royal Institute of Technology in Stockholm. Seine Forschungsschwerpunkte liegen u. a. auf den Bereichen Distributed process planning sowie Cloud manufacturing. Andrew YC Nee ist Professor of Manufacturing Engineering an der University of Singapore. Er forscht u. a. an Themen wie computer-aided design und sustainable product design and manufacturing. Seine Forschungsergebnisse veröffentlichte Professor Nee in unterschiedlichen Büchern, Buchkapiteln aber vor allem in Namenhaften Journals. Professor Paulo Leitao ist am Polytechnic Institute of Bragança in Portugal tätig. Seine Schwerpunktbereiche in der Forschung sind u. a. intelligent and reconfigurable systems, Multi-agent-systems, holonic-systems und factory automation.

Zeitliche Entwicklung des Themas *Distributed Manufacturing*

Die Entwicklung des Forschungsgebietes Distributed Manufacturing lässt sich anhand des zeitlichen Verlaufs der Publikationen charakterisieren. Je nachdem, wie viele Publikationen in einem Jahr veröffentlicht wurden, lässt sich folglich die Aktualität und Relevanz des Themas ableiten. Der erste Artikel wurde 1964 veröffentlicht. Im weiteren Verlauf werden zur zeitlichen Einbettung des Technologiefeldes Distributed Manufacturing nur die Publikationen ab dem Jahr 1991 berücksichtigt, da ab diesem Zeitpunkt ein kontinuierlicher Aufwärtstrend in der Anzahl der Veröffentlichungen zu verzeichnen ist. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt den zeitlichen Verlauf der 1049 Publikationen zwischen 1991 und 2015. Das Jahr 2016 wird nicht betrachtet, da das Jahr zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht abgeschlossen war.

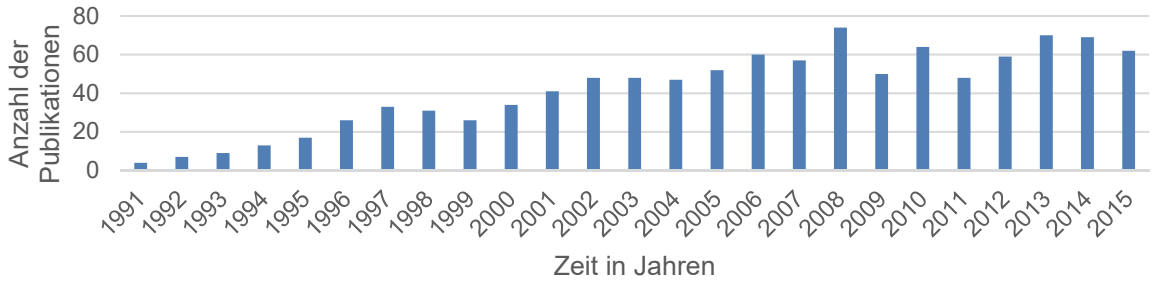


Abbildung 3: Zeitliche Entwicklung der Publikationen im Distributed Manufacturing[34]

[29] Vgl. Michigan State University (2004)
[30] Vgl. NRCC (o.J.)
[31] 16 veröffentlichte Artikel von 1070 untersuchten Publikationen (rund 1,5%)
[32] 10 veröffentlichte Artikel von 1070 untersuchten Publikationen (rund 0,93%)
[33] 15 veröffentlichte Artikel von 1070 untersuchten Publikationen (1,4%)
[34] Eigene Darstellung, Daten von Web of Science (23.03.2016)

Anhand Abbildung 3 wird deutlich, dass die Anzahl der Publikationen pro Jahr im Forschungsbereich Distributed Manufacturing schwanken mit einem kontinuierlichen Aufwärtstrend.

Um eine genauere zeitliche Einordnung des Themas *Distributed Manufacturing* vornehmen zu können, eignet sich die Betrachtung des Gartner Hype Cycles:

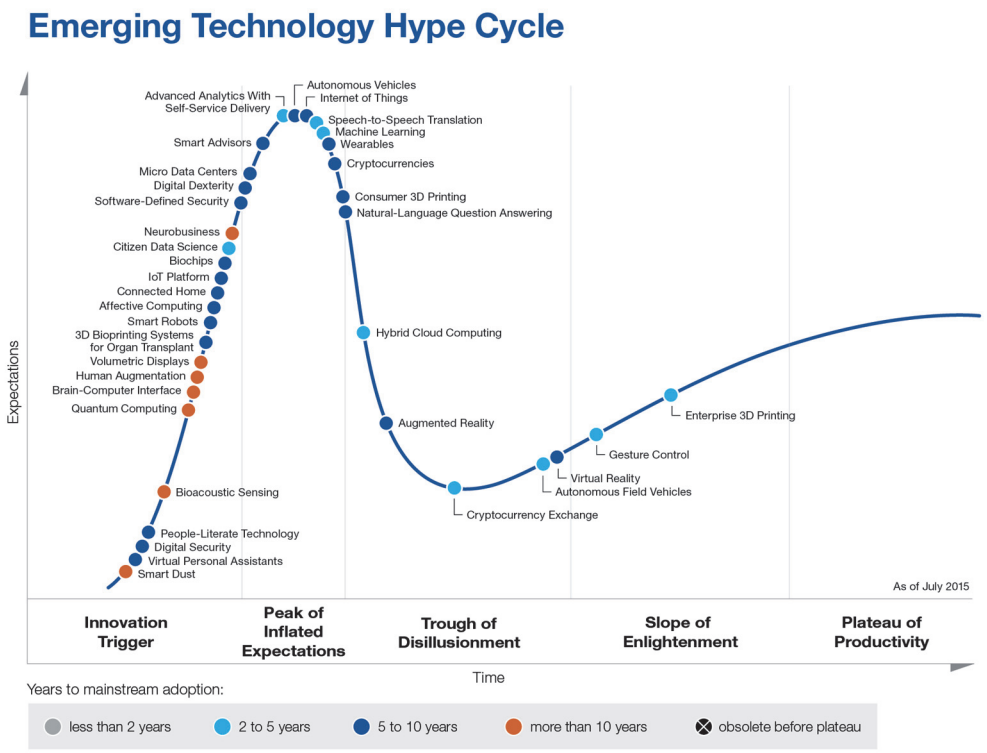


Abbildung 4: Gartner Hype Cycle Emerging Technologies 2015[35]

Die fünf Phasen des Gartner Hype Cycles sind:

Technologischer Auslöser: In dieser Phase tritt eine neue Technologie auf den Markt. Durch großes Medieninteresse wächst der Bekanntheitsgrad signifikant. In dieser Phase steht die Technologie noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung und der Markterfolg/die Wirtschaftlichkeit der Technologie ist zum jetzigen Zeitpunkt noch ungewiss.[36]

Gipfel der überzogenen Erwartungen: In dieser Phase existieren die ersten Prototypen, wodurch die Technologie das Maximum der Bekanntheit erreicht. Allerdings kämpfen die Technologien oftmals noch mit „Kinderkrankheiten“. Einige wenige Unternehmen springen auf den Pfad auf und steigen in die Forschung ein.[37]

Tal der Enttäuschung: Das öffentliche Interesse schwindet durch die Nichterfüllung der überhöhten Erwartungen. Anschließende Forschungs-tätigkeiten werden nur vorgenommen, wenn eine Weiter-entwicklung zur Zufriedenheit der Early Adopters absehbar ist.[38]

[35] Vgl. Gartner, Inc. (2015), Enabler Technologien des Distributed Manufacturing 3D-Druck, Internet of Things und Cloud computing nicht mehr auf dem Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2016 abgetragen
[36] Vgl. Gartner, Inc. (2016)
[37] Vgl. Gartner, Inc. (2016)
[38] Vgl. Gartner, Inc. (2016)

Pfad der Erleuchtung: In dieser Phase wird die Technologie zunehmend verbessert und weitere Generationen produziert. Immer weitere Vorteile und mögliche Einsatzbereiche kristallisieren sich heraus. Konservative Unternehmen halten jedoch weiterhin Abstand von der Technologie.[39]

Plateau der Produktivität: Es zeichnen sich erste Markterfolge ab. Eine breite Masse wird durch die Technologie angesprochen und findet hier zunehmend Anwendung.[40]

Die Betrachtung von Gartner Hype Cycles ist für Unternehmen sinnvoll, um die aktuelle und zukünftige Entwicklung von vornehmlich IT-Technologien zu beobachten. Durch die Arbeit mit den Gartner Hype Cycles über Jahre hinweg kann ein Unternehmen die Entwicklung relevanter Technologie für seine Branche verfolgen, erkennen in welchem Reifestadium sich diese befinden, um dann entsprechend seiner Risikobereitschaft reagieren zu können.[41] Die Risikobereitschaft eines Unternehmens spiegelt sich in der Strategie wider. So werden konservative Unternehmen auf den Pfad neuer Technologien erst aufspringen, wenn diese im Plateau der Produktivität angelangt ist, wohin gegen risikofreudige Unternehmen, welche sich als Technologieführer verstehen, weitaus früher in die Forschung einsteigen werden.

Distributed Manufacturing ist auf dem Gartner Hype Cycle nicht abgetragen, jedoch lassen sich relevante Enabler-Technologien wie der 3D-Druck, Cloud Computing sowie Internet der Dinge wiederfinden. Eine Enabler-Technologie beschreibt eine innovative Technologie, die durch ihre Anwendung eine fundamentale Veränderung sowie eine Verbesserung des Ausgangszustandes mit sich bringt. Durch den Einsatz von Enabler-Technologien werden somit völlig neue Möglichkeiten bzw. Wege geschaffen, konkrete Ziele zu erreichen. Durch die Enabler-Technologien 3D-Druck, Cloud Computing und Internet der Dinge erschlossen sich völlig neue Möglichkeiten und Anwendungsfelder für das Distributed Manufacturing.[42]

Nachfolgend werden die drei genannten Enabler-Technologien des Distributed Manufacturing vorgestellt.

3D-Druck: Der 3D-Druck beschreibt bestimmte Technologien, die dreidimensionale Objekte auf der Grundlage von computergestützten Vorlagen (CAD) herstellen können. Die Objekte werden dabei durch den Einsatz von unterschiedlichen Materialien schichtweise aufgebaut. Aufgrund der immer kostengünstigeren Beschaffungsmöglichkeiten von 3D-Druckern ist es selbst für den Privatverbraucher möglich, ein eigenes Modell zu besitzen, wodurch sich die Produktion von Konsumgegenständen erheblich dezentralisiert. Für die produzierenden Unternehmen ergeben sich somit erhebliche Veränderungen im Wertschöpfungsprozess sowie völlig neue Produktionsstrukturen.[43] Der 3D-Druck ist auf dem Gartner Hype Cycle in der vorletzten Phase „Pfad der Erleuchtung“ abgetragen. Den endgültigen Durchbruch wird die 3D-Druckertechnologie laut Gartner in zwei bis fünf Jahren erleben. Bereits heute hat der 3D-Druck breitgefächerte Akzeptanz bei Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette. Laut einer Marktforschungsstudie von Gartner aus dem Jahr 2016 mit dem Namen „What 3D Printing Means for Your Supply Chain?“[44] setzten bereits von 248 befragten

[39] Vgl. Gartner, Inc. (2016)
[40] Vgl. Gartner, Inc. (2016)
[41] Vgl. Minov (2015)
[42] Vgl. Brooks (2001), S. 1 ff.
[43] Vgl. Petschow et al. (2014), S. 22 ff.
[44] Vgl. Gartner, Inc. (2016)

Unternehmen 26% 3D-Druck ein. Weitere 39% der Befragten planen eine Eingliederung des 3D-Drucks in die Fertigungsprozesse in den nächsten zwei Jahren, 25% sehen dafür einen Zeitraum von bis zu fünf Jahren vor. Nur 10% der Befragten Unternehmen planen keinen Einstieg in den 3D-Druck.[45] Weiterhin wurde ebenfalls vom Beratungsunternehmen Gartner der 3D-Druck zum Techniktrend 2016 benannt. Begründet wird dies über die Ausdehnung der Anwendungsbereiche durch den Einsatz neuer Materialien. Somit kann nicht mehr nur zwischen den Materialien ABS und PLA gewählt werden, sondern es werden auch Karbon, Glas, Textilfasern und Bio-Tinte als 3D-Druck-Filament zur Verfügung stehen.[46] Aufgrund der stetigen Weiterentwicklung der 3D-Drucktechnologie und der damit verbundenen Ausbreitung der Einsatzmöglichkeiten sind auch die Prognosen für die kommenden Jahre vielversprechend. Eine Marktstudie[47] des Marktforschungsunternehmens „Research and Markets" beziffert die weltweite durchschnittliche jährliche Wachstumsrate bis 2022 mit 28,5%. Das Marktvolumen wird demnach von 4,98 Milliarden US-Dollar auf 30,19 Milliarden US-Dollar ansteigen. Die Studie berücksichtigt dabei 3D-Drucker, 3D-Druck-Materialien, 3D-Druck-Dienstleistungen und 3D-Druck-Software.[48] Der Großteil der zukünftigen Umsätze werden vor allem durch die Fertigung maßgeschneiderter, individueller Produkte erzielt werden (Mass Customization). 2015 waren die wichtigsten Einsatzgebiete Luft- und Raumfahrt, Verteidigungswesen, Industrie, Gesundheitswesen und Konsumgüterherstellung.[49]

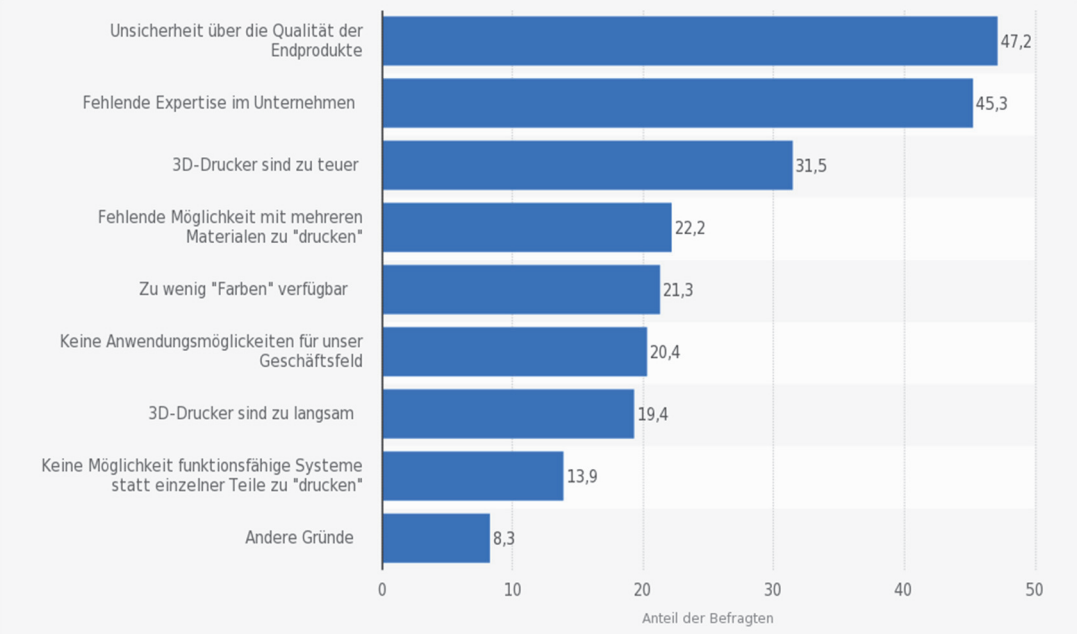


Abbildung 5: Umfrage zu Hindernissen industrieller Anwendung des 3D-Drucks in den USA (2014)[50]

Allerdings existieren derzeit noch einige Hindernisse, die die vollständige Akzeptanz in der Unternehmenswelt erschweren (vgl. Abbildung 5). Das Ergebnis einer Umfrage aus dem Jahr 2014 zu den Barrieren bei der Nutzung von 3D-Druck-Verfahren in US-amerikanischen Industrieunternehmen zeigte, dass u. a. neben den hohen Kosten auch die fehlende Expertise und die Unsicherheit über die

[45] Vgl. 3D-Grenzenlos (2016)
[46] Vgl. 3D-Grenzenlos (2016)
[47] Vgl. Research and Markets (2016)
[48] Vgl. 3D-Grenzenlos (2016)
[49] Vgl. 3D-Grenzenlos (2016)
[50] Datenquelle: Statista (2014)

Qualität der Endprodukte Gründe dafür sind, dass Unternehmen noch nicht die 3D-Drucktechnologie anwenden.[51] Trotz dieser Hindernisse wird der 3D-Druck als ein wichtiger Global Player in Bezug auf die weltweiten Fertigungsverfahren gehandelt.[52]

Internet der Dinge: Das Internet der Dinge (IdD) beschreibt ein Technologiefeld, welches ermöglicht, dass physische Objekte also Maschinen oder technische Geräte miteinander über ein Netzwerk (Internet) gemeinsam kommunizieren. Das IdD basiert dabei auf der Grundidee, dass alle Geräte jederzeit und überall miteinander verbunden sind und lässt Unternehmen und Konsumenten auf einer völlig neuen Ebene miteinander zusammenarbeiten.[53]

Das Internet der Dinge ist auf dem Gartner Hype Cycle in der Phase „Peak of Inflated Expectations" abgetragen. Aktuell gibt es hohe Erwartungen, jedoch sind die möglichen Auswirkungen und Potenziale des Technologiefeldes noch nicht vollumfänglich absehbar. Im „Global Information Technology Report" aus dem Jahr 2013 von dem Strategieberatungsunternehmen Booz & Company wurden die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen untersucht. Das Ergebnis besagt, dass ein zehn prozentiger Anstieg des Digitalisierungsgrades eines Landes ein 0.75 % höheres Bruttoinlandsprodukt pro Kopf zur Folge hat. Zudem resultiert daraus eine 1,02 % niedrigere Arbeitslosenquote.[54] Zu den großen Gewinnern der neuen Technologie zählt laut Gartner vor allem die Produktion.[55]

Gerade in den Industrieländern wird deswegen besonders viel in die Forschung und Entwicklung des Internet der Dinge investiert. Bis zum Jahr 2019 sehen die Prognosen einen stetigen Anstieg der Ausgaben für das Internet der Dinge vor. Allein im Jahr 2019 sollen 1,3 Milliarden US-Dollar investiert werden.[56] Ein weiterer Indikator für den zukünftigen Fortschritt des Technologiefeldes sind die Anzahl der weltweit vernetzten Geräte. 2015 gab es bereits 25 Milliarden vernetzte Geräte. Im Durchschnitt besitzt damit jede Person rund 3,5 vernetzte Geräte. Bis 2020 wird ein Anstieg auf 50 Milliarden vernetzte Geräte, durchschnittlich rund 6,6 Geräte pro Person, prognostiziert.[57]

Das Internet der Dinge findet jedoch nicht nur Befürworter. Es gibt mitunter auch Kontrahenten des Technologiefeldes aufgrund der nicht absehbaren Auswirkungen und Konsequenzen. Ein großes Thema hierbei spielt der Datenschutz. Die Menge der gespeicherten Daten in der Cloud nehmen stetig zu und stellen für Hacker ein ideales Angriffsziel dar. So ist das Ausmaß eines Hackerangriffs auf eine selbst arbeitende Fabrik kaum zu beziffern.[58]

[51] Datenquelle: Statista (2014)
[52] Vgl. 3D-Grenzenlos (2016)
[53] Koucheryavy et al. (2013), S. 1
[54] Vgl. Siemens (2014)
[55] Vgl. Siemens (2014)
[56] Vgl. Statista (2016)
[57] Vgl. Statista (2015)
[58] Vgl. Computerwoche (2015)

Cloud-Computing: Beim Cloud-Computing befindet sich die gesamte IT-Infrastruktur auf unabhängigen Servern, auf die über einen Internetzugang zugegriffen werden kann. Somit ist die IT-Infrastruktur nicht mehr lokal ortsgebunden, sondern befindet sich in einer „Cloud". Informationen stehen somit jederzeit und weltweit zur Verfügung und können sowohl von Mensch als auch von Maschinen in Datenformat abgerufen werden.[59] Der Abruf dieser Daten aus der Cloud und die daraus resultierende Herstellung eines Produktes wird dabei als Cloud-based-Manufacturing bezeichnet.[60] Das Cloud-Computing wird von den Analysten Gartners im Tal der Enttäuschung gesehen. Die hohen Erwartungen konnten zunächst nicht erfüllt werden. Die Überwindung des Hypes ist Voraussetzung dafür, dass neue Technologien weiterentwickelt werden, um dann produktiv eingesetzt werden zu können. Für die Abflachung des Interesses an der Cloud-Technologie sind vor allem die derzeitigen nicht überwindbaren Lücken in der Datensicherheit.[61] Generell kann zwischen zwei Formen der Cloud Anwendungen unterschieden werden. So gibt es Public Clouds und Private Clouds. Ersteres bezeichnet Clouds, die von externen Anbietern betrieben werden und von vielen Nutzern in Anspruch genutzt werden. Die zweite Variante stellen sogenannte In-house Lösungen dar, d. h. das Unternehmen ist alleiniger Nutzer der Cloud. Derzeit werden zunehmend auch Hybrid-Cloud Formen angeboten, wobei ein Unternehmen eine private Cloud nutzt, allerdings als Backup-Möglichkeit oder um Lastspitzen abzufangen auf eine öffentliche Cloud zurückgreift.[62]

Aus Datensicherheitsgründen ziehen es Unternehmen vor Private Clouds für das Abspeichern von Daten zu verwenden. Diese gehen aber oft mit hohen Kosten und Aufwand einher. So müssen genügend IT-Ressourcen für die Wartung und Pflege des Rechenzentrums im Unternehmen zur Verfügung stehen.[63] Ein weiterer Punkt für das Scheitern in der Anwendung ist das Fehlen der notwendigen Bandbreiten, die nötige Infrastruktur fehlt demzufolge.[64] Laut Gartner soll die Cloud-Technologie aber in zwei bis fünf Jahren marktreif sein.

Das Distributed Manufacturing kann zeitlich in die Phase „Slope of Enlightenment" eingeordnet werden. Die Grundsteine für das Distributed Manufacturing sind mit den Enabler-Technologien gelegt, auch wenn eine Weiterentwicklung hinsichtlich der Implementierung und Umsetzung noch von Nöten ist. Distributed Manufacturing wird nach dem Schweizer „World Economic Forum" das Plateau der Produktivität in voraussichtlich 2020 erreichen.[65]

Publikationshäufigkeit nach Ländern

Die publizierten Artikel aus der Web of Science Core Collection zum Forschungsgebiet Distributed Manufacturing lassen sich auch nach Ländern kategorisieren. Die aktivsten Player konnten mittels der deskriptiven Statistiken identifiziert werden. Abbildung 6 zeigt die weltweite Verteilung der Publikationen. Die jeweilige Kreisgröße spiegelt den prozentualen Anteil *der Länder an den Gesamtpublikationen wider. Forschung zum Thema Distributed* Manufacturing wird auf allen Kontinenten der Erde betrieben. Die USA sind mit Abstand am aktivsten an der Forschung beteiligt mit einem Anteil von 19,91% (213 Artikel) von insgesamt 1070 Artikeln. Auf Platz zwei und drei folgen

[59] Vgl. Helo (2014) S. 648
[60] Vgl Wu (2014) S. 94 - 99
[61] Vgl. Fraunhofer-Allianz Cloud Computing (o.J.)
[62] Vgl. Scheibler (o.J.)
[63] Vgl. Fraunhofer-Allianz Cloud Computing (o.J.)
[64] Vgl. Hagenau (2015)
[65] Vgl. Meyerson (2015)

China mit 13,1 % (140 Artikel) und Deutschland mit 9,91% (106 Artikel). Auf Platz vier der Rangliste, mit immerhin noch rund 6,4 % (68 Artikel) steht Japan.

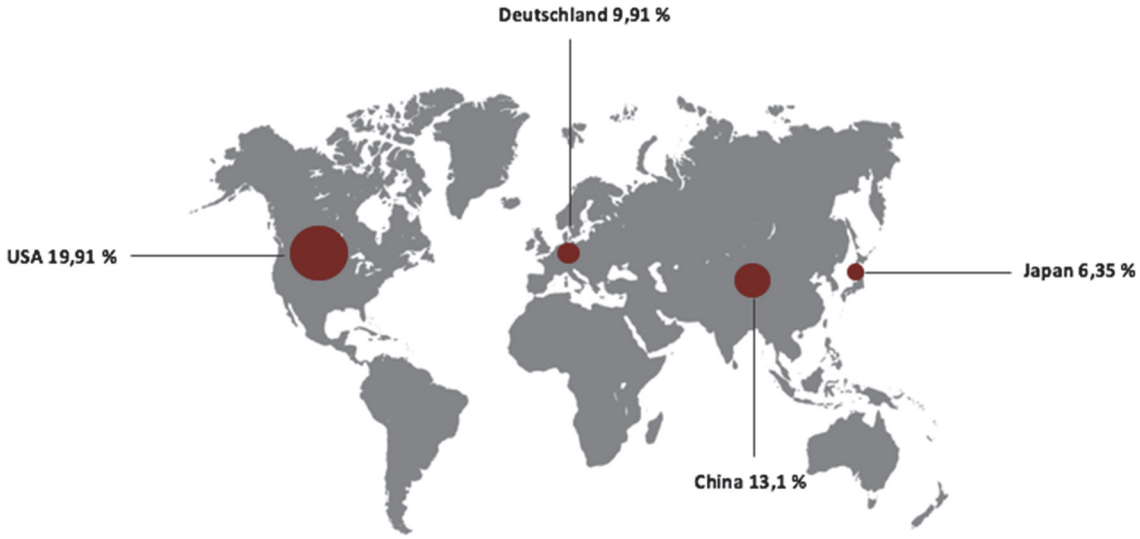


Abbildung 6: Publikationsverteilung nach Ländern[66]

Die vier größten Industrienationen ausgehend vom Bruttoinlandsprodukt 2014 sind die USA, China, Japan und Deutschland (vgl. Abbildung 7). Demnach ist es auch nachvollziehbar, dass diese Nationen in dem Bereich Distributed Manufacturing die aktivsten Player sind.[67]

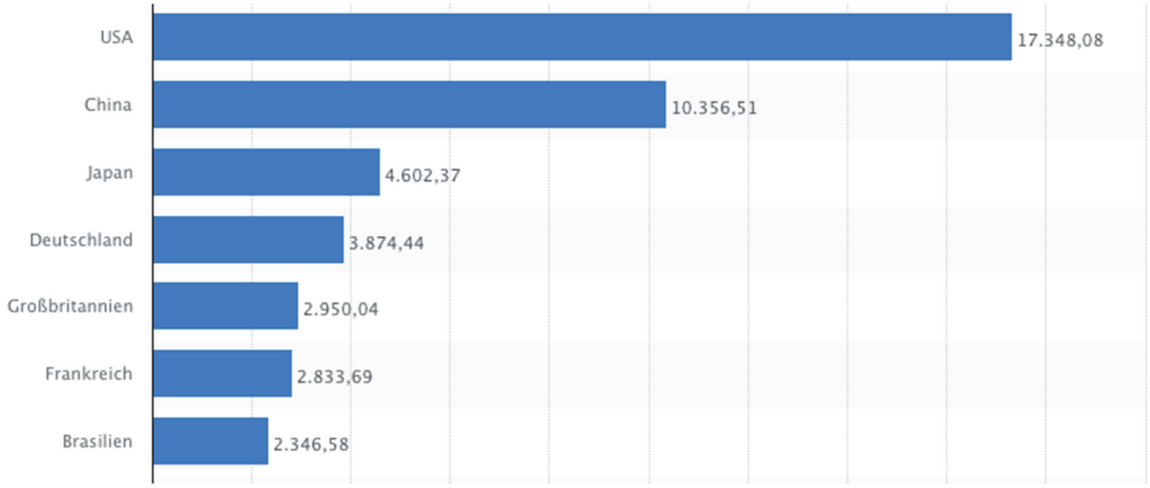


Abbildung 7: Ranking der Industrienationen nach Bruttoinlandsprodukt[68]

Weiterhin ist zu sagen, dass diese Länder auch zu denen gehören, die am meisten in die Forschung und Entwicklung investieren. 2013 waren die USA mit einem Anteil von 28,1% am weltweiten F&E Budget beteiligt und damit Spitzenreiter. Es folgen China mit 19,6%, Japan mit 9,6% und Deutschland mit 5,7%. Die anderen 37 % verteilen sich auf die restlichen Länder der Welt.[69]

[66] Eigene Darstellung in Anlehnung an Freepik.com, Daten von Web of Science (23.03.2016)
[67] Datenquelle: Statista (2016)
[68] Datenquelle: Statista (2016)
[69] Vgl. UNESCO (2015)

Aus der Analyse der Publikationen nach Ländern lassen sich Forschungsschwerpunkte ableiten. Die USA hat ihren Schwerpunkt im Bereich 3D-Druck. Dies hat mehrere Gründe. Zum einen wurde in den späten 1930ern der Grundstein für die 3D-Drucktechnologie mit der Gründung des Unternehmens Sciaky gelegt und zum anderen herrschen in den USA für den 3D-Druck bessere Rahmenbedingungen als in bspw. in Deutschland. So sind die Amerikaner generell gegenüber neuen Technologien aufgeschlossener und weiterhin findet der 3D-Druck auch große Unterstützung in der Politik in Bezug auf Weiterentwicklung. 3D-Druck ist in den USA bereits weit verbreitet und findet Anwendung sowohl im privaten als auch im industriellen Bereich.[70] 2014 waren die Unternehmen Stratasys und 3D Systems, die Unternehmen mit dem höchsten Umsatz weltweit im Bereich 3D-Druck.[71]

Publikationskanäle im Forschungsgebiet Distributed Manufacturing

Im Forschungsgebiet Distributed Manufacturing werden, wenig überraschend, neue Erkenntnisse und Fortschritte vor allem in Form von Artikeln oder Proceeding Papers veröffentlicht. Von 1070 Publikationen sind allein 528 Artikel und 480 Proceeding Papers vertreten. Weit abgeschlagen folgen Book Chapter (22), Reviews (21) und Editorial Material (13). Den geringsten Anteil stellen die drei veröffentlichten Bücher und drei Meeting Abstracts dar (vgl. Abbildung 8).

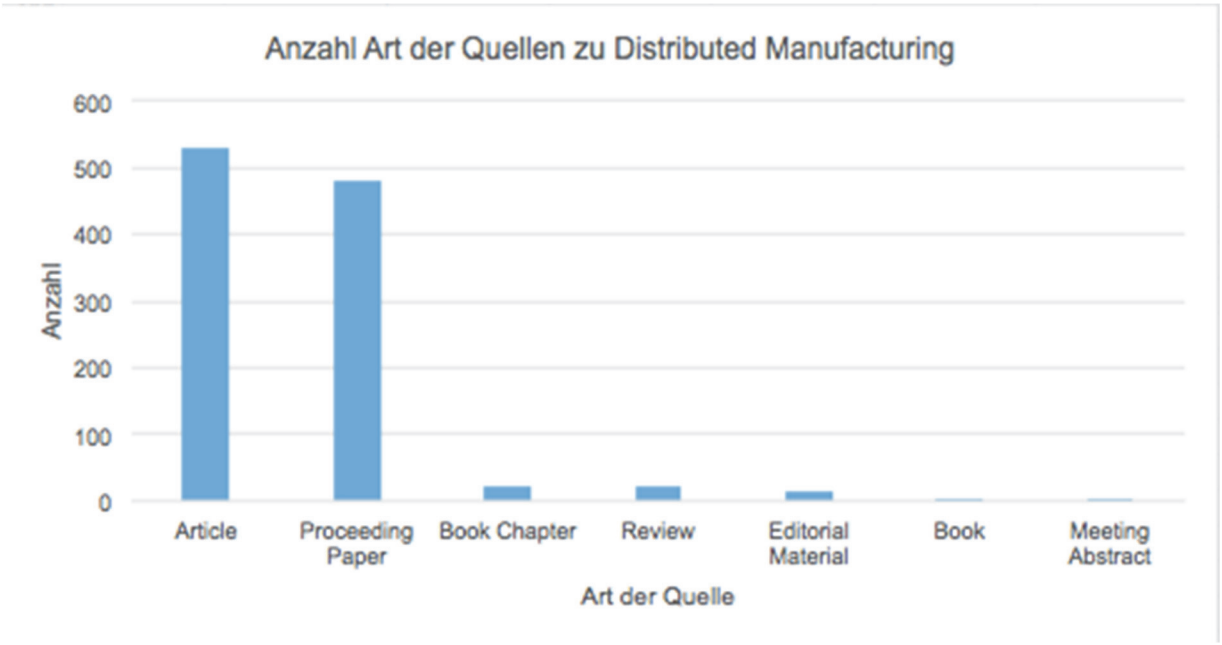


Abbildung 8: Anzahl nach Art der Quellen zu Distributed Manufacturing[72]

Abbildung 9 zeigt die Top Ten der meist publizierenden Journale zum Thema *Distributed Manufacturing*. Die meisten Artikel wurden in der Zeitschrift „International Journal of Production Research" (IJPR) veröffentlicht. 48 Artikel wurden zum Thema *Distributed Manufacturing* seit dem Jahr 1982 von dem Journal publiziert. Das IJPR ist eine etablierte und erfolgreiche Zeitschrift mit dem Schwerpunkt auf Fertigung und Produktion. Seit 1961 erscheint die Zeitschrift monatlich und widmet sich u. a. den Themen Fertigungstechniken, Fertigungsstrategien, technische Innovationen sowie

[70] Vgl. 3D-Grenzenlos (2015)
[71] Datenquelle: Statista (2016)
[72] Eigene Darstellung, Daten von Web of Science (23.03.2016)

komplexere und disziplinarübergreifende Probleme bei der Analyse und Kontrolle der Produktion.[73] Das „International Journal of Production Research“ hat einen relativ geringen Impactfactor von 1,477[74]. Das einflussreichste Journal im Bereich *Science* und *Operation Research, das* „Journal of Operations Management“, hat im Vergleich einen Impactfactor von 4.[75] Dennoch gehört IJPR zu den Top 30 der einflussreichsten Zeitschriften im Bereich Science und Operation Research.[76]

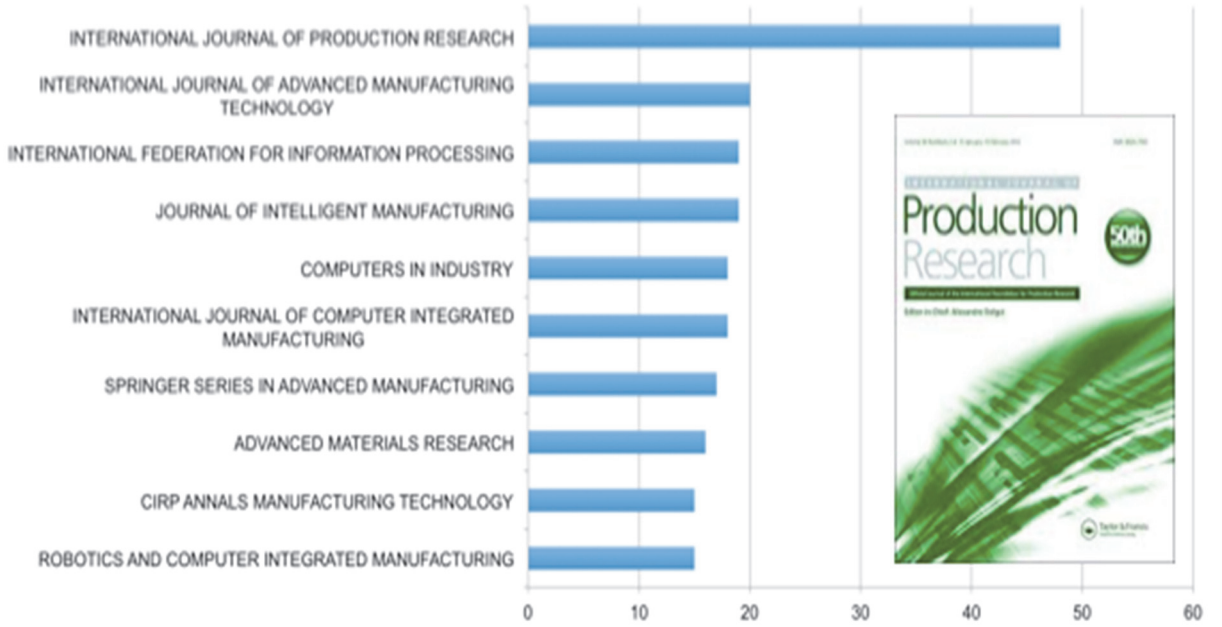


Abbildung 9: Top Ten der Journale im Distributed Manufacturing[77]

In den Jahren 2004 (6) und 2008 (5) wurden die meisten Artikel zum Forschungsgebiet Distributed Manufacturing veröffentlicht. Auffällig ist, dass es eine sehr geringe Schnittmenge mit den wichtigsten Autoren gibt. So hat Weiming Shen (siehe Kapitel 3.1. Hotspots) lediglich ein Paper 2008 mit dem Titel „Real time distributed shop floor scheduling using an agent-based service-oriented architecture“ im IJPR veröffentlicht. Autoren, die das Journal nutzen, um neueste Erkenntnisse publik zu machen sind u. a. Andrew Yeh-Ching Nee und W.Y. Zhang. Die beiden gehören mit 15 (Nee) und 13 (Zhang) Publikationen zu den meist publizierenden Autoren zum Themengebiet *Distributed Manufacturing*. Das Paper mit den meisten Zitationen aus dem IJPR zum Thema *Distributed Manufacturing* ist ein Artikel aus dem Jahr 1998 mit dem Titel „Agile manufacturing: enablers and an implementation framework“. Der Artikel wurde 512mal zitiert.[78]

Die zweitwichtigste Form an Publikationen sind die Proceeding Papers. Ein Proceeding Paper ist eine Publikation von Beiträgen zu Tagungen, Kongressen oder wissenschaftlichen Konferenzen. Die hohe Anzahl an Proceeding Papers zeigt, dass Distributed Manufacturing ein relevantes und viel thematisiertes Forschungsgebiet auf internationalen Konferenzen ist. Die wichtigsten Konferenzen in diesem Bereich werden von dem Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) abgehalten.

[73] Vgl. Taylor & Francis (o.J.)
[74] Vgl. Scijournal Top Journal (2015)
[75] Vgl. Elsevier (2015)
[76] Vgl. Scimago Journal & Country Rank (2015)
[77] Eigene Darstellung, Daten von Web of Science (23.03.2016)
[78] Vgl.Taylor & Francis (2010)

Den IEEE Konferenzen können 91 von den 480 Proceeding Papers eindeutig zugeordnet werden. Kern des 1963 gegründeten Instituts bildet ein global agierender Berufsverband von Ingenieuren aus den Bereichen Elektrotechnik und Informatik. Er ist der weltweit größte Berufsverband im technischen Sektor und mit über 430.000 Mitglieder (Stand 2014) aus über 160 Ländern. Neben der Organisation von fachspezifischen Tagungen und Konferenzen sowie der Veröffentlichung von Fachzeitschriften und Fachbeiträgen, widmet sich das IEEE auch den Normungen von Techniken, Hardware und Software. Zwei bekannte IEEE-normierte Standards sind u. a. der IEEE 802.11 Standard für Wireless LAN (WLAN) und der IEEE 802.16 Standard für Broadband Wireless Access bzw. WiMAX.[79]

Das Forschungsgebiet findet jedoch nicht nur auf reinen Industriekonferenzen/-messen Anklang. Konferenzen aus anderen Branchen thematisieren Distributed Manufacturing auch auf ihren Messen und Konferenzen. So wurde auf der Greenbuild International Conference 2015, eine Messe zum Thema ökologisches Bauen,[80] auch Distributed Manufacturing in der Session „The Maker Economy & Rise of Distributed Manufacturing“ behandelt.[81]

4.2 Netzwerkanalysen

Allgemein werden bei der Durchführung einer Netzwerkanalyse unterschiedliche Netzwerke betrachtet, die Rückschlüsse auf eine bestimmte Thematik liefern. Im Rahmen von Distributed Manufacturing werden dabei Netzwerke von Autoren und Disziplinen erstellt, die sich mit diesem Themenbereich auseinandersetzen. Des Weiteren werden relevante Kategorien im Bereich Distributed Manufacturing sowie Wissensbasen und Forschungsfronten als Netzwerke berechnet und analysiert. Datenbasis der Netzwerkanalysen bilden dabei erneut die Ergebnisse der Suchstrategien in der Web of Science Core Collection (siehe Kapitel 3 Biometrische Analyse). Ein Netzwerk definiert sich aus einer bestimmten Anzahl an Elementen (Knoten), die paarweise miteinander durch Linien verbunden werden (Kanten). Komponenten eines Netzwerkes werden auch Teilnetzwerke genannt und bestehen mindestens aus zwei Knoten. Jeder dieser Knoten ist dabei mit mindestens einem anderen Knoten verbunden. Sobald keine weiteren Verbindungen zu anderen Knoten im Netzwerk vorhanden sind, handelt es sich um ein Teilnetzwerk. Je näher Knoten beieinander sind, desto größer ist ihre gemeinsame Beziehung zueinander. So stehen bspw. Autoren, die viele gemeinsame Artikel veröffentlicht haben näher beieinander, als Autoren die keine gemeinsamen Publikationen haben. Analog lässt sich dies auch auf andere Netzwerke beziehen. Die Größe der Knoten gibt dabei an, wie viel ein einzelner Autor oder eine Organisation publiziert hat, d. h. je größer ein Knoten desto mehr haben sie veröffentlicht.

[79] Vgl. Toptarif (o.J.).
[80] Vgl. Greenbuild Expo (2015)
[81] Vgl. Greenbuild (2015).

4.2.1 Netzwerk der Autoren

Zusammenfassung

Das Autorennetzwerk weist drei bedeutende Teilnetzwerke auf. Das erste um Lihui Wang (KTH Royal Institute of Technology, Schweden) und Weiming Shen (National Research Council, Kanada) beschäftigt sich mit den Themen *Implementation Systems*, *Cloud Manufacturing* und *agentenbasierte-Systeme*. Die zweite Komponente um Andrew YC Nee publiziert zu den Bereichen *Computer Science*, *Engineering und Robotic*. Weitere Schwerpunkte sind *Control Systems* und *Operation Research*. Die dritte Komponente um Paulo Leitao thematisiert u.a. die Themen *Intelligent Systems*, *Automation* und *Control Systems*. Es lässt sich zudem sagen das wenig Kooperation untereinander stattfindet.

Das Ziel der Autorennetzwerkanalyse ist es Autorenkooperationen zu identifizieren. Eine Kooperation von Autoren zeigt auf, welche Autoren gemeinsam zu einem bestimmten Themenbereich des *Distributed Manufacturing* publizieren. Dabei werden u. a. folgende Kernfragen beantwortet:

- Welche Autoren publizieren am häufigsten zum Thema *Distributed Manufacturing*?
- Welche Autoren publizieren zu ähnlichen Themengebieten im *Distributed Manufacturing*?
- Welche Co-Autorenschaften sind im Netzwerk zu finden?
- Wie ist der allgemeine Vernetzungsgrad unter allen Autoren?

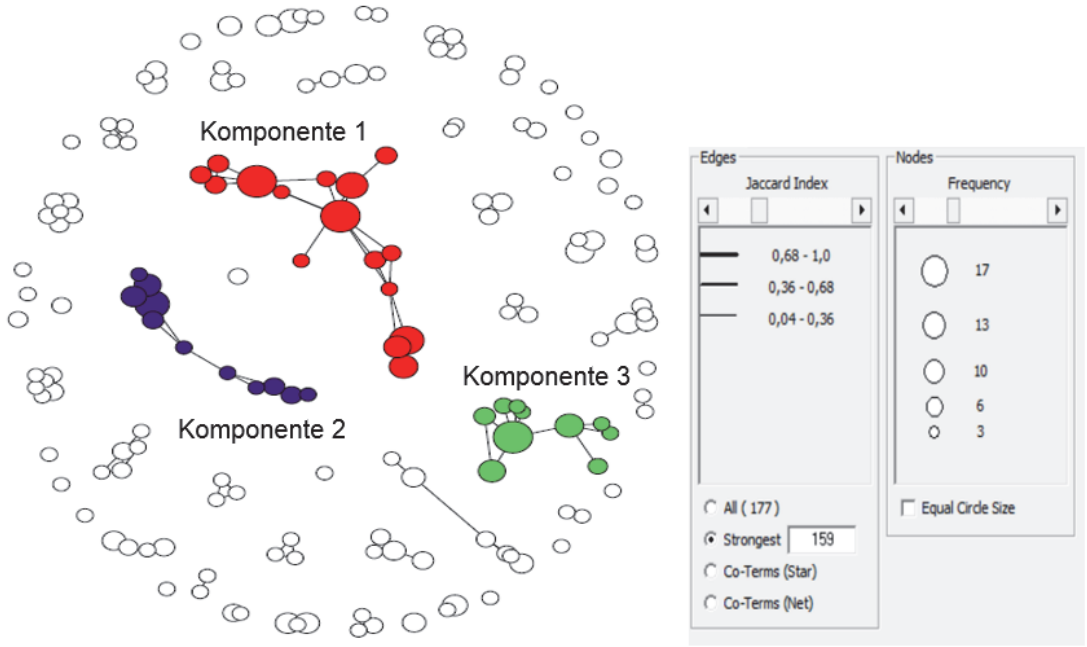


Abbildung 10: Autorennetzwerk zum Bereich Distributed Manufacturing

Insgesamt besteht das Autorennetzwerk aus 162 Autoren (Knoten), die mehr als einmal publiziert haben, und aus 177 weiteren Kooperationen (Kanten). Aus Veranschaulichungsgründen wurden jedoch ausschließlich die stärksten 159 Kanten dargestellt. Die Netzwerkdichte ist mit 0,01357 grundsätzlich eher gering.

Allgemein lassen sich im Netzwerk drei größere Teilnetzwerke erkennen, die sich im Zentrum des Gesamtnetzwerkes einordnen. Hinzu kommen viele kleinere Komponenten mit etwa zwei bis fünf Autoren, die keine weiteren Verbindungen zu anderen Teilnetzwerken aufweisen und somit isoliert sind. Am äußeren Rand des Netzwerkes, aber auch vereinzelt mittig, befinden sich viele einzelne Autoren, wodurch u. a. der geringe Vernetzungsgrad begründet werden kann.

Um nun detaillierter auf die am Anfang genannten Schlüsselfragen der Autorennetzwerkanalyse einzugehen, wird im weiteren Verlauf auf die drei größten und wichtigsten Komponenten eingegangen. Innerhalb der Komponenten werden dabei sowohl die wichtigsten Autoren und deren Beziehung zu anderen Autoren untersucht, als auch wichtige Themenbereiche im *Distributed Manufacturing* mit denen sich die Autoren befassen.

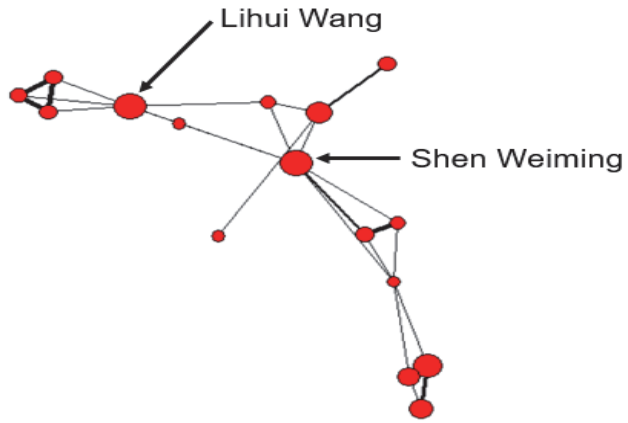


Abbildung 11: Autorenkomponente Shen Weiming und Lihui Wang

Die erste Komponente stellt mit 16 Knoten und 25 Kanten das größte Teilnetzwerk im Gesamtnetzwerk dar. Der Jaccardindex liegt dabei maximal zwischen 0,76 und 1,0. Auffallend dabei ist, dass sich vor allem um die Autoren Weiming Shen und Lihui Wang viele Knotenpunkte anordnen und diese beiden somit eine Art Schlüsselrolle in dieser Komponente darstellen. Beide Autoren haben jeweils 17 Publikationen veröffentlicht womit sie auch die beiden größten Knotenpunkte im Netzwerk sind. Im Nachfolgenden werden diese beiden Autoren deshalb genauer beschrieben:

Shen Weiming

Auf diesen Wissenschaftler wurde bereits in Kapitel 3.1 näher eingegangen. Im Rahmen der Autorennetzwerkanalyse ist neben der Anzahl der veröffentlichten Artikel eines Autors auch der Hirschindex von großer Bedeutung. Dieser sagt aus wie hoch das Ansehen und die Forschungsleistung eines Wissenschaftlers sind. Der H-Index von Shen Weiming liegt bei 43[82]. Damit gehört er zu den meist zitierten Autoren Kanadas.[83]

[82] Vgl. IEEE (2015)
[83] Vgl.Guide 2 Research (2016), H-Index bei 57, Top 30 der meist zitierten Autoren in Kanada.

Lihui Wang

Wie bereits beschrieben ist Lihui Wang ist Professor am KTH Royal Institute of Technology in Stockholm und seine Forschungsschwerpunkte liegen u. a. auf den Bereichen Distributed process planning sowie Cloud manufacturing. Professor Wang veröffentlichte seine Arbeit bisher in sieben Büchern, auf fünf Konferenzveranstaltungen und in unterschiedlichen Journals. Sein H-Index liegt bei 33. Bevor er nach Schweden an das Royal Institute of Technology kam, war er ebenfalls wie Dr. Weiming Shen am National Research Council of Canada beschäftigt. Insgesamt veröffentlichten die beiden Autoren fünf gemeinsame Publikationen, was darauf schließen lässt, dass sich beide über das National Research Council of Canada kennen.[84] Einer dieser gemeinsamen Publikationen befasst sich mit dem Thema „Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing“. Dabei handelt es sich um eine Prozess- und Zeitplanung für Intelligente und dezentrale Produktion. Diese ist für Unternehmen heutzutage essenziell, um effizient und flexibel zu bleiben und im internationalen Wettbewerb weiterhin bestehen zu können.[85]

Um nun einen etwas detaillierteren Überblick über die Forschungsbereiche der einzelnen Autoren in dieser Komponente zu bekommen, wird in der Abbildung 12 das Autorennetzwerk in Themenbereiche untergliedert und beschrieben.

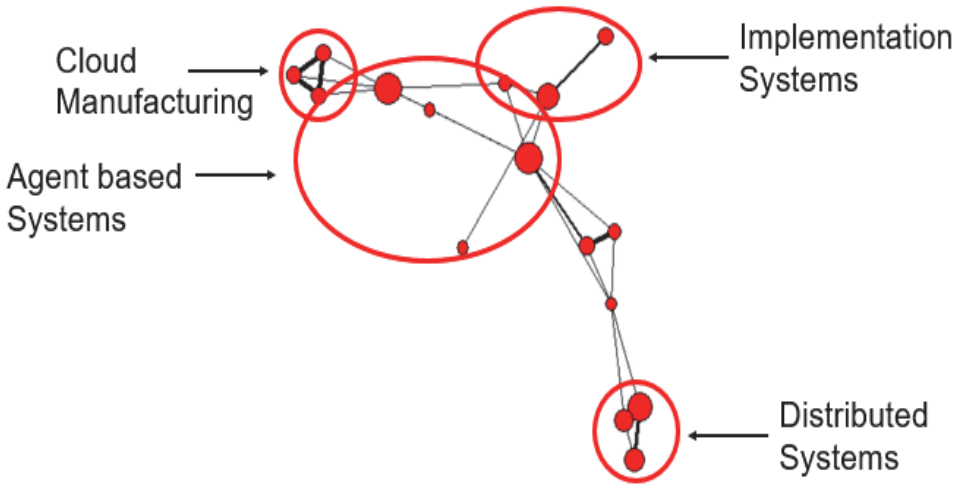


Abbildung 12: Autorenkomponente 1 nach Forschungsbereichen

Allgemein lässt sich sehr schnell erkennen, dass die markierten Themenbereiche in dieser Komponente sehr stark in die Informationstechnologie einfließen. Vor allem die in Kapitel 3.1.2 genannten Enabler-Technologien wie Internet der Dinge oder auch Cloud-Technologie finden sich hier wieder. Durch die große Vernetzung der Autoren untereinander innerhalb dieser Komponente, lassen sich keine alleinstehenden Forschungsbereiche erkennen, sondern ausschließlich bereichsübergreifende Themengebiete ausmachen. Vor allem die Autoren, die sich mit dem Themengebiet der agentenbasierten Systeme beschäftigen, weisen hier viele Überschneidungspunkte zu anderen Autoren auf. Bei einem agentenbasierten System handelt es sich um ein Computersystem, das einen Agenten darstellt. Dieser Agent soll dabei in der Lage sein, selbständig ein bestimmtes Ziel zu erfüllen.[86]

[84] Vgl. KTH (2016)
[85] Vgl. Wang und Shen (2007), S. 1f.
[86] Vgl. Shen und Norrie (1999), S. 133

Die agentenbasierten Systeme bilden somit einen wichtigen Grundstein für die reibungslose Implementierung des Distributed Manufacturing dar. Aus diesem Grund ist hier eine bereichsübergreifende Forschung unerlässlich.

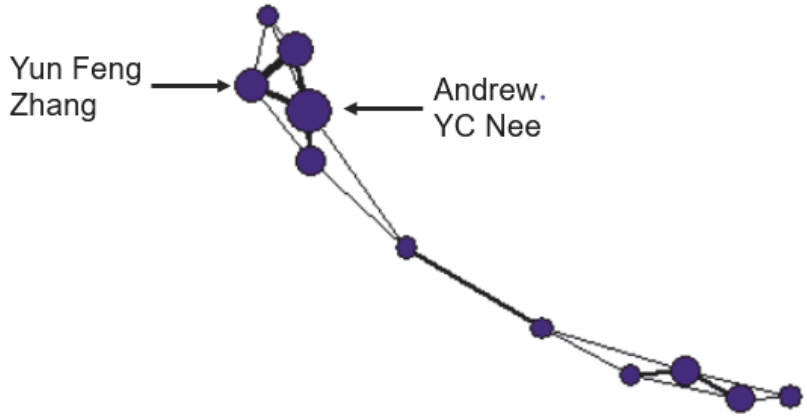


Abbildung 13: Autorenkomponente um Andrew YC Nee und Yun Feng Zhang

Die zweite Komponente (vgl. Abbildung 13) setzt sich aus insgesamt elf Autoren und 18 Verbindungen zusammen. Besonders auffallend sind die drei größten Knotenpunkte im oberen Bereich der Komponente, die miteinander vernetzt sind. Die starke Verbindung zwischen diesen 3 Autoren lässt darauf schließen, dass diese besonders häufig zusammen publiziert haben. Die beiden Autoren Andrew YC Nee und Yun Feng Zhang weisen hierbei eine besonders starke Verbindung mit einem Jaccardindex von 0,52 - 0,76 auf. Im Nachfolgenden wird deshalb auf diese beiden Autoren genauer eingegangen.

Andrew YC Nee

Andrew YC Nee bildet in dieser Komponente den größten Knoten mit 15 Publikationen. Seine Forschungsergebnisse veröffentlichte Professor Nee in unterschiedlichen Büchern, Buchkapiteln aber vor allem in Namenhaften Journals. Sein Hirschindex liegt momentan bei 52.[87] Zusammen mit seinem Arbeitskollegen Dr. Yun Feng Zhang (13 Publikationen, H-Index 15) ebenfalls von der University of Singapore publizierte er gemeinsam beispielsweise über das Thema „ Application of genetic algorithm to computer-aided process planning in Distributed Manufacturing environments" im Journal Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Die Autoren beschreiben hierbei, dass in einer dezentralen Produktion durch die Anwendung unterschiedlicher Fabriken, Maschinen und Standorte oftmals die höchste Effizienz bei der Produktion erreicht werden kann. Aufgrund verschiedener Probleme wie beispielsweise einer unterschiedlichen Ressourcenverfügbarkeit, ist es wichtig eine bestmögliche Prozessplanung zu entwickeln. Durch die Verwendung eines genetischen Algorithmus in der computer aided process planning (CAPP) wird dies gewährleistet. Computer CAPP stellt dabei die Verbindung zwischen CAD und CAM dar.[88]

[87] Vgl. NUS (2016)
[88] Vgl. Li (2005), S. 568

Um nun etwas genauer auf die einzelnen Forschungsbereiche der anderen Autoren der zweiten Komponente einzugehen, wird diese im Nachfolgenden in einzelne Themenbereiche abgebildet und beschrieben (vgl. Abbildung 14).

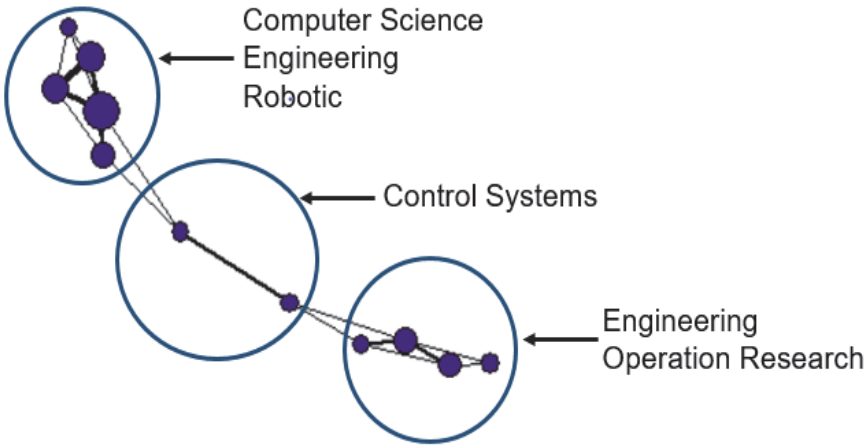


Abbildung 14: Autorenkomponente 2 nach Forschungsbereichen

Im Vergleich zur ersten Komponente fallen die Forschungsbereiche der einzelnen Autoren eher in den Engineering Bereich anstatt in die Informationstechnologie. Zwar finden sich hier auch vereinzelt Autoren, die zum Thema IT publizieren, aber der Großteil der Autoren befasst sich mit Themen wie Robotic, Control Systems, Engineering und Operation Research. So geht beispielsweise einer der Autoren im unteren Bereich des Teilnetzwerkes auf das Thema Rapid on-of-a-kind product developement ein. Im Journal of Advanced Manufacturing Technology beschreibt er hierbei, dass es für produzierende Unternehmen unerlässlich ist, ein auf die individuellen Kundenwünsche angepasstes Produkt schnell, wirtschaftlich und effizient zu entwickeln. Zur Realisierung solcher Produkte sind demnach völlig neue one-of-a-kind Systeme nötig.[89]

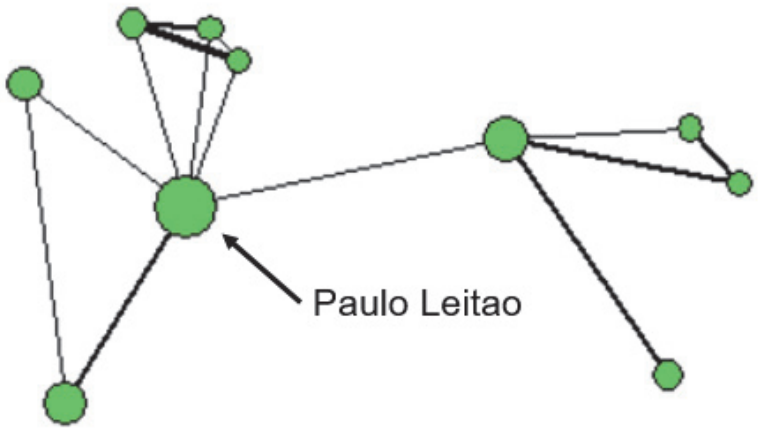


Abbildung 15: Autorenkomponente um Paulo Leitao

Das letzte betrachtete Teilnetzwerk aus Abbildung 15 besteht aus zehn Autoren und 14 Kooperationen. Die Verbindungen weisen einen Jaccardindex von maximal 0,52 – 0,76 auf. Auffallend dabei ist, dass es einen zentralen Knotenpunkt im Netzwerk gibt, der drei weitere kleinere Netzwerke miteinander

[89] Vgl. Xie und Tu (2006), S. 421

verbindet. Bei diesem Knotenpunkt handelt es sich um den größten Knoten im Teilnetzwerk, dem Autor Paulo Leitao, der mit insgesamt 17 Publikationen im Bereich Distributed Manufacturing im Folgendem beschrieben wird.

Paulo Leitao

Paulo Leitao veröffentlichte seine Forschungsarbeiten bereits in zahlreichen Buchkapiteln und Journals. Mit einem H-Index von 25 publizierte er beispielsweise zum Thema „ Implementation of a holonic control system in a flexible manufacturing system“ im Journal IEEE Systems, Man, and Cybernetics. In dem Paper geht es um die Einführung eines holonic Fertigungssystems unter Verwendung von Multi-agent-systems, die bereits in der ersten Komponente beschrieben wurden. Ein holonic manufacturing system (HMS) stellt ein agiles Herstellungssystem dar, mit dem man versucht eine Individuelle Massenfertigung mit großer Produktvielfalt zu erreichen.[90] Weitere Publikationen von Paulo Leitao befassen sich auch hauptsächlich mit dem Thema der intelligenten Fertigungssysteme u. a. im Bereich Distributed Manufacturing.

Um festzustellen, ob andere Autoren in dieser Komponente ebenfalls in den gleichen Themen forschen, wird auch die dritte Komponente des Autorennetzwerks nach Forschungsbereichen im Folgendem dargestellt und analysiert.

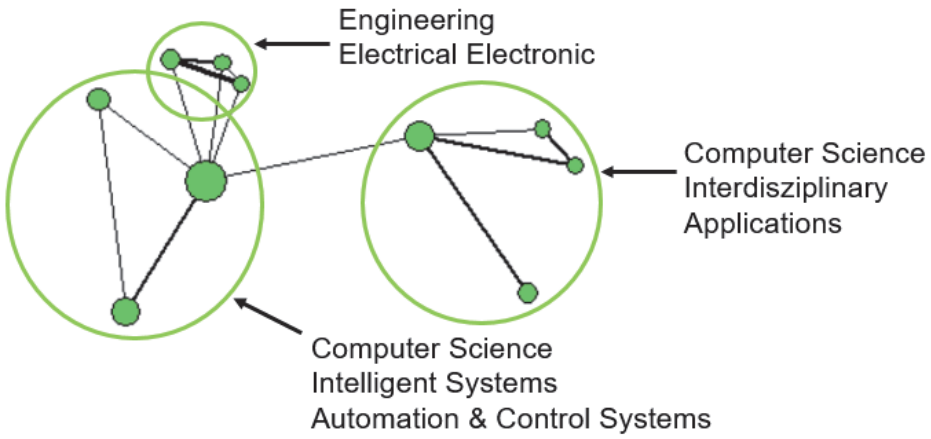


Abbildung 16: Autorenkomponente 3 nach Forschungsbereichen

Allgemein setzt sich diese Autorenkomponente (vgl. Abbildung 16) aus drei größeren Forschungsbereichen zusammen. Zwischen diesen einzelnen Forschungsgebieten innerhalb des Distributed Manufacturing gibt es dabei zahlreiche Überschneidungen, so dass auch hier keine alleinstehenden Akteure/Themenbereiche im Netzwerk erkennbar sind. Im Gegensatz zu Komponente 1 und 2 lassen sich die Forschungsbereiche in diesem Teilnetzwerk nicht eindeutig einem Bereich zuordnen, sondern stellen vielmehr eine Mischung aus den Bereichen Technik und Informationstechnologie dar.

[90] Vgl. Leitao und Restivo (2008), S. 699

4.2.2 Netzwerk der Forschungsdisziplinen

Zusammenfassung

Die wichtigsten Forschungsdisziplinen im Bereich Distributed Manufacturing lassen sich in 3 Cluster gliedern. Auffällig ist, dass die Disziplinen sich mit den Forschungsbereichen der wichtigsten Autoren gleichen. Das Cluster Computer Science beinhaltet die zwei Disziplinen *Interdisciplinary Applications* und *Artificial Intelligence*. Der Bereich Engineering mit den Disziplinen *Engineering Manufacturing* und *Engineering Industrial* ist der wichtigste. Die dritte große Komponente kann zusammengefasst werden zu dem Bereich Automation Control Systems.

Das Ziel dieser Netzwerkanalyse ist es, die unterschiedlichen Disziplinen, die das Forschungsgebiet Distributed Manufacturing beinhaltet zu analysieren und zu beschreiben. Hierzu soll zunächst ermittelt werden, welche Disziplinen besonders häufig im Distributed Manufacturing vorkommen.

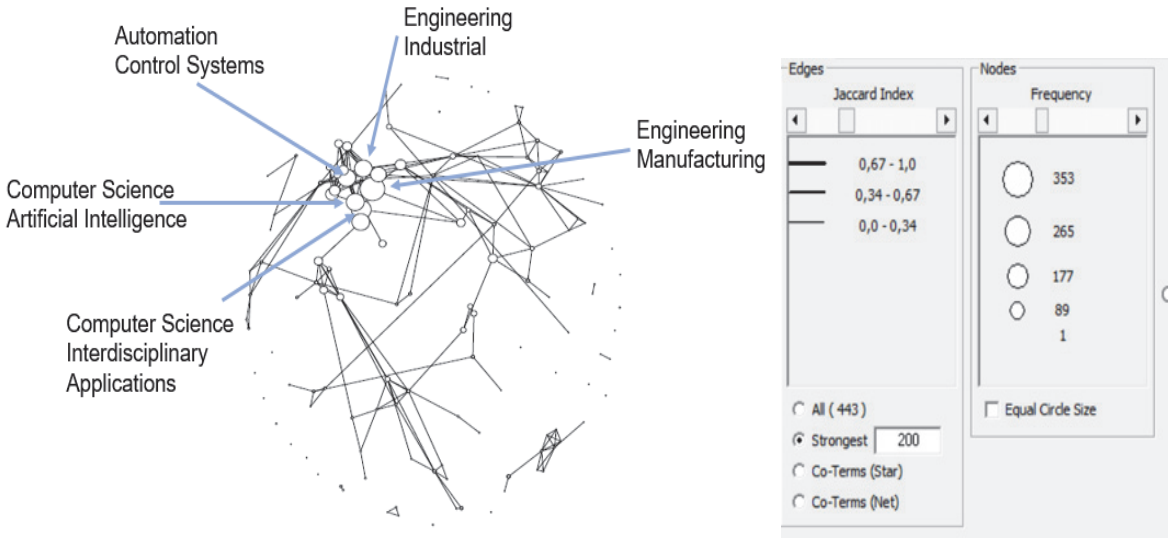


Abbildung 17: Disziplinen-Netzwerk im Bereich Distributed Manufacturing

Im Disziplinen-Netzwerk (vgl. Abbildung 17) stellt jeder Knoten eine individuelle Disziplin dar. Je größer der Knoten dabei ist, desto mehr Publikationen wurden unter der jeweiligen Disziplin veröffentlicht. Insgesamt zeigt das Netzwerk die 200 stärksten Verbindungen auf. Auffallend hierbei ist, dass sich der Großteil der Knoten in einem bestimmten Bereich im Netzwerk ansammelt (Hotspot), während im restlichen Netzwerk nur vereinzelt kleinere Knoten zu sehen sind. Mit Hilfe von BibTechMon™ und Web of Science wurden die fünf größten Disziplinen bestimmt und im Netzwerk eingezeichnet. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Anzahl der Veröffentlichungen zu den jeweiligen Disziplinen.

Nr.	Disziplin	Artikel (absolut)	Artikel (in %)
1	Engineering Manufacturing	353	32,99%
2	Engineering Industrial	228	21,31%
3	Computer Science Interdisciplinary Applications	192	17,94%
4	Computer Science Artificial Intelligence	188	17,57%
5	Automation Control Systems	183	17,1%

Tabelle 1: Dimensionen der Disziplinen

Grundsätzlich lässt sich feststellen, dass sich die beiden ersten Disziplinen in einem gemeinsamen Forschungsbereich dem Engineering wiederfinden. Mit 353 Publikationen im Engineering Manufacturing und 228 Publikationen im Engineering Industrial stellen diese Forschungsdisziplinen den mit Abstand größten Bereich dar. Im Anschluss folgen zwei weitere Disziplinen, die sich dem Forschungsbereich Computer Science zuordnen lassen. Die letzte aufgezeigte Disziplin stellt den Bereich Automation Control Systems dar. Blickt man nun zurück auf die Forschungsbereiche der Autoren in Kapitel 3.2.1, finden sich die drei vorgestellten Komponenten genau hier wieder. Komponente 1 stellte vor allem Forschungsgebiete der Informationstechnologie dar, was hier unter dem Bereich Computer Science abgedeckt wird. Komponente 2 stellte den technischen Bereich dar, was hier als Engineering aufgezeigt wird. Die letzte Komponente war eine Mischung beider Kategorien in der unter anderem auch das Thema Automation Control Systems vorhanden war.

Im nachfolgenden werden diese drei Disziplinen in unserem Netzwerk etwas genauer analysiert:

Disziplin Engineering

Die Forschungsdisziplin Engineering ist die größte im Distributed Manufacturing. Unter ihr laufen verschiedene Themenbereiche wie etwa Electrical Electronic, Mechanical Engineering, Industrial Engineering und Engineering Manufacturing zusammen. Insgesamt wurden 635 Artikel in dieser Disziplin veröffentlicht was zirka 60% der in unserer Suchstrategie veröffentlichten Artikel widerspiegelt. Vor allem die letzten beiden Bereiche haben eine starke Vernetzung zueinander.

Dr. Simon Ford von der University of Cambridge publizierte einen Artikel in der Disziplin Engineering. In seinem Beitrag „Defining the Research Agenda for 3D Printing-Enabled Re-Distributed Manufacturing“ beschreibt er dabei, dass durch neue Fertigungstechnologien wie dem 3D-Druck völlig neue Möglichkeiten entstehen Waren zu produzieren. Durch die Einführung solcher Technologien werden bisherige Strukturen und Wertschöpfungsketten gestört. Er versucht dabei die Auswirkungen, die eine solche Technologie mit sich bringt genauer zu erkunden und geht dabei explizit auf das Beispiel des 3D-Drucks ein.[91] Auf den 3D-Druck als Enabler-Technologie wurde bereits im Kapitel 3.1.2 näher eingegangen.

[91] Vgl. Ford (2015), S. 157

Disziplin Computer Science

Die Disziplin Computer Science stellt mit insgesamt 448 publizierten Artikeln und zirka 42 Prozent der Gesamtartikel nach Engineering die zweitgrößte Disziplin im Distributed Manufacturing dar. Hier finden sich unter anderem Themen wie Theory Methods, Information Systems, Artificial Intelligence, und Interdisciplinary Applications wieder. Einer dieser Artikel zum Thema „Toward a cloud-based manufacturing execution system for Distributed Manufacturing“ wurde von Professor Petri Helo von der Universität of Vaasa publiziert. In seinem Artikel werden sowohl Anforderungen als auch Herausforderungen für eine dezentrale Produktion detailliert beschrieben. Er geht dabei vertieft auf die Vor- und Nachteile von gängigen ERP-Systemen (vgl. Abbildung 18) ein, und wie diese in Verbindung mit Cloud basierten Lösungen einen neuen Ansatz im Distributed Manufacturing ermöglichen. Des Weiteren beschreibt er dabei eine Testsoftware, die entwickelt wurde diesen neuen Ansatz auszuführen.[92]

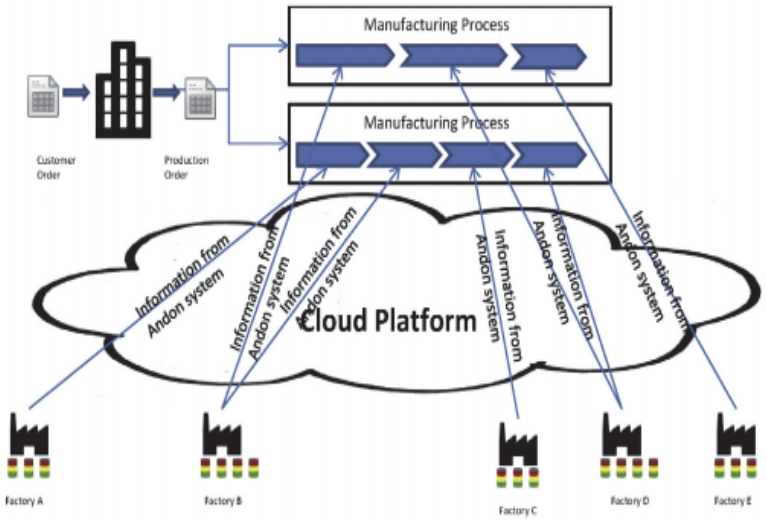


Abbildung 18: Cloud-basiertes ERP-System[93]

Disziplin Automation Control Systems

Die Forschungsdisziplin Automation Control Systems stellt mit insgesamt 183 veröffentlichten Artikeln und einem Prozentanteil von 17,1% Prozent die drittgrößte Disziplin im Netzwerk dar. Nimmt man die Prozentanteile aller Disziplinen zusammen, so erreicht man insgesamt einen Prozentsatz über 100%, da einzelne Artikel teilweise mehreren Disziplinen zugeordnet werden können. Im Distributed Manufacturing stellen Control Systems eine bedeutende Rolle dar. So schreibt beispielsweise Reza Vatankhah Barenji von der Hacettepe Universität in Ankara in seinem Artikel „A multi-agent RFID-enabled distributed control system for a flexible manufacturing shop“, dass viele Steuerungssysteme insbesondere bei einer großen Produktvielfalt in einem Unternehmen noch immer sehr unflexibel und träge sind. Diese unflexiblen und trägen Steuerungssysteme sollten mit Hilfe der RFID-Technologie, die

[92] Vgl. Helo (2014), S. 646
[93] Vgl. Helo (2015) S. 650

u. a. auch im Internet der Dinge verankert ist, verbessert werden. Er beschreibt hierbei wie eine Architektur von Steuerungssystemen die mit der RFID-Technologie ausgestattet ist, aussehen kann.[94]

Durch die Analyse der Disziplinen im Netzwerk von Distributed Manufacturing wurde festgestellt, dass sich die meisten Artikel dieses Forschungsgebietes in nur wenigen Kerndisziplinen wiederfinden. Auffällig hierbei war, dass sich die bereits im Kapitel 3.2.1 beschriebenen Forschungsbereiche der Autoren erneut abbildeten. Dies verdeutlicht, dass die genannten Kerndisziplinen im Distributed Manufacturing von enormer Bedeutung sind weshalb noch einmal etwas genauer auf diese einzelnen Bereiche eingegangen wurde.

4.3 Wissensbasen und Forschungsfronten

Zusammenfassung

Thematische Schwerpunkte mit aktuell hohem Forschungsinteresse sind Systeme, die eine Umsetzung des Distributed Manufacturing ermöglichen sowie deren Implementierung, deren Einsatzgebiete und den damit verbundenen gestellten Anforderungen an diese Systeme.

Aus den Referenzen dieser Publikationen erschließen sich vor allem die Themen Internetbasierte Systeme und agentenbasierte Fertigungssysteme sowie Cloud Manufacturing. Sie bilden sogenannte Wissensbasen, „historische“ Quellen, aus denen sich heutige Themenschwerpunkte weiterentwickelt haben.

Die Analyse und Untersuchung der Wissensbasen und Forschungsfronten in diesem Kapitel schafft weitere Aufschlüsse zum Themenbereich *Distributed Manufacturing*. Dabei sollen die heutigen, für die Forschung relevanten Gebiete aufgedeckt werden, sowie Publikationen entdeckt werden, welche diesen als Ausgangsbasis dienen. Außerdem werden aktuelle Forschungsthemen identifiziert, mit denen sich die Forschung verstärkt auseinandersetzt.

4.3.1 Wissensbasen: Landkarte der Co-Zitationen

Ziel der nachfolgenden Analyse der Wissensbasen ist es, die Datenbasis bestehend aus 1071 Artikeln um die Referenzliste zu erweitern. Dadurch kann das Wissen über das Themengebiet *Distributed Manufacturing* nochmals vertieft werden und es können Rückschlüsse über die Themenstruktur und Teilforschungsbereiche des Untersuchungsgebietes gezogen werden.

In einer Wissensbasis werden zwei Referenzen mittels eines Artikels in einen Zusammenhang gestellt. Man nennt die Verlinkung der zwei Referenzen Co-Zitation. Je häufiger oder ausschließlich eine Co-Zitation ist, desto enger ist die Verbindung zwischen zwei zitierten Artikeln. Eine Wissensbasis ist eine Anhäufung von co-zitierten Artikeln in einem Netzwerk (Cluster). Die Größe der Wissensbasis wird durch die Anzahl der Zitate in einem Cluster bestimmt. Anhand der Co-Zitationscluster lassen sich für grundlegende Teilforschungsbereiche ausmachen.

Das Wissensbasennetzwerk besteht insgesamt aus 2123 Knoten und 55891 Kanten von denen übersichtshalber nur die nach dem Jaccardindex 200 stärksten Verbindungen angezeigt werden (vgl. Abbildung 19). Das Netzwerk zeigt alle 2123 Referenzen der 1070 Artikel aus der verwendeten

[94] Vgl. Barenji (2014), S. 1773

Datenbasis. Ein Knoten stellt dabei eine zitierte Publikation dar. Je häufiger diese Publikation zitiert wurde, desto größer ist auch der Knoten dieser. Publikationen, die oft gemeinsam zitiert werden befinden sich im Netzwerk näher beieinander. Ein Farbcode zeigt die Verdichtung der gemeinsamen Referenzen eines Artikels.[95] Im Netzwerk sind fünf größere Wissensbasen für den Themenbereich *Distributed Manufacturing* zu identifizieren. Eine der Wissensbasen sticht allerdings aufgrund ihrer hohen Anhäufung von Co-Zitationen und Größe deutlich hervor. Die Dichte des Netzwerkes ist eher gering und beträgt 0,02481, was die Aussage, dass es nur eine wirklich große Wissensbase gibt unterstützt.

Rang	Wissensbasen	referenzierte Publikationen (absolut)	Anzahl (in %)
1	C1: Internetbasierte Systeme	131	6,17%
2	C5: Agentenbasierte Fertigungssysteme	108	5,09%
3	C2: Cloud Manufacturing im Rahmen des Distributed Manufacturing	100	4,71%
4	C3 Potenzial Cloud Manufacturing	77	3,63%
5	C4: Industrielle Netzwerke	69	3,25%

Tabelle 2: Forschungsdimensionen Wissensbasen

Die Tabelle 2 zeigt die Dimensionen der Wissensbasen zum Thema *Distributed Manufacturing* auf. Es konnten fünf einzelne Wissensbasen identifiziert werden. Bei der Identifizierung dieser wurden die Wissensbasen mit den größten Anteilen an referenzierten Publikationen ausgewählt, da diese die größten Forschungsfelder aufweisen.

[95] Die Verdichtung einzelner Publikationen nimmt von der Farbe Rot (sehr hohe Verdichtung) zu Grün zu Türkis bis zu Blau (sehr schwache Verdichtung) immer weiter ab.

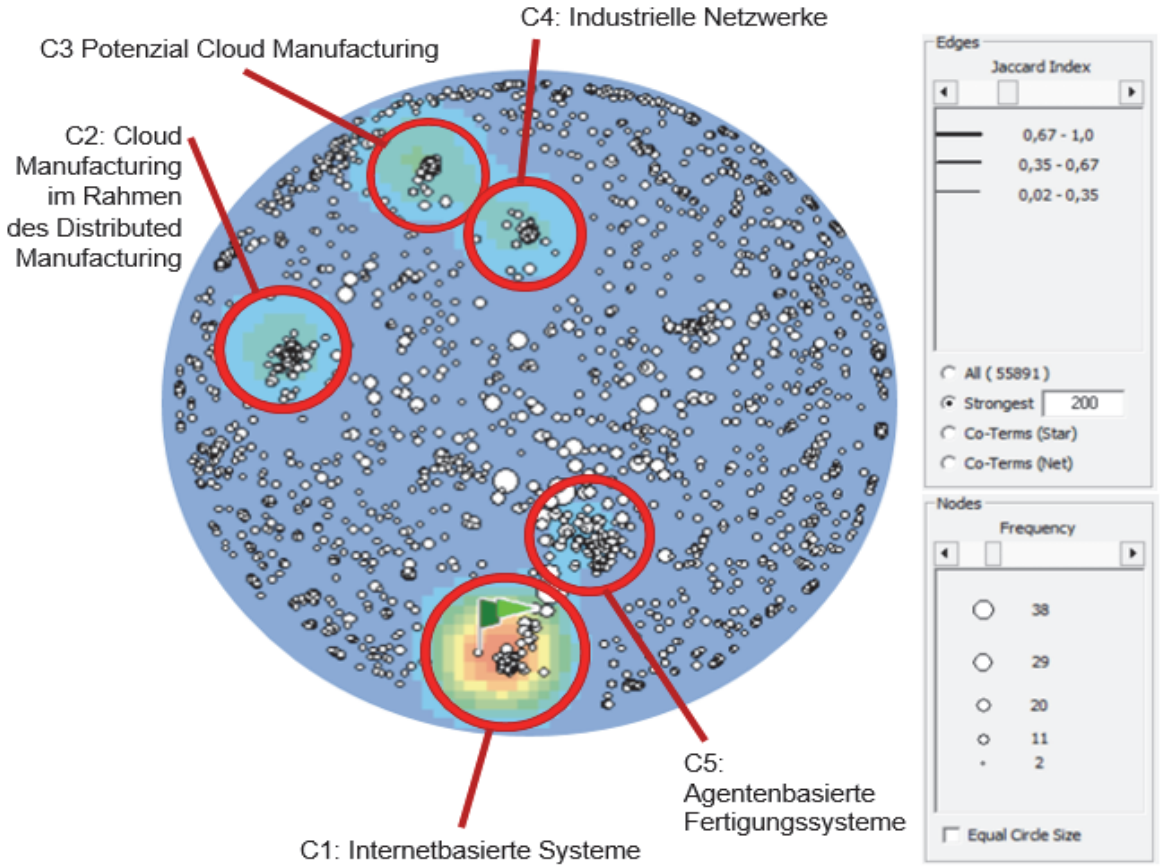


Abbildung 19: Wissensbasennetzwerk Distributed Manufacturing

Aus der Abbildung 19 haben sich die fünf folgenden Wissensbasen ableiten lassen.

Die Referenzen im Cluster 1 befassen sich mit internetbasierten Systemen. Es werden Anforderungen und Probleme an das System erläutert. In den letzten Jahren wurden diese internetbasierten Systeme vor allem zur kundenspezifischen Produktentwicklung verwendet. Diese Systeme können in allen Produktentwicklungsprozessen angewandt werden. Sie bieten den entscheidenden Vorteil, dass sie schnell Kundenbedürfnisse erfassen, sowie den Wünschen entsprechende qualitative Produkte mit niedrigen Kosten produzieren können. Durch das Distributed Manufacturing ergibt sich für die internetbasierten Systeme eine neue Plattform. Hier werden Produktionssysteme gebraucht, die innerhalb kürzester Zeit Anlagen und Werkzeuge entsprechend der kundenspezifischen Wünsche konfigurieren können. Diese Plattform bildet ein neues relevantes Forschungsgebiet im Distributed Manufacturing. Es gilt ein internetbasiertes System zur kundenspezifischen Produktentwicklung zu konstruieren, das dementsprechend schnell konfigurierbar ist, damit innerhalb kürzester Zeit die gewünschten Produkte dezentral gefertigt werden können.

Cluster 2 beschäftigt sich thematisch mit dem Cloud Manufacturing im Rahmen des Distributed Manufacturing. Die hierbei relevanten Artikel (siehe Anhang 1) beschäftigen sich mit den wesentlichen Aspekten und Anforderungen des Distributed Manufacturing (siehe Kapitel 2.2). Als Enabler eines solchen Produktionssystems wird das Cloud Manufacturing genannt. Das Cloud Manufacturing soll die Anforderungen des Distributed Manufacturing erfüllen und diese so ermöglichen. Durch den Einsatz des Cloud Manufacturing werden alle Stakeholder, die an der Produktion eines Produktes beteiligt sind verbunden (vgl. Abbildung 20). Potenzielle global verteilte Lieferanten laden den Status ihrer

Produktionskapazitäten in die Manufacturing Cloud. Der Produzent kann nun für die Produktion seiner geplanten Dienstleistung Kontakt zu potenziellen Lieferanten oder Kunden von überall auf der Welt aufbauen. Die Kunden wiederum können die Dienstleistung nach den eigenen Wünschen spezifizieren und diese individuelle Bestellung an die Manufacturing Cloud senden. Diese teilt den potenziellen Lieferanten die eingegangene Bestellung mit. Die Bestellung kann dann sofort einem entsprechenden Lieferanten zugeteilt werden.

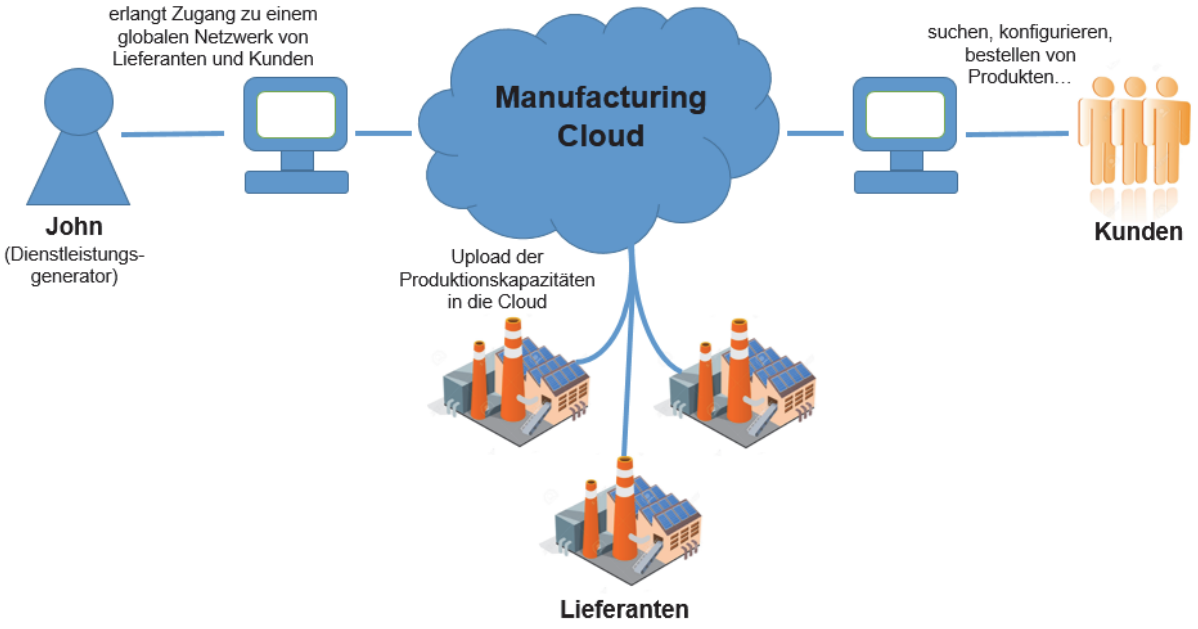


Abbildung 20: Cloud Manufacturing[96]

Diese Wissensbasis ist von hoher Relevanz, weil die Technologie des Cloud Manufacturing im Rahmen der Realisierung von dezentralen Produktionssystemen als Enabler gesehen wird und in Zukunft von höherer Bedeutung sein wird. Ein entscheidender Vorteil des Cloud Manufacturing ist es, dass es in sämtlichen Phasen des Produktmanagements eingesetzt werden kann und es dazu noch ermöglicht, dass verschiedene beteiligte Personen in Echtzeit miteinander interagieren können. Daraus folgt, dass die Time-to-Market verkürzt und die Produktivität gleichzeitig erhöht werden kann.[97] Außerdem stellt sie einige Schnittpunkte zu den Ergebnissen aus den Autorennetzwerkanalysen dar.

Die meist referenzierten Publikationen des Cluster 3 sind denen des Cluster 2 thematisch recht ähnlich. Auch in Cluster 3 geht es um das Thema Cloud Manufacturing. Im Unterschied zu Cluster 2 aber nicht mit dem starken Kontextbezug zum Distributed Manufacturing. Viel mehr werden hier die Potenziale und möglichen Einsatzgebiete des Cloud Manufacturing erläutert. Das Cloud Manufacturing bietet z. B. den Produktdesignern die Möglichkeit Informationen auszutauschen und so effektiver sowie effizienter im Team zusammenzuarbeiten. Es ermöglicht eine multidisziplinäre und geographisch getrennte Zusammenarbeit auf einfache Art und Weise. Außerdem bietet es die Möglichkeit der Visualisierung von 3D-Modellen. Die Nutzung einer Cloud als Wissensbasis in Unternehmen kann durch die Echtzeitverfügbarkeit Entwicklungszeit und daraus folgend Herstellkosten reduzieren. Einsatzgebiet des Cloud Manufacturing kann das Collaborative Design sein (vgl. Abbildung 21). Es

[96] Eigene Darstellung in Anlehnung an ManuCloud Project (o.J.)
[97] Vgl. Blaisdell (2014)

können verschiedene Stakeholder in verschiedenen Entwicklungsphasen des Produktes zusammen an einem Design arbeiten. Durch die Nutzung der Cloud können neue Ideen generiert werden und so auch die Time-to-Market verkürzt werden. Ein weiteres im Cluster beschriebenes Einsatzgebiet ist das Distributed Manufacturing. Durch das System des Cloud Manufacturing kann eine dezentrale Produktion ermöglicht werden, da die benötigten Informationsdaten von überall aus zugänglich in der Cloud vorhanden sind. Das Cloud Manufacturing kann also auch als System des Wissensmanagements fundieren. Das Potenzial und auch die Einsatzgebiete des Cloud Manufacturing sind breit gefächert und gerade das macht es so interessant für das Distributed Manufacturing, das für seine Umsetzung solche Systeme benötigt. Die beschriebenen Potenziale unterstützen nochmal die oben bereits getroffene Aussage, dass das Cloud Manufacturing im Zusammenhang mit dem Themenbereich *Distributed Manufacturing* ein relevantes Forschungsgebiet aufzeigt.

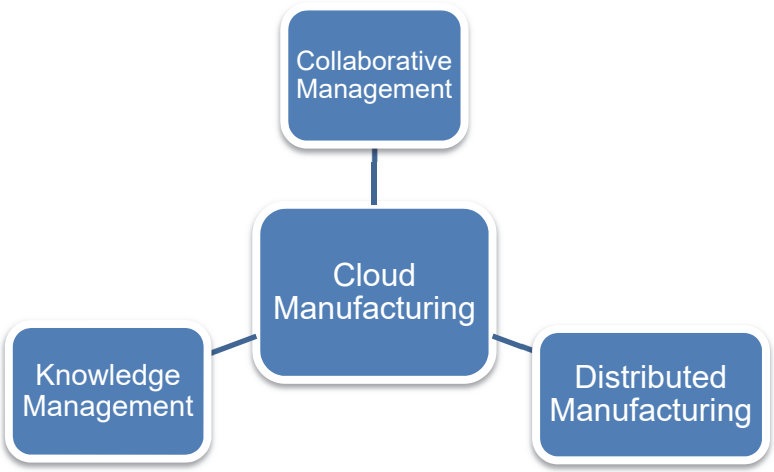


Abbildung 21: Potenzielle Einsatzgebiete des Cloud Manufacturing[98]

In dem Cluster 4 geht es um die Zusammenarbeit von industriellen Netzwerken. Speziell wurde hier daran geforscht, wie sich die industrielle Zusammenarbeit im Distributed Manufacturing verändern wird. Während die Zusammenarbeit in den industriellen Netzwerken in der Vergangenheit auf Kommunikation und Koordination beruhte fördert das Distributed Manufacturing das autonome Verhalten. Die Veränderung der industriellen Zusammenarbeit wird anhand von evolutionsbiologischen Modellen untersucht. Ein weiteres Forschungsgebiet in diesem Cluster ist zu analysieren, inwiefern Distributed Manufacturing zur Bewältigung gemeinsamer Herausforderungen der Netzwerke beitragen kann. Da dieses Cluster keine große Relevanz für die Technologievorausschau hat wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen.

Die im Cluster 5 häufig gemeinsam referenzierten Publikationen beschäftigen sich mit der Fertigungsprozessplanung. Gewöhnlich werden dabei Herstellungsprozessplanung und die Zeitplanung getrennt voneinander betrachtet, was zu einem suboptimalen Ergebnis führt. Zur Generierung von effektiveren und realistischeren Prozessplänen ist es wichtig, die beiden Aspekte zu verbinden. Eine Möglichkeit dafür ist, die Implementierung von sogenannten agentenbasierten Systemen, die als nächste Generation der Fertigungssysteme gelten. Agentenbasierte Systeme sind in der Lage, auf Zustände und Zustandsänderungen in ihrer Umgebung zu reagieren. Die drei Kernkonzepte der Systeme sind die Proaktivität, Autonomie und die strukturierte Interaktion.

[98] Eigene Darstellung in Anlehnung an Wu et al. (2013)

Proaktivität bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die Systeme eine bestimmte Strategie bzw. ein Ziel innehaben, das sie selbstständig kontinuierlich verfolgen, ohne dass sie von außen dazu aufgefordert werden müssen. Die Autonomie der Systeme sorgt dafür, dass sie selbstständige und unabhängige Entscheidungen über auszuführende Aktivitäten treffen können. Das letzte Konzept der strukturierten Interaktion meint, dass die Systeme über ein Kommunikationsprotokoll verfügen, das es möglich machen lässt, dass die verschiedenen Agenten des Systems oder mehrerer Systeme miteinander kooperieren können, indem sie den Protokollen folgen.[99] Die Implementierung solcher Systeme sorgt dafür, dass das Unternehmen wettbewerbsfähiger ist, da es die Rentabilität dieses verbessert. Das Forschungsfeld dieses Clusters beschäftigt sich damit, dass es Forschungsansätze für die Optimierung der Systeme und Implementierung im Unternehmen sucht.

Letzendlich lässt sich sagen, dass die Wissensbasen sehr gut Aufschluss darüber geben, welche Themenbereiche im *Distributed Manufacturing* gerade erforscht werden und wo es noch einiges an Lösungsansätzen bedarf. Ein besonderer Forschungsfokus liegt dabei auf möglichen Systemen, die zur Realisierung von Distributed Manufacturing beitragen sollen.

4.3.2 Forschungsfronten: Gebirgslandschaft der bibliografisch gekoppelten Publikationen

Nachdem mittels der Analyse der Wissensbasen gemeinsam zitierte Referenzen identifiziert wurden und damit der „Wissensbestand“ im Themenbereich bekannt ist, sollen nun die aktuell an Relevanz gewinnenden Forschungsthemen herausgearbeitet werden.

Ziel der Analyse ist es, Themen mit einem hohen aktuellen Forschungsinteresse zu erkennen, um daraus schlussfolgern zu können, welche eine wachsende Bedeutung für die Öffentlichkeit haben. Damit dieses Ziel erreicht wird, werden Artikel herausgesucht, die möglichst viele gemeinsame Referenzen aufweisen. Je mehr gemeinsame Referenzen zwei Artikel haben, desto stärker ist auch die Kopplung zwischen diesen beiden und die inhaltliche Ähnlichkeit steigt. Die Artikel, die durch die Bibliometrie miteinander gekoppelt wurden, werden in einem Netzwerk angeordnet. Artikel, die stark miteinander gekoppelt sind, bilden gemeinsam ein Cluster. Je mehr Artikel in deinem Cluster vorhanden sind, desto größer ist auch die dazugehörige Forschungsfront. Cluster mit vielen Artikeln gleichen Ursprungs zeigen Themenfelder der Forschung mit wachsender Bedeutung auf.

Insgesamt besteht das Forschungsfrontennetzwerk aus 972 Knoten (vgl. Abbildung 22). Ein Knoten stellt dabei eine Publikation dar. Je häufiger die Publikation zitiert wird, desto größer ist auch der Knoten dieser. Publikationen, die oft zusammen zitiert werden, befinden sich im Netzwerk näher beieinander. Die Stärke der Verbindungen (Kopplungen) untereinander zeigen auf, wie oft die Artikel gemeinsam zitiert wurden. In diesem Netzwerk gibt es bis zu 6718 Kopplungen zwischen den einzelnen Publikationen. Aus dem Grund der Übersichtlichkeit werden nur die nach dem Jaccardindex 200 stärksten Kopplungen angezeigt. Darüber hinaus wird wie bereits beim Netzwerk der Wissensbasen mittels eines Farbcodes die Verdichtung der gemeinsamen Referenzen angezeigt. Im Netzwerk ist nur eine große relevante Forschungsfront für den Themenbereich *Distributed Manufacturing* zu identifizieren. Ausgehend von der stark verdichteten Forschungsfront nimmt nach außen hin die Dichte der Publikationen mit gemeinsamen Referenzen immer weiter ab. Die Dichte des Netzwerkes

[99] Vgl. Depke (2004)

beträgt 0,01424. Dieser eher niedrige Wert stützt die Aussage, dass es nur eine wirklich große Verdichtung im Netzwerk gibt.

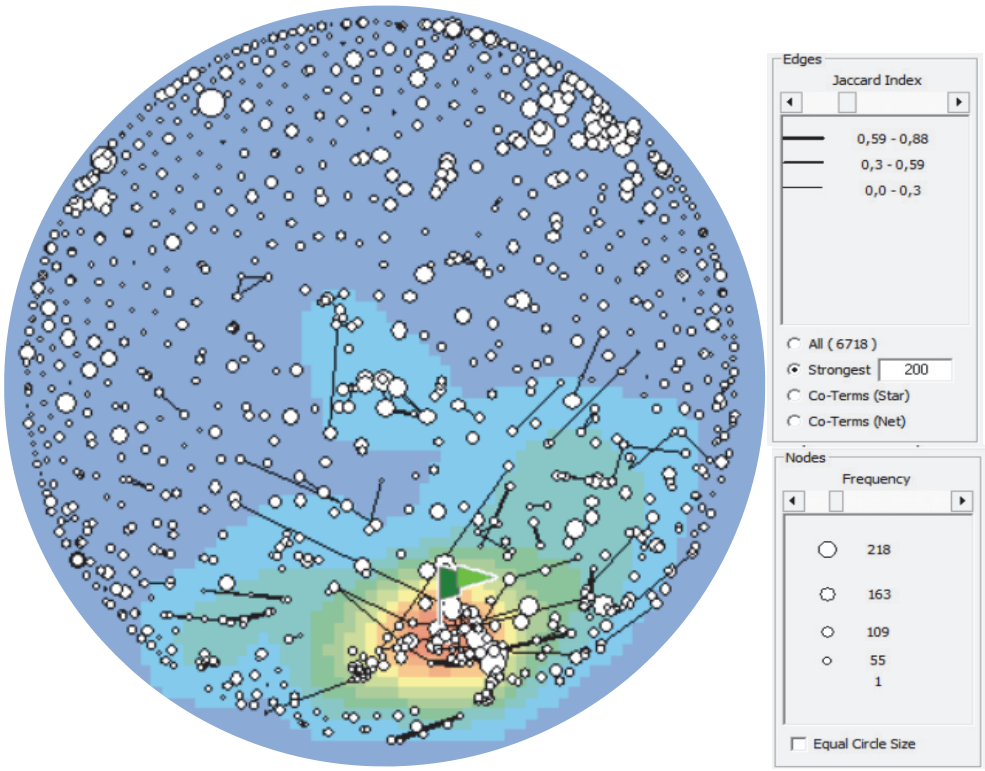


Abbildung 22: Forschungsfrontennetzwerk Distributed Manufacturing

Abbildung 23 zeigt die Forschungsfronten des Themengebietes *Distributed Manufacturing* in einer dreidimensionalen Forschungslandkarte. Hier sind nun bereits kleine Verdichtungen der Publikationen mit vielen gemeinsamen Referenzen zu identifizieren. Insgesamt sind in dieser Darstellung sieben unterschiedlich stark verdichtete Forschungsfronten vorhanden. Cluster 2 sowie 3 weisen die größte Verdichtung auf. Auffällig ist, dass ein Großteil der Cluster sehr nah beieinanderliegt. Eine thematische und inhaltliche Überschneidung der Cluster ist daher wahrscheinlich.

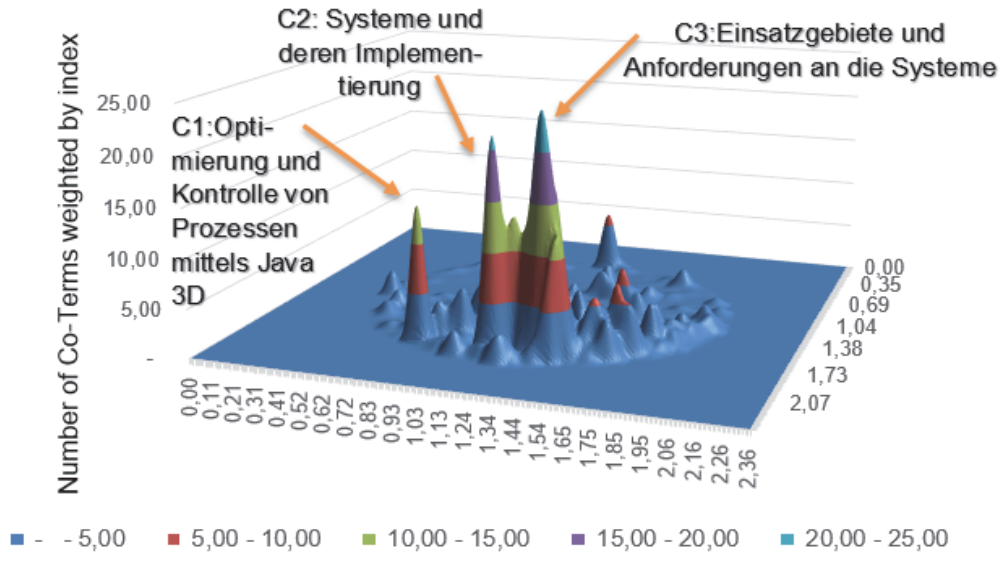


Abbildung 23: Forschungsfronten Distributed Manufacturing

Das Cluster 1 enthält gemeinsam referenzierte Artikel über den Einsatz des Java 3D Modells zu Fernüberwachung und Kontrolle von Systemen sowie zur Prozessoptimierung in Unternehmen, die bereits über eine dezentrale Produktion verfügen. Java 3D ist ein Programm zur Darstellung und Erzeugung von 3D Modellen. Die drei wichtigsten Artikel des Clusters sind „Integrative process plan model and representation for intelligent Distributed Manufacturing planning“ (2004)[100] von Sormaz, „Wise-ShopFloor: a Web-Based and Sensor-Driven Shop Floor Environment“ (2002)[101] von Wang et al. sowie „Integrating Java 3D Model and sensor data for remote monitoring and control“ (2003)[102] von Wang et al. Der Artikel von Sormaz et al. konzentriert sich auf die Planung von Prozessen, als wichtigste Funktion des Produktdesigns. Er gibt an, dass Prozesspläne einen großen Einfluss auf die Produktion haben. Es wird ein Prozessplanmodell vorgestellt, welches die Integration eines dezentral zusammenhängenden Systems zu integrieren. Das Modell verfügt über drei Dimensionen der Planung. Zu diesen gehören Zeit/Auftrag, Variabilität/Alternativen und Verbindung. Es wurde auf Basis der Java Programmiersprache entwickelt. Außerdem werden noch die Vorteile der derzeit implementierten Anwendung bei Prozessnetzgenerierungen aufgegriffen.[103]

Der zweite untersuchte Artikel des Cluster 1 von Wang et al. beschreibt einen neuen Ansatz namens „Wise-ShopFloor: a Web-Based and Sensor-Driven Shop Floor Environment“ (2002), der die gezielte Fernüberwachung und Kontrolle von Verkaufsflächen möglich macht. Zur Implementierung des Systems wurden die neusten Java Technologien u. a. das Java 3D verwendet. Das webbasierte System macht es so ohne Kameraüberwachung möglich die Maschinen und Geräte immer und überall auf der Welt zu überwachen sowie zu steuern.[104]

Der dritte Artikel „Integrating Java 3D Model and sensor data for remote monitoring and control“ (2003) ist dem zweiten inhaltlich relativ ähnlich. Grund dafür könnte sein, dass bei beiden Artikeln der Autor Lihui Wang beteiligt war und die beiden Artikel sich in einem Cluster befinden. Der Artikel beschreibt auch einen Ansatz zu einem webbasierten neuartigen System, das im Rahmen von Distributed Manufacturing eingesetzt werden kann. Parallel zu dem System aus dem Artikel davor dient es zur Steuerung und Fernüberwachung von Maschinen. Eine weitere Gemeinsamkeit ist die Implementierung mittel Java 3D.[105]

Ein hohes aktuelles Forschungsinteresse scheint hier an Systemen, die auf Basis von Java 3D die Möglichkeit bieten im Rahmen des Distributed Manufacturing Prozesse zu optimieren und eine dezentrale Überwachung der Produktionsmaschinen vorzunehmen, vorhanden zu sein.

Die im Cluster 2 gemeinsam referenzierten Artikel beschäftigen sich inhaltlich mit der Vorstellung einzelner Systeme, die die Umsetzung des Distributed Manufacturing ermöglichen. Darüber hinaus werden außerdem Vorgehensweisen zur Implementierung der einzelnen Systeme im Unternehmen beschrieben. Explizit wird hierbei darauf hingewiesen, dass für eine erfolgreiche Implementierung die Schaffung von weltweiten Standards von Nöten sei. Die im Cluster 2 wichtigsten Referenzen sind zum einen „Towards a cooperative Distributed Manufacturing framework“ (2005)[106] von Shen et al., zum

[100] Sormaz et al. (2004)
[101] Wang et al. (2002a)
[102] Wang et al. (2002b)
[103] Vgl. Sormaz et al. (2004)
[104] Vgl. Wang et al. (2002a)
[105] Vgl. Wang et al. (2002b)
[106] Shen et al. (2005)

anderen „A collaborative Automation approach to distributed production system“ (2004)[107] von Colombo et al. sowie „Integration of automation resources in holonic manufacturing applications“ (2003)[108] von Leitao et al.

Der erste Artikel von Weiming Shen et al. aus dem Jahre 2005 klärt zuerst einmal darüber auf, dass moderne Fertigungssysteme entwickelt werden müssen, die es den Unternehmen ermöglichen miteinander zu kooperieren. Dies sichert wiederum das Überleben der Unternehmen im globalen wettbewerbsorientierten Markt. Die Autoren schlagen den Einsatz eines unternehmensübergreifenden Fertigungssystems vor. Zur Vereinfachung der Integration des Systems muss zunächst jedes Unternehmen seine Geschäftsprozesse neu organisieren, analysieren und die wichtigsten Schritte im Internet zugänglich machen. Das daraufhin eingesetzte Fertigungssystem ist internetfähig und basiert auf webgestützten Diensten. Es ermöglicht eine Fernüberwachung, Steuerung, Diagnose aller Fertigungseinrichtungen aller beteiligten Unternehmen. Die Maschinen und Roboter sind durch das Fertigungssystem nahtlos in die Geschäftsprozesse integriert.[109]

Der andere häufig zitierte Artikel des Clusters 2 „A collaborative Automation approach to distributed production system“ (2004) von Armando Colombo nennt noch ein weiteres System unter dessen Einsatz die dezentrale Produktion im Unternehmen ermöglicht werden soll. Dazu beschreibt er einen Ansatz einer unternehmensübergreifenden Automatisierungstechnik, die durch die Integration agentenbasierter Steuerungstechniken in den Produktionsprozess entstanden ist.[110]

In dem dritten Artikel des Clusters 2 „Integration of automation ressources in holonic manufacturing applications“ (2003) wird von dem Autor Paulo Leitao hingegen etwas genereller dargestellt, dass computer- und agentenbasierte Paradigmen sehr geeignet sind für die Entwicklung von Steuerungssystemen in der Produktion. Sie ermöglichen die Modularität und Dezentralisierung der Produktion. Allerdings sind die fehlenden effizienten Standards für solche Systeme noch ein Problem, um eine einfache und transparente Integration in die Unternehmen zu ermöglichen.[111]

Ein hohes aktuelles Forschungsinteresse scheint hier in Cluster 2 an den Systemen, die eine unternehmensübergreifende dezentralen Produktion ermöglichen, zu bestehen. Wichtig scheint dafür die Findung eines globalen Standards zu sein.

Die im Cluster 3 häufig gemeinsam referenzierten Artikel beschäftigen sich mit den Einsatzgebieten, Anforderungen und Schwachstellen von agentenbasierten Produktionssystemen, die das Distributed Manufacturing ermöglichen können. Für eine erfolgreiche Implementierung der Systeme im Unternehmen müssen diese die an sie gestellten Anforderungen erfüllen. Die wichtigsten Papiere des Cluster 3 sind zum einen „Application of agent-based-Systems in intelligent manufacturing: An update review“[112] von Shen et al. zum anderen „agent-based Distributed Manufacturing control: A state-of-the-art survey“[113] von Leitao sowie „Distributed Manufacturing scheduling using intelligent agents“[114] von Shen. Der erste genannte Artikel führt die agentenbasierte Technologie als viel versprechendes

[107] Colombo et al. (2004)
[108] Leitao et al. (2003)
[109] Vgl. Shen et al. (2005)
[110] Vgl. Colombo et al. (2004)
[111] Vgl. Leitao et al. (2003)
[112] Shen et al. (2006)
[113] Leitao (2009)
[114] Shen (2002)

Beispiel für die nächste Generation der Fertigungssysteme an. Er beschreibt den Erfolg dieser agentenbasierten Technologien und zeigt Einsatzgebiete wie die unternehmensübergreifende Zusammenarbeit oder die Planung & Steuerung von Prozessen auf. Anschließend nennt er eine Reihe von Anforderungen, die ein agentenbasiertes Fertigungssystem erfüllen muss, damit eine Implementierung im Unternehmen gelingt.[115] Weitere detailliertere Ausführungen zum Artikel sind im Kapitel 3.1.2 auf geführt.

Der Artikel von „agent-based Distributed Manufacturing control: A state-of-the-art survey“ führt an, dass als dynamische Reaktion auf den sich verändernden Produktionsprozess Fertigungssysteme mit spezifischen Anforderungen benötigt werden. Zu diesen Anforderungen gehören Intelligenz, Robustheit und Anpassungsfähigkeit, um sich an die individuellen Bedürfnisse der Umwelt anzupassen.

Ein solch spezifisches Fertigungssystem ist z. B. das agentenbasierte Fertigungssystem. Im Weiteren deckt der Autor Leitao noch die Schwachstellen dieser Technologie auf, die noch beseitigt werden müssen, damit das System allen Anforderungen gerecht wird.[116]

Der dritte Artikel „Distributed Manufacturing scheduling using intelligent agents“ beschreibt die Planung des Fertigungsprozesses durch die Zuordnung von Fertigungsaktivitäten. Dieser Fertigungsprozess muss auch wieder einigen Anforderungen wie z. B. die Erreichung eines optimalen Zeitplans oder der Zielkosten Standhalten. Ein guter Ansatz ist hierfür laut dem Autor auch wieder ein agentenbasiertes Produktionsplanungssystem.

Ein hohes aktuelles Forschungsinteresse scheint in diesem Cluster die Optimierung von agentenbasierten Fertigungssystemen zur Durchführung des Distributed Manufacturing in Unternehmen zu sein. Es werden Anforderungen und Schwachstellen z. B. zum Ansatz der weiteren Forschungsaktivitäten genannt.

Betrachtet man nun die Dimension der Forschungsfront (vgl. Tabelle 3) fällt auf, dass diese mit 38 bis 10 Artikel gemessen an der gesamten Datenbasis von 1070 eher klein ausfallen. Die größte Forschungsfront bildet das Cluster 3 mit 38 gemeinsam referenzierten Artikel. 13 Artikel weniger befinden sich in Cluster 2 und Cluster 3 verfügt lediglich über 10 Artikel.

Rang	Forschungsfronten	Artikel (absolut)	Artikel (in %)
1	C3:Einsatzgebiete und Anforderungen an die Systeme	38	3,55%
2	C2: Systeme und deren Implementierung	25	2,34%
3	C1: Optimierung und Kontrolle von Prozessen mittels Java 3D	10	0,93%

Tabelle 3: Forschungsdimensionen Distributed Manufacturing

Vergleicht man nun die thematischen Inhalte der Forschungsfronten mit denen der Wissensbasen fällt auf, dass die Forschungsfronten inhaltlich weniger spezifiziert sind. Während die Wissensbasen thematisch einen Fokus auf mögliche Produktionssysteme für das Distributed Manufacturing legen, konzentrieren sich die Inhalte der Forschungsfronten auf die Anforderungen, Einsatzgebiete und

[115] Vgl. Shen et al. (2006)
[116] Vgl. Leitao (2009)

Implementierung solcher Systeme. Allerdings zeigt sich, dass die Ergebnisse der Forschungsfronten und Wissensbasen sich gegenseitig ergänzen. Für die in den Forschungsfronten beschriebenen angeforderten Systeme liefern die Wissensbasen konkrete Beispiele, die bereits einen Teil der Anforderungen erfüllen würden. Weiter geben die Forschungsfronten erste Ansätze zur Implementierung solcher Produktionssysteme aus den Wissensbasen. Die Ergebnisse der Wissensbasen zusammen mit denen der Forschungsfronten geben gemeinsam Aufschluss darüber, dass interessante Forschungsfelder im Themenfeld *Distributed Manufacturing* vor allem solche sind, die Lösungen für Produktionssysteme liefern, die die Anforderungen der dezentralen Fertigung erfüllen. Im Weitern wäre es interessant, die vielen anderen kleinen Forschungsfronten auf der Forschungslandkarte zu analysieren. Möglicherweise beinhalten diese weitere, noch im frühen Entwicklungsstadium sich befindende Technologien, die für das Themengebiet *Distributed Manufacturing* von großer Bedeutung sind bzw. in Zukunft sein werden. Hierbei könnte die Ermittlung der Zunahme der Publikationen zu den einzelnen kleinen Forschungsfronten über die letzten Jahre Aufschluss über momentan kleinere Forschungsthemen mit großem Potential geben.

4.3.3 Forschungsportfolio: Positionierung der Forschungsfronten in der Wissenschaft

Nachdem nun mittels der Analyse der Wissensbasen und Forschungsfronten einige aktuelle Forschungsfelder identifiziert wurden, sollen diese nun in ein Forschungsportfolio eingeordnet werden. Durch die Einordnung in das Forschungsportfolio soll dieses die relative Bedeutung einzelner Forschungsfelder für den Themenbereich *Distributed Manufacturing* darstellen. Darüber hinaus visualisiert es noch die zeitliche Veränderung der verschiedenen Forschungsthemen und zeigt auf, welche an Bedeutung gewinnen. Das Forschungsportfolio wird in Anlehnung an das Marktanteils-Marktwachstumsportfolio der Boston Consulting Group erstellt.[117]

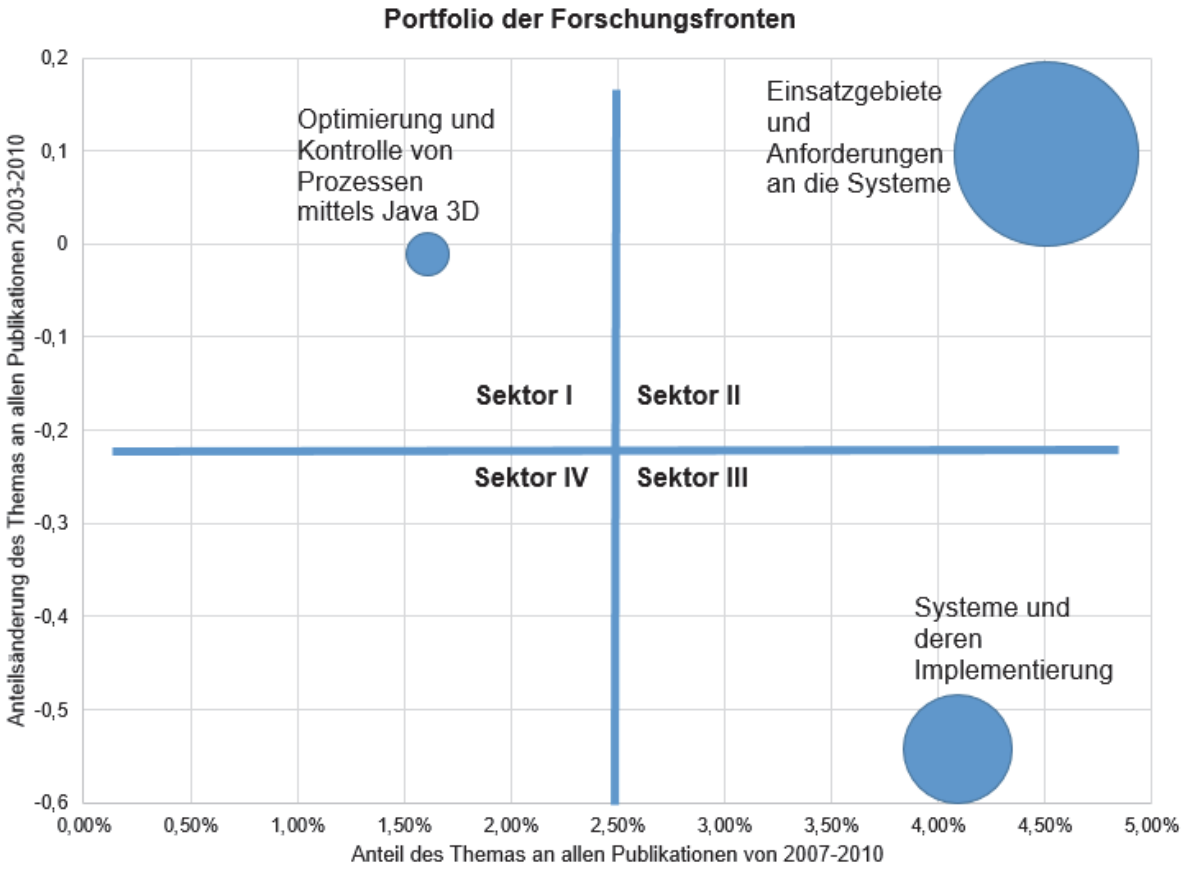


Abbildung 24: Forschungsportfolio zum Thema *Distributed Manufacturing*

Die Abbildung 24 zeigt, dass die Wachstumsraten der Forschungsfront „Optimierung und Kontrolle von Prozessen mittels Java 3D“ 0%l bzw. bei der Forschungsfront „Systeme und deren Implementierung“ -56,52% beträgt. Im Gegensatz dazu weist die Forschungsfront „Einsatzgebiete und Anforderungen an die Systeme“ eine Wachstumsrate von 10% auf. Die Ergebnisse aus dem Kapitel 3.1.2 haben schon gezeigt, dass der Themenbereich *Distributed Manufacturing* in der Forschung kein neues Thema ist, sondern bereits in den 90er Jahren die Zahl der Publikationen zum Themengebiet stark angestiegen. Weiter lässt sich feststellen, dass der Anteil der Artikel in den einzelnen Forschungsfronten relativ gering ist. Den größten Anteil weißt die Forschungsfront „Einsatzgebiete und Anforderungen an Systeme“ mit 4,48% auf. Bei der näheren Untersuchung der Forschungsfronten in Kapitel 3.3.2 wurde bereits deutlich, dass die verhältnismäßig vielen Artikel der Forschungsfronten viele Anforderungen an

[117] Vgl. Schiebel (2016) S. 138

die Produktionssysteme für das Distributed Manufacturing erfüllen müssen, damit sie einsatzfähig werden.

Die drei Forschungsfronten lassen sich in drei unterschiedliche Sektoren des Forschungsportfolios einordnen. In den Sektor 1 fällt die Forschungsfront „Optimierung und Kontrolle von Prozessen mittels Java 3D“, die aufgrund der Wachstumsrate von 0% und dem geringen prozentualen Anteil der Artikel in der Front von 1,63% die kleinste Front ist. Sie ist damit ein neues Forschungsthema, mit ungewisser Zukunft. Unter Umständen könnte sie ein neu aufkommendes, bedeutsames Forschungsthema im Themenbereich *Distributed Manufacturing* aufzeigen. In den zweiten Sektor fällt die Forschungsfront „Einsatzgebiete und Anforderungen an Systeme“. Wie bereits erwähnt ist diese, bezogen auf die Wachstumsrate und relativ großen Anteilen an Artikeln in der Forschungsfront, die größte Front im Portfolio. Es handelt sich hierbei um Mainstream Forschung, der allerdings eine wachsende Bedeutung zugeschrieben werden kann. Die Forscher haben ein großes Interesse an dieser Thematik, da sie ein großes Potenzial für die Industrie bietet. In den Sektor 3 fällt die Forschungsfront „Systeme und deren Implementierung“. Sie gehört auch in den Bereich der Mainstreamforschung. Allerdings ist ihre Bedeutung abnehmend. Hierzu wurde bereits sehr viel geforscht, sodass die Systeme so gut erforscht sind, dass sie in den nächsten Jahren von den Unternehmen umgesetzt und implementiert werden könnten.

Insgesamt zeigt die Analyse, dass die bedeutsamste Forschungsfront zum Themenbereich *Distributed Manufacturing* „Einsatzgebiete und Anforderungen an Systeme“ ist. In der Zukunft werden Standardisierungen der Produktionssysteme, um die geforderten Anforderungen zu erfüllen, ein wichtiges Thema sein.

4.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend konnten für das Themengebiet *Distributed Manufacturing* folgende Kernergebnisse aus der deskriptiven Statistik und der bibliometrischen Analyse ermittelt werden.

Weiming Shen, Lihui Wang und Paulo Leitao sind die meist publizierenden Autoren. Zwischen Weiming Shen und Lihui Wang besteht eine wichtige Co-Autorenschaft. Die wichtigste Forschungsinstitution ist das National Research Council of Canada. Die Länder die am aktivsten zum Distributed Manufacturing forschen sind die USA, China, Deutschland und Japan. Das Themengebiet wird auf internationalen Konferenzen thematisiert. Dies zeigt die hohe Anzahl der Proceeding Papers, die neben den Artikeln die vorherrschende Publikationsart darstellt.

Durch die Auswertung des Autorennetzwerkes lässt sich feststellen, dass das Thema *Distributed Manufacturing* sehr umfangreich ist und viele verschiedene Forschungsbereiche beinhaltet. Die einzelnen analysierten Teilnetzwerke der Autoren gehen dabei auf die bereits im Kapitel 2.1 genannten Technologien, Systeme und Strategien ein, die das Distributed Manufacturing umfasst. Besonders auffallend ist, dass sich die gewählten Teilnetzwerke zumindest teilweise mit ähnlichen Forschungsgebieten beschäftigen, jedoch untereinander nicht miteinander vernetzt sind.

Die Auswertung des Organisationsnetzwerks zeigt, dass das Distributed Manufacturing weltweit eine bedeutende Rolle spielt. So wird an diesem Thema in über zwanzig verschiedenen Ländern geforscht. Auffallend dabei ist, dass die Organisationen untereinander kaum vernetzt sind und zum größten Teil an Universitäten geforscht wird.

Durch die Analyse der Disziplinen im Netzwerk von Distributed Manufacturing wurde festgestellt, dass sich die meisten Artikel dieses Forschungsgebietes in nur wenigen Kerndisziplinen wiederfinden. Auffällig hierbei war, dass sich die bereits im Kapitel 3.2.1 beschriebenen Forschungsbereiche der Autoren erneut abbildeten. Dies verdeutlicht, dass die genannten Kerndisziplinen im Distributed Manufacturing von enormer Bedeutung sind.

Die Themengebiete „Einsatzgebiete und Anforderungen an die Systeme“, „Systeme und deren Implementierung“ und „Einsatzgebiete und Anforderungen an die Systeme“ weisen ein hohes Forschungsinteresse auf. Dabei ist vor allem das Themengebiet „Einsatzgebiete und Anforderungen an die Systeme“ für die Forschung ein Gebiet von wachsender Bedeutung, da dieses auch von großer Bedeutung für die Wirtschaft ist, damit Distributed Manufacturing problemlos und vorteilhaft angewandt werden kann.

Diese heutigen thematischen Schwerpunkte haben sich laut der Referenzen der Publikationen aus den Wissensbasen „Internetbasierte Systeme“, „Agentenbasierte Fertigungssysteme“ und dem „Cloud Manufacturing“ entwickelt. Diese Wissensbasen sind die Basis für die heutigen Themenschwerpunkte im Bereich Distributed Manufacturing.

5 Szenariotechnik zu Distributed Manufacturing

Nachdem die bibliometrische Untersuchung des Themenfeldes *Distributed Manufacturing* abgeschlossen ist, blicken wir nun anhand der Szenariotechnik langfristig in die Zukunft.

Das Ziel des Kapitels ist, „basierend auf der gegenwärtigen Situation des [Distributed Manufacturing], Chancen, Erfolgspotentiale und Gefahren der Zukunft zu erkennen und dementsprechend strategische Entscheidungen“[118] aus den Szenarien abzuleiten. Die Szenarien geben Aufschluss über die Entwicklungsmöglichkeiten im Themenbereich *Distributed Manufacturing*. Im Anschluss werden robuste Technologien abgeleitet, welche Unternehmen im Kontext Distributed Manufacturing über alle möglichen zukünftigen Zustände die Wettbewerbsfähigkeit sichern. Die Szenariotechnik wird in acht Schritten nach ITOP angewandt (vgl. Tabelle 4).

1.	Betrachtungsgegenstand definieren
2.	Treiber ableiten und Deskriptoren bestimmen
3.	Projektionen ableiten und die Anzahl der Szenarien bestimmen
4.	Projektionen zu konsistenten Alternativenbündel clustern
5.	Szenarien beschreiben
6.	Störereignisanalyse durchführen und Szenarien ggf. anpassen
7.	Emergente Technologien ableiten und den Einfluss auf jedes Szenario bestimmen
8.	Implikationen für das strategische Management ableiten und Maßnahmen bestimmen

Tabelle 4: Szenariotechnik nach ITOP[119]

[118] Vgl. Reibnitz (1992)
[119] Vgl. Stelzer et al. (2015)

5.1 Definition des Untersuchungsgegenstandes

Zusammenfassung

Die BML AG (fiktives Unternehmen) ist ein weltweit agierender Werkzeughersteller. Das Unternehmen hat sich auf die Produktion von Bohr- und Schneidewerkzeugen für den Straßenbau, den Maschinenbau sowie die Luft- und Raumfahrt fokussiert. Die BML AG verfügt über Produktionsstätten in den USA, Japan und China. Wettbewerber sind die Kaimler AG und Raudi AG sowie eine zunehmende Anzahl an chinesischen Konkurrenten. Die BML AG agiert ausschließlich auf dem B2B Markt und vertreibt seine Produkte aktuell über einen Produktkatalog. Zukünftig sollen neue Produktionssysteme des Distributed Manufacturing im Rahmen der Industrie 4.0 eingesetzt werden, um Wettbewerbsvorteile gegenüber den Wettbewerbern zu generieren und den sinkenden Umsatzerlösen entgegenzuwirken.

Das Ziel ist es, eine Beschreibung des beispielhaften, sowie fiktiven Untersuchungsgegenstandes der BML AG zu geben und anschließend dessen Unternehmensumfeld darzustellen. Mittels eines semantischen Netzes (vgl. Abbildung 25) sollen danach die Zusammenhänge des Unternehmens mit seiner Umwelt dargestellt werden. Das Ergebnis des semantischen Netzes bildet dann den Ausgangspunkt für die Durchführung der Szenariotechnik.

Die BML AG mit ihrem Firmensitz in München ist ein weltweit agierender Werkzeughersteller. Das Unternehmen hat sich auf die Produktion von Bohr- und Schneidewerkzeugen für den Straßenbau, den Maschinenbau sowie die Luft- und Raumfahrt fokussiert. Die BML AG verfügt über einige Produktionsstätten in den USA, Japan und China. Weltweit beschäftigt das Unternehmen 10.531 Mitarbeiter, die im letzten Jahr einen Umsatz von 120 Mio. € generiert haben. Im Laufe der letzten Jahre ist der Gewinn der BML AG stetig gesunken. Im Geschäftsjahr 2015 lag der Gewinn bei 15 Mio. €, wobei er im Geschäftsjahr 2014 noch 18 Mio. € betrug. In den letzten Jahren haben einige starke Wettbewerber wie die Kaimler AG und Raudi AG der BML AG zu schaffen gemacht. Neben diesen europäischen Wettbewerbern, drängen viele chinesische Konkurrenten auf den Markt, die über die Möglichkeit verfügen, günstiger zu produzieren. Die BML AG bedient ausschließlich den B2B Markt. Das Unternehmen vertreibt seine Produkte aktuell über einen Produktkatalog. Um im Wettbewerb zu bestehen, hat das Top-Management der BML AG beschlossen einige Änderungen im Produktionsprozess vorzunehmen, um besser auf Kundenbedürfnisse eingehen zu können. Dem Top-Management ist dabei bewusst, dass diese Veränderung nur erfolgreich sein kann, wenn das Unternehmen dabei auf zukünftige Produktionssysteme des Distributed Manufacturing im Rahmen der Industrie 4.0 setzt.

Die nachfolgende Abbildung stellt den Untersuchungsgegenstand BML AG in einem semantischen Netz dar. Auf Basis des dargestellten Untersuchungsgegenstandes und den Ergebnissen der bibliometrischen Analyse erfolgt nun die Szenarioanalyse zum Themengebiet *Distributed Manufacturing*.

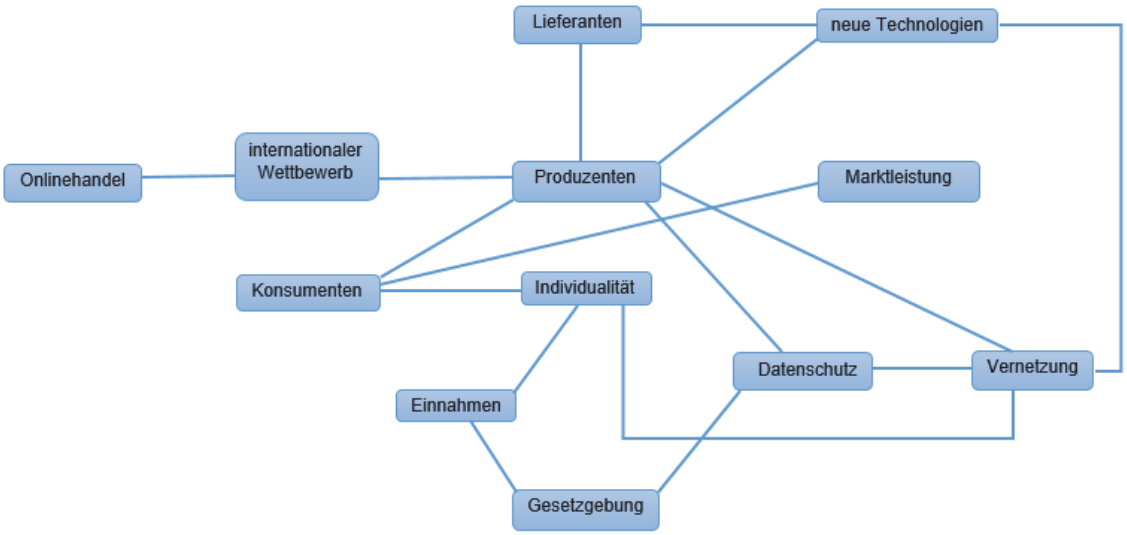


Abbildung 25: Semantisches Netz

Der Produzent ist die Aktiengesellschaft BML AG. Da das Unternehmen weltweit agiert, ist es einem sehr intensiven internationalen Wettbewerb ausgesetzt. Der internationale Wettbewerb wurde in den letzten Jahren durch den Onlinehandel verstärkt, der dazu beigetragen hat, dass der Weltmarkt zusammengewachsen ist. Die BML AG wird von vielen verschiedenen Lieferanten beliefert, die u. a. Materialien zur Herstellung der Bohrer oder Produktionsmaschinen liefern. Die aktuelle Marktleistung der BML AG ist die Produktion von Bohr- und Schneidewerkzeugen bspw. für das Bohren von Löchern in Gestein. Für die Produktion der Marktleistung verwendet die BML AG bewährte Technologien. Die BML AG hat zwar bereits von neuen Technologien zur Produktionsoptimierung wie z. B. Cloud Manufacturing, agentenbasierte Systeme, internetbasierte Systeme (vgl. Forschungsfronten) und dem 3D-Druck gehört, allerdings in diesem Bereich noch keine Investitionen getätigt. Dies wirkt sich vor allem schlecht auf die internationale Konkurrenzfähigkeit aus. In naher Zukunft sollte die BML AG in diese Technologien investieren, damit sie an Wettbewerbsfähigkeit gewinnt. Dies wird wiederum Auswirkungen auf die Lieferanten haben, die sich auch auf den veränderten Bedarf der Produzenten durch den Einsatz der neuen Technologien einstellen müssen. Die Nachfragestruktur der Konsumenten ist aktuell durch den Wunsch nach Individualität geprägt. Sie fragen speziell auf ihre Bedürfnisse zugeschnittene Produkte nach. Die neuen Technologien würden dem Produzenten ermöglichen, den Wunsch nach Individualität der Kunden kostengünstig zu erfüllen und global alle Kunden zu beliefern, da sie eine dezentrale Produktion ermöglichen. Neben der besseren Erfüllung der Kundenbedürfnisse können auch die Einnahmen der BML AG gesteigert werden. Damit auf den Wunsch der Individualität eingegangen werden kann muss die Vernetzung aller Anlagen und Maschinen der BML AG verbessert werden. Durch die Vernetzung können die Daten der einzelnen Anlagen u. a. auch an unterschiedlichen Standorten ausgetauscht werden. So können z. B. Kapazitäten der BML AG optimal geplant werden. Wichtig ist für das Unternehmen, dass alle firmeninternen Daten geschützt werden und nicht nach außen gelangen. Steigt die Vernetzung, werden auch mehr Daten im Unternehmen erzeugt, die geschützt werden müssen. Kriminelle Handlungen können die Sicherheit des Unternehmens bedrohen. Durch spezielle Gesetzgebungen wird versucht, Sicherheitsstandards einzuführen und damit die deutsche Wirtschaft in Bezug auf die Entwicklung hinzu Industrie 4.0 zu fördern.

In Zusammenhang mit den Ergebnissen der bibliometrischen Analyse wird deutlich, dass die neuen Technologien, die das Distributed Manufacturing ermöglichen sollen (z. B. Cloud Manufacturing,

agentenbasierte-Systeme) das Untersuchungsfeld stark beeinflussen und noch stärker beeinflussen werden. Sie haben so ziemlich Auswirkungen auf alle Einheiten des semantischen Netzes.

5.2 Einflussbereiche und Treiber

Zusammenfassung

Die bedeutendsten langfristig wirkenden Megatrends, die im Themenfeld *Distributed Manufacturing* ermittelt wurden, sind Globalisierung, Individualisierung, Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Künstliche Intelligenz. Mittelfristige Veränderungen resultieren aus dem Konsumententrend Konsumwandel, den Bewegungen „Nutzen statt besitzen“ und „Maker Movement“. Aus den beschriebenen Trends und den Ergebnissen der bibliometrischen Analyse wurden die Einflussbereiche Technologie, Ökonomie und Gesellschaft ermittelt.

Die Entwicklung dieser Einflussbereiche wird jeweils durch relevante Treiber dargestellt. Anhand einer dreistufigen Systemanalyse wurden für den Bereich Technologie die Schlüsseltreiber agentenbasierte Systeme, Cloud Manufacturing und neue Produktionstechnologien identifiziert. Für den Einflussbereich Ökonomie sind die Treiber Industrie 4.0, internationaler Wettbewerb und die Vernetzung von großer Bedeutung. Individualität und Online-Handel wurden als Schlüsseltreiber für den Bereich Gesellschaft ermittelt.

Basis für die Szenarioentwicklung ist die Auswahl geeigneter Treiber und die anschließende Ableitung der Deskriptoren. Deskriptoren dienen der Beschreibung der ermittelten Treiber hinsichtlich ihrer Entwicklung. Im Folgenden werden mögliche Einflussbereiche für das Forschungsgebiet Distributed Manufacturing anhand von Trends und Megatrends bestimmt.

5.2.1 Trends: begriffliche Definition

Ein Trend ist eine gerichtete Veränderungsbewegung oder ein Wandlungsprozess, der über eine längere Zeit. Trends können in den unterschiedlichsten Bereichen des Lebens wirken. So beeinflussen sie u. a. die Wirtschaft und Gesellschaft, Kultur und Politik.[120] Trends werden bezüglich ihrer Langfristigkeit und Durchdringungstiefe in Trendkategorien eingeteilt (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Bevor die relevanten Trends für das Forschungsgebiet Distributed Manufacturing in Form von Megatrends, soziokulturellen und Konsumententrends erläutert werden, folgt zunächst eine Begriffsklärung dieser Trendkategorien.

Megatrends

Der Begriff Megatrend wurde von John Naisbitt, dem Begründer der modernen Zukunftsforschung geprägt. Ein Trend muss der Definition nach drei Voraussetzungen erfüllen, um als Megatrend zu gelten. Er muss eine Halbwertszeit von mindestens 50 Jahren aufweisen. Zudem hat er stets einen globalen Charakter, trotz regional unterschiedlicher Stärke der Ausprägung und wirkt sich auf alle Lebensbereiche aus.[121]

[120] Vgl. Horx (2010), S. 1
[121] Vgl. Horx (2010), S. 2

Soziokulturelle Trends

Die Auswirkungen eines soziokulturellen Trends sind von mittelfristiger Dauer, d. h. sie haben eine Halbwertszeit von rund 10 Jahren. Sie wirken sich auf die Konsum- und Produktwelt aus und werden von sozialen und technischen Veränderungen geprägt.[122]

Konsumententrends

Konsumententrends sind kurzfristige, von den Medien verstärkte Veränderungsbewegungen, die zumeist einen modischen Charakter haben, aber auch soziokulturelle oder veränderte Werthaltungen widerspiegeln können.[123]

5.2.2 Megatrends

Für die Ermittlung von Trends, die einen signifikanten Einfluss auf das Distributed Manufacturing im Kontext Industrie 4.0 haben, wurde eine Trendanalyse durchgeführt. Als Ergebnis konnten Trends aus den Bereichen Politik, Ökonomie, Soziokultur und Technologie identifiziert werden (vgl. Tabelle 5).

Einflussbereich	Megatrend	Trend
Politik	Globalisierung	Freihandelsabkommen weltweite Supply Chain
Ökonomie	Konsumwandel neue Arbeitswelt	E-Commerce Serienproduktion Automatisierung
Sozio-Kultur	Individualisierung Kulturelle Vielfalt	individuelle Produkte
Technologie	Digitalisierung Künstliche Intelligenz	Industrie 4.0 Agentenbasierte Systeme
Umwelt	Nachhaltigkeit	Ressourcenknappheit CO_2-Reduktion

Tabelle 5: Relevante Trends im Distributed Manufacturing

5.2.2.1 Globalisierung:

Globalisierung beschreibt einen Prozess, bei dem die weltweite Verflechtung u. a. in den Bereichen Wirtschaft, Politik, Kultur und Umwelt intensiviert wird.[124] Als Ergebnis bilden sich zunehmend weltweite Märkte für Waren, Kapital und Dienstleistungen.[125] Vorangetrieben wird die weltweite Verflechtung in allen Bereichen vor allem durch den technischen Fortschritt. Durch moderne

[122] Vgl. Horx (2010), S. 3
[123] Vgl. Horx (2010), S. 3
[124] Vgl. Fuchs (o.J.)
[125] Vgl. Bundeszentrale für politische Bildung (2013)

Kommunikationstechnologien ist ein weltweiter Informationsaustausch möglich. Die Entwicklung des Transportwesens sowie die computergestützte Logistik ermöglichen Unternehmen darüber hinaus überall auf der Welt, die für sie günstigsten Produktionsstandorte zu wählen. Als Ergebnis steigt die Anzahl der multinationalen Unternehmen.[126] Die steigende Anzahl der transnationalen Unternehmen ist ein Indikator für die fortschreitende Globalisierung.

5.2.2.2 Neue Arbeitswelt

Die Neue Arbeitswelt ist das Ergebnis eines Strukturwandels, der neue Arbeitsformen und Beschäftigungsverhältnisse hervorbringt. Ein zukünftiger wichtiger Faktor wird das lebenslange Lernen sein, da in der heutigen Gesellschaft Qualifikationen und Erfahrungen schnell bedeutungslos und veraltet sein können.[127] Merkmal dieses Strukturwandels ist u. a. , dass immer weniger Zeit benötigt wird, um die gleiche Menge an Gütern zu produzieren. Während 1991 in Deutschland neun Millionen Menschen einen Umsatz in der Industrie von 225 Millionen DM erwirtschafteten wurden 1996 mit gerade mal 6,6 Millionen Erwerbstätigen ein Umsatz von 320 Millionen DM erbracht. Weiterhin prägen auch die sinkenden Arbeitskosten, die zunehmenden Bildungsanstrengungen und technologischen Entwicklungen die zukünftige Arbeitswelt.[128]

5.2.2.3 Individualisierung

Der Megatrend Individualisierung ist einer der zentralen Treiber in der Industrie 4.0. Individualisierung wird beschrieben als Prozess der Ablösung der typischen industrie-gesellschaftlichen Lebensformen durch postindustrielle Werte der Selbstbestimmung in Folge eines verbesserten Lebensstandards, weitgehend sozialer Sicherheit und neuartigen Lebenschancen.[129] Ein wesentlicher Treiber der Individualisierung ist neben dem steigenden Wohlstand in vielen Ländern, der den Menschen ein hohes Maß an Wahlmöglichkeiten in ihrer Lebensführung und - gestaltung erlaubt, das Internet.[130] Es bietet zahlreiche Möglichkeiten des Selbstausdrucks, bspw. als Autor eines Blogs, als Anbieter eigens gefertigter Handwerksprodukte oder als Jungdesigner von Unikaten. Die Veränderungen auf gesellschaftlicher Ebene spiegeln sich auch auf ökonomischer Ebene wider. Es kommt zunehmend zu einer Ausdifferenzierung der Märkte, an deren Ende das personalisierte Produkt steht. Experten sprechen von der nächsten industriellen Revolution. Stichwörter sind Fabbing oder Rapid Prototyping. Gemeint ist das Drucken von individuellen Produkten mittels des 3D-Druckers.[131]

5.2.2.4 Konnektivität

Konnektivität definiert die Organisation der Menschheit in Netzwerken neu. Über das „Internet der Dinge“ kommunizieren nicht mehr nur Menschen, sondern auch Maschinen miteinander.[132] Der deutlichste Indikator für die Ausweitung der Konnektivität ist die stetige Zunahme der Internetnutzer. Diese betrug im Jahr 2015 2,33 Milliarden Nutzer und sollen bis 2019 auf 3,22 Milliarden Nutzer ansteigen.[133]

---

[126] Vgl. Fuchs (o.J.)
[127] Vgl. Weber (2007)
[128] Vgl. Weber (2007)
[129] Vgl. Zukunftsinstitut (2012)
[130] Vgl. Zukunftsinstitut (2012)
[131] Vgl. Zukunftsinstitut (2012)
[132] Vgl. Zukunftsinstitut (o.J.)
[133] Datenquelle: Statista (2015)

Wichtige Aspekte im Zusammenhang mit dem Megatrend Konnektivität sind Transparenz und Partizipation. Transparenz gibt den Unternehmen die Möglichkeit, ein positives Image aufzubauen und die Loyalität der Kunden gegenüber dem Unternehmen zu steigern.[134] Partizipation und Kollaboration geben dem Unternehmen die Chance Wettbewerbsvorteile generieren zu können. So hat internationale Zusammenarbeit, insbesondere vertikale einen positiven Effekt auf die Innovationskraft der Unternehmen.[135]

5.2.2.5 Künstliche Intelligenz

Der Megatrend künstliche Intelligenz wird durch technische Innovationen vorangetrieben. War einst nur eine Kommunikation zwischen Menschen per Telefon möglich und später auch die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine, so sollen in Zukunft auch Maschinen untereinander kommunizieren können. Voraussetzung ist die Vernetzung dieser elektronischen Systeme sowie die Entwicklung von Mechanismen, die es Maschinen oder Computer ermöglicht, intelligentes Verhalten zu entwickeln.[136]

Die sogenannten Smart Player enthalten Mikrochips, Sensoren und Funkmodule und werden in ein Kommunikationsnetz eingebunden. Den Schlüssel zur Eigenständigkeit von Gegenständen liefert die RFID-Technologie. Sie macht die Dinge „intelligent“ und „kommunikationsfähig“.[137] Aktuelle Anwendungsgebiete der künstlichen Intelligenz sind u. a. die Medizin, wo bestimmte Operationsabschnitte von Roboter ausgeführt werden. Auch in Produktionsstraßen finden Roboter Anwendung in zahlreichen Produktionsschritten bspw. beim Schweißen oder Lackieren.[138]

5.2.2.6 Nachhaltigkeit

In den letzten Jahren stieg die Nachfrage nach nachhaltig produzierten Waren und Dienstleistungen stetig an. Als wichtigster Auslöser für das gesteigerte Interesse an Umwelt- und Sozialthemen sind der u. a. der Klimawandel und die Preisinstabilität bei Rohstoffen sowie die Ressourcenknappheit. Durch diesen Bewusstseinswandel hat sich die Gruppe der LOHAS („Lifestyle of Health and Sustainability“) vergrößert. LOHAS bezeichnet eine Gruppe von Menschen, die ein hohes Ausbildungsniveau haben sowie eine starke Kaufkraft.[139] Nachhaltiger Konsum ist derzeit im Trend. Die Qualität und Langlebigkeit der Produkte sowie Transparenz bezüglich ihrer Herstellung stehen im Fokus.

Auch immer mehr Unternehmen schlagen den Pfad zur Nachhaltigkeit ein. Es rückt zunehmend der Gedanke in den Vordergrund, dass Unternehmen neben einer ökonomischen auch eine ökologische und soziale Verantwortung haben.[140] Nachhaltigkeit wird in den kommenden Jahren in der Unternehmensstrategie verankert sein müssen, um den langfristigen Erfolg eines Unternehmens weiterhin gewährleisten zu können. Aus einer Schweizer Studie aus dem Jahr 2014 geht hervor, dass 80% der Unternehmen Nachhaltigkeit zukünftig als integralen Bestandteil der Unternehmensstrategie ansehen.[141]

---

[134] Vgl. Zukunftsinstitut (o.J.)
[135] Vgl. Zukunftsinstitut (2012)
[136] Vgl. Wichert (o.J.)
[137] Herrmann (2015)
[138] Vgl. Kern und Neumayer (2016)
[139] Vgl. One Sustainability (2010)
[140] Vgl. Lanxess (o.J.)
[141] Datenquelle: Statista (2014)

5.2.3 Soziokulturelle Trends und Konsumententrends:

Der Megatrend Konsumwandel beschreibt Wandlungen der Verbrauchergewohnheiten und des Konsumverhaltens. Die Konsumgesinnung tendiert zur zunehmenden Freizeitorientierung, einer abnehmenden Bedeutung materieller Werte sowie einer zunehmenden Tendenz zur Individualisierung.[142] Dieser Wertewandel spiegelt sich in den Bewegungen „Maker Movement“ und „Nutzen statt Besitzen“ wider.

Nutzen statt Besitzen

Diese Bewegung wird durch den technischen Wandel vorangetrieben. Die zunehmende Internetverbreitung und neue Kommunikationstechnologien ermöglichen die Nutzung von Konsumgütern mittels Plattformen auf denen Güter getauscht, geleast, geliehen oder gemietet werden können. Der Besitz ist somit nicht länger Voraussetzung für die Nutzung eines Konsumguts. Es werden hierbei zwei Konsumpraktiken unterschieden.[143] Zum einen gibt es den eigentumsbasierten Konsum, welcher vorsieht gebrauchte Güter wieder zu verkaufen oder zu tauschen. Genutzt werden können hierfür u. a. die Portale Ebay-Kleinanzeigen oder Kleiderkreisel. Die zweite Alternative ist der eigentumsersetzende Konsum. Hier wird das Produkt nicht erworben, sondern gemietet, geliehen, geleast oder geteilt. Beispiele hierfür sind im Business-to-Customer Bereich (B2C) das Modell des Car- oder Bike-Sharing. Gegen eine monatliche entrichtete Grundgebühr kann das Auto oder Fahrrad nach Belieben genutzt werden, ohne der Eigentümer zu sein.[144] Auch im Business-to-Business-Sektor (B2B) hat sich die „Nutzen statt Besitzen“-Bewegung bewährt. Immer mehr Lieferanten neigen dazu, den Kunden ihre Dienste in Form von Service- oder Dienstleistungen anzubieten. Ein bekanntes Beispiel ist das Unternehmen Rolls Royce, welches Triebwerke für die Luftfahrtindustrie herstellt. Rolls Royce verkauft die Turbinen nicht mehr, sondern bietet Leistungspakete mit festgelegter Maschinenlaufzeit an. Die Turbinen werden demnach an Linien- und Charterfluggesellschaften vermietet. Das Leistungspaket beinhaltet ebenfalls die gesamte Wartung.[145] Derzeit betreibt Rolls Royce 2200 Turbinen allein in Deutschland.[146]

Maker Movement

Diese Bewegung bezeichnet die Verschmelzung der Grenzen zwischen Konsumenten und Produzenten. Ein Prosument ist nach dem Gabler Wirtschaftslexikon ein Konsument, der zugleich Produzent ist oder auch ein Produzent der gleichzeitig als Konsument auftritt.[147] Der Begriff Prosumer wurde von dem Zukunftsforscher Alvin Toffler in den 80ern geprägt.[148] Der Prosumer gestaltet aktiv seine Produkte durch das Einbringen seiner eigenen Arbeitsleistung und Kreativität in den Produktionsprozess. Als Enabler für Mass Customization ist das Internet zu nennen. [149] Weiterhin findet die 3D-Druck-Technologie in der Maker Movement Bewegung große Akzeptanz.

[142] Vgl. Wirtschaftslexikon (o.J.)
[143] Vgl. Gossen (2013)
[144] Vgl. Gossen (2013)
[145] Vgl. Ingenieur 360 (2013)
[146] Vgl. Skyfuture (o.J.)
[147] Vgl. Bendel (o.J.)
[148] Vgl. Fuhlhage (2009)
[149] Vgl. Fuhlhage (2009)

5.2.4 Einflussbereiche und Treiber von Distributed Manufacturing

Mit Hilfe der analysierten Trends und den Ergebnissen aus der bibliometrischen Analyse (speziell derer aus den Wissensbasen und Forschungsfronten) aus Kapitel 3 konnten für das Themengebiet *Distributed Manufacturing* die drei Einflussbereiche Technologie, Ökonomie und Gesellschaft identifiziert werden. Jeder dieser Einflussbereiche kann durch Einflussfaktoren näher beschrieben werden.

Im nächsten Schritt werden die entscheidenden Einflussfaktoren, auch Schlüsseltreiber genannt, mit Hilfe der Systemanalyse ermittelt.

Diese Systemanalyse besteht aus drei Teilen (vgl. Abbildung 26).

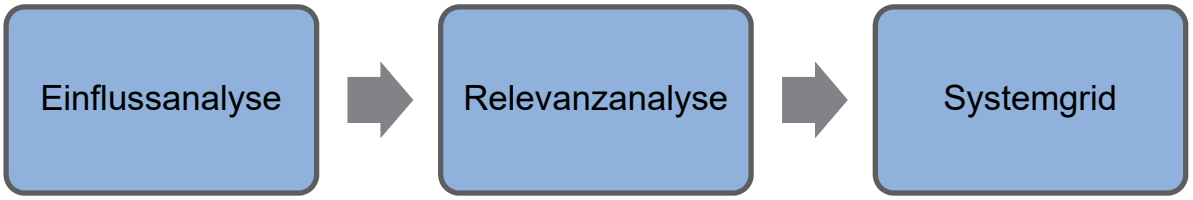


Abbildung 26: Systemanalyse

Einflussanalyse

Der erste Schritt der Systemanalyse ist die Durchführung einer Einflussanalyse. Ziel dieser Analyse ist herauszufinden, welche Treiber eine hohe Systemrelevanz haben. Dazu werden die ermittelten Treiber/Einflussfaktoren in eine Einflussmatrix eingetragen. Anschließend werden diese paarweise miteinander verglichen. Die Bewertungsskala der Matrix liegt dabei zwischen 0 und 3 und hat folgende Bedeutung: 0 = kein Einfluss, 1 = geringer Einfluss, 2 = starker Einfluss, 2 = sehr starker Einfluss. Nach einem Vergleich der einzelnen Treiber werden die Ergebnisse zu Aktiv- und Passivsummen zusammengefasst. Die Aktivsumme gibt an, wie hoch der Einfluss eines Treibers auf andere Treiber ist. Die Passivsumme zeigt die Stärke der Beeinflussbarkeit eines Treibers durch andere Treiber. Die bewertete Einflussmatrix wird in nachfolgender Tabelle 6 dargestellt.

Einfluss auf... / Einflussmatrix / Einfluss von…		Agent-based Systems	Cloud Manufacturing	Neue Produktionstechnologien	Industrie 4.0	Internationaler Wettbewerb	Vernetzung	Individualität	Online Handel	**Aktivsumme**
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Agent-based Systems		3	2	1	1	3	2	0	12
2	Cloud Manufacturing	3		3	2	1	3	2	0	14
3	Neue Produktionstechnologien	3	3		2	1	2	1	0	12
4	Industrie 4.0	3	3	3		2	3	1	1	16
5	Internationaler Wettbewerb	3	3	3	2		2	1	2	16
6	Vernetzung	2	3	2	3	2		0	3	15
7	Individualität	3	2	1	1	1	0		2	10
8	Online Handel	0	2	1	0	2	2	3		10
Passivsumme		17	19	15	11	10	15	10	8	

Tabelle 6: Einflussmatrix

Die Einflussmatrix zeigt, dass die Treiber Industrie 4.0, Internationaler Wettbewerb, Vernetzung und Cloud Manufacturing den größten Einfluss auf andere Treiber haben. Die Treiber die stark von anderen Treibern beeinflusst werden sind vor allem Cloud Manufacturing, agentenbasierte Systeme, Neue Produktionstechnologien und Vernetzung. Diese Treiber wurden bereits in der bibliometrischen Analyse als wichtige aktuelle Forschungsthemen im Themenfeld *Distributed Manufacturing* analysiert.

Relevanzmatrix

Der zweite Schritt der Systemanalyse ist die Durchführung einer Relevanzanalyse. Ziel ist es erneut herauszufinden welche Treiber/Einflussfaktoren eine hohe Systemrelevanz für das Distributed Manufacturing haben. Hierzu findet ebenfalls ein paarweiser Vergleich der Treiber statt. Ist ein Treiber im direkten Vergleich wichtiger als ein anderer Treiber so erhält er eine eins. Analog dazu erhält er die Null, wenn er unwichtiger für das Distributed Manufacturing ist. Die Ergebnisse werden im Anschluss in einer Relevanzsumme zusammengefasst. Die Relevanzmatrix der Analyse sieht dazu wie folgt aus (vgl. Tabelle 7).

	… als Einflussfaktor j ? **Relevanzmatrix** ist Einflussfaktor i wichtiger …	Agent-based Systems	Cloud Manufacturing	Neue Produktionstechnologien	Industrie 4.0	Internationaler Wettbewerb	Vernetzung	Individualität	Online Handel	**Relevanzsumme**
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Agent-based Systems		0	1	1	1	0	0	1	4
2	Cloud Manufacturing	0		1	1	1	0	0	1	4
3	Neue Produktionstechnologien	0	0		1	1	0	0	1	4
4	Industrie 4.0	0	0	0		1	0	0	1	2
5	Internationaler Wettbewerb	0	0	0	0		0	0	1	1
6	Vernetzung	1	1	1	1	1		1	1	7
7	Individualität	1	1	1	1	1	0		1	6
8	Online Handel	0	0	0	0	0	0	0		0

Tabelle 7: Relevanzmatrix

Die Relevanzmatrix zeigt, dass die Treiber Vernetzung, Individualität, agentenbasierte Systeme, Cloud Manufacturing und Neue Produktionstechnologien für das Distributed Manufacturing am bedeutsamsten sind. Ebenfalls in der bibliometrischen Analyse wurde deren Bedeutung für das Thema *Distributed Manufacturing* identifiziert.

Systemgrid

Im letzten Schritt werden die Treiber nach dem Grad des Einflusses auf das Gesamtsystem bewertet. Dazu werden die Ergebnisse der Einflussmatrix und der Relevanzmatrix in einem Systemgrid eingetragen. Die Passivsummen der Treiber werden hierzu auf die X-Achse abgetragen und die Aktivsummen auf die Y-Achse. Je größte die Relevanz eines einzelnen Treibers, desto größter ist der Kreisdurchmesser. Das Systemgrid ist insgesamt in 4 Teilbereiche eingeteilt. Treiber die von besonderer Bedeutung sind weisen sowohl hohe Aktiv- und Passivsummen also auch eine hohe Relevanzsumme auf.

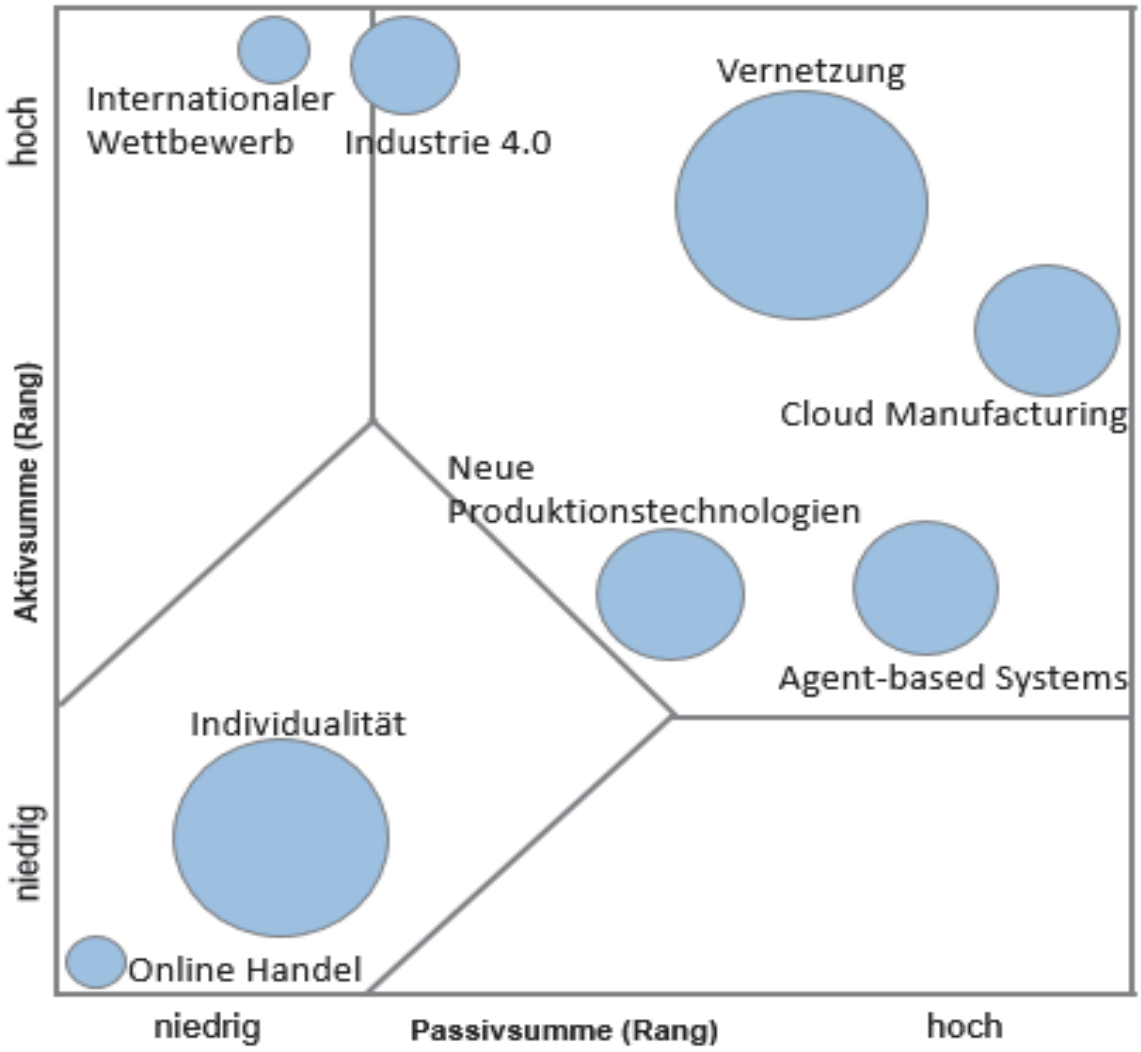


Abbildung 27: Systemgrid

Das Systemgrid aus Abbildung 27 zeigt die Schlüsseltreiber Vernetzung, Cloud Manufacturing, agentenbasierte Systeme, Industrie 4.0, Neue Produktionstechnologien und Individualität die für das Thema *Distributed Manufacturing* von großer Bedeutung sind. Diese werden in Tabelle 8 übersichtlich dargestellt.

Einflussbereich	Technologie	Ökonomie	Soziokultur
Treiber	Agentenbasierte Systeme	Industrie 4.0	Individualität
	Cloud Manufacturing	internationaler Wettbewerb	Online Handel
	Neue Produktionstechnologien	Vernetzung	

Tabelle 8: Schlüsseltreiber

5.3 Deskriptoren und Projektionen

Zusammenfassung

Zu den hier betrachteten Projektionen gehören u. a. die weltweite, stetig exponentiell wachsende Anzahl der mit dem Internet verbundenen Geräte, die steigenden Investitionen in Industrie 4.0 und der zunehmende Einsatz von industriellen 3D-Druckern.

Die in Kapitel 5.2 ermittelten Schlüsseltreiber wie neue Produktionstechnologien, Vernetzung und Online-Handel werden mittels von Deskriptoren quantifiziert, wie z. B. die Anzahl der E-Commerce Nutzer für den Treiber Online-Handel. Die Deskriptoren werden anschließend in die Zukunft projiziert. Anhand dieser Projektionen können der weitere Verlauf von Trends fest gemacht werden.

5.3.1 Deskriptoren

Die ermittelten Schlüsseltreiber werden in diesem Kapitel in quantifizierbare Deskriptoren übersetzt. Die Deskriptoren basieren hierbei auf zentralen Ergebnissen der bibliometrischen Analyse, den Ergebnissen aus Kapitel 4.2 sowie weiterer Internetrecherche. Für jeden Deskriptor werden Projektionen, also mögliche zukünftige Entwicklungsrichtungen in den nächsten zwanzig Jahren, abgeleitet und in einem Projektionskatalog festgehalten. In Tabelle 9 werden die auf Basis der Schlüsseltreiber entwickelten Deskriptoren dargestellt. Als Input für die Deskriptoren dienen u. a. die Ergebnisse aus der bibliometrischen Analyse der Wissensbasen und der Forschungsfronten.

Einflussbereich	Treiber	Deskriptor 1	Deskriptor 2
Technologie	Agentenbasierte Systeme	Anzahl der Publikationen zum Thema agentenbasierte Systeme	Zahl der Patente für agentenbasierte Systeme
	Cloud Manufacturing	Marktgröße von Cloud-Anwendungen weltweit	Globale Cloudnutzung
	Neue Produktionstechnologien	Weltweiter Umsatz von industriellen 3D-Druckern	Anzahl der Publikationen zum Thema *Distributed Manufacturing* Systeme
Ökonomie	Industrie 4.0	Investitionen in Industrie 4.0 in Deutschland	Weltweiter Umsatz mit vernetzten Geräten
	Internationaler Wettbewerb	Anzahl der Unternehmen in Deutschland	Existenzgründungen Deutschland
	Vernetzung	Anteil der weltweit mit dem Internet verbundenen Geräte	Anzahl der Breitbandanschlüsse im Festnetz in Deutschland
Soziokultur	Individualität	Anzahl der Publikationen zum Thema Mass Customization	
	Online Handel	Anteil E-Commerce am weltweiten Umsatz des Einzelhandels	Anzahl E-Commerce Nutzer

Tabelle 9: Schlüsseltreiber und Deskriptoren

5.3.2 Projektionskatalog

Im Folgenden werden die einzelnen Deskriptoren sowie ihre jeweiligen Projektionen detailliert beschrieben. Hierzu wird jeder Deskriptor anhand von ausgewählten Statistiken quantifiziert. Die Statistiken zeigen Entwicklungen aus der Vergangenheit sowie Prognosen für die zukünftige Entwicklung. Ziel der Quantifizierung der Deskriptoren ist es, einen Überblick über die aktuelle Ausgangslage zu gewinnen um darauf aufbauend mögliche Entwicklungsrichtungen abzuleiten.

5.3.2.1 Schlüsseltreiber 1: agentenbasierte Systeme

Deskriptor 1: Anzahl der Publikationen zum Thema agentenbasierte Systeme

Projektion 1: Schwankend

Der Publikationsverlauf zum Thema „agent-based“ ist schwankend. Vor allem bei neuen Technologien wie dem Internet der Dinge, die sich auf das Thema adaptieren lassen, steigt das Interesse der Wissenschaft erneut. In den letzten Jahren gab es keine neuen Technologien mehr, die für agent-based anwendbar sind. Folglich sinkt auch das Interesse der Autoren.

Projektion 2: Mäßig steigend

Agentenbasierte Systeme gewinnen an Bedeutung für die Autoren. Vor allem durch ein steigendes Interesse der Unternehmen an Künstlicher Intelligenz werden computergestützte Modelle sowie Simulation immer bedeutender. Nach wie vor ist dieses Thema jedoch sehr komplex und umfangreich, weshalb sich bisher nur wenige Autoren mit diesem Themengebiet befassen.

Projektion 3: Exponentiell abnehmend

Das Forschungsinteresse am Thema agentenbasierte Systeme sinkt. Die Thematik ist weitestgehend komplett erforscht. Die agentenbasierten Technologien werden in den nächsten Jahren von den Unternehmen umgesetzt und in den Produktionsprozess implementiert.

Deskriptor 2: Anzahl der Patentanmeldungen

Projektion 1: Schwankend

Die Zahl der Patentanmeldungen für agentenbasierte Systeme ist schwankend. Unternehmen forschen vermehrt an diesem Thema, wenn neue relevante Technologien, wie etwa der 3D-Druck oder das Internet der Dinge, aktuell sind. Je nachdem steigen oder fallen die Investitionen in die Forschung und Entwicklung und somit auch die Zahl der Patente.

Projektion 2: Exponentiell steigend

Die Zahl der Patentanmeldungen für agentenbasierte Systeme steigt. Durch enorme Prozess- und Kostenvorteile entscheiden sich immer mehr Unternehmen für den Einsatz von agentenbasierten Systemen. Auch die Forschung- und Entwicklungsabteilungen der einzelnen Unternehmen befassen sich vermehrt mit der Optimierung der Systeme.

Projektion 3: Exponentiell abnehmend

Die Zahl der Patentanmeldungen für agentenbasierte Systeme nimmt ab. Da das Thema bereits intensiv beforscht wurde, steigen die Kosten der Forschung während die Anzahl der daraus resultierenden Patente fällt. Viele Unternehmen entscheiden sich deshalb ihr Budget in andere Forschungsgebiete zu investieren.

5.3.2.2 Schlüsseltreiber 2: Cloud Manufacturing

Deskriptor 1: Weltweite Marktgröße von Cloudanwendungen in den Jahren 2013 bis 2019

Projektion 1: Linear steigend

Der Trend zur Nutzung von Cloudanwendungen hält an. Vor allem die kostengünstige Verfügbarkeit sowie ein standortunabhängiger Zugriff machen die Cloudnutzung sowohl für Unternehmen als auch für Privatnutzer zunehmend interessant. Dies führt dazu, dass Daten künftig häufiger in Cloudanwendungen gespeichert werden.

Projektion 2: Zunächst linear stark steigend anschließend konstant

Die Nachfrage nach Cloudlösungen steigt zunächst an. Nachdem es aber vermehrt zu Hackerangriffen, vor allem auf sensible Daten, kommt, reagieren die Menschen zunehmend empfindlicher auf das Thema Datenschutz. Da sich Cloudanwendungen jedoch bereits stark etabliert haben, bleibt die Nachfrage konstant hoch.

Projektion 3: Zunächst konstant anschließend linear abnehmend

Cloudanwendungen sind bereits ein fest etablierter Bestandteil der Informationstechnologie. Enthüllungen über gestohlene Daten sowie Datenschutzlücken in Cloudanwendungen verstärken die Nachfrage nach sicheren Speichermöglichkeiten. Folglich entscheiden sich immer mehr Menschen für lokale Speicherungsmedien, wodurch die Nachfrage nach Cloudanwendungen sinkt.

Deskriptor 2: Wachstum der globalen Cloudnutzung weltweit in den Jahren 2014 bis 2019

Projektion 1: Linear steigend

Das weltweite Interesse der Menschen, eine eigene Cloud zu nutzen, steigt an. Konventionelle Speicherungsmethoden wie etwa Festplatten werden alternativlos durch die Cloud ersetzt. Alle Daten und Informationen die ein Mensch besitzt werden automatisch in seiner privaten Cloud abgespeichert worauf er jederzeit zugreifen kann. Durch eine intelligente Vernetzung der Clouds untereinander ist es jeder Person möglich, auch auf Daten und Informationen anderer zuzugreifen.

Projektion 2: Zunächst stark steigend anschließend konstant

Durch die einfache und kostengünstige Möglichkeit, seine Daten und Informationen abzuspeichern, steigt das weltweite Interesse der Menschen an der Cloudnutzung stark an. Immer mehr Menschen nutzen Cloudanwendungen. Aufgrund der weltweit steigenden Mengen von Daten, die in Clouds gespeichert werden, bleibt die Nachfrage nach Cloudlösungen konstant hoch.

Projektion 3: Zunächst leicht steigend anschließend stark abnehmend

Die Cloudnutzung stört die Nutzer zunehmend. Aufgrund der steigenden Sicherheitsrisiken wie bspw. Hackerangriffe steigen viele Cloudnutzer wieder auf lokale Speicherungsmedien um, die sich in der Vergangenheit als sicher bewährt haben.

5.3.2.3 Schlüsseltreiber 3: Neue Produktionstechnologien

Deskriptor 1: Weltweiter Umsatz von industriellen 3D-Druckern

Projektion 1: Linear steigend

Neue Produktionstechnologien wie etwa der 3D-Druck nehmen stark zu. Durch immer kostengünstigere Modelle ist es selbst für kleinere Unternehmen möglich, sich eigene 3D-Ducker leisten zu können. Dieser Effekt beschleunigt die Innovationsfindung, woraus wiederum neue Produktionstechnologien entstehen.

Projektion 2: Zunächst stark linear steigend anschließend konstant

Neue Produktionstechnologien wie der 3D-Druck versprechen neue Möglichkeiten bei der individuellen Herstellung von Produkten. Nach einem anfänglichen Hype um diese Technologie ist der Markt zunehmend gesättigt und die Nachfrage nach dieser Technologie bleibt konstant.

Projektion 3: Zunächst konstant anschließend stark abnehmend

Der 3D-Druck ist in den Unternehmen bereits fest etabliert und nicht mehr wegzudenken. Durch die enorme Zunahme von Sicherheitsrisiken und dem Wunsch der Kunden, Produkte auf eine konventionelle Fertigungsweise herzustellen, bricht der Umsatz von 3D-Druckern ein.

Deskriptor 2: Anzahl der Publikationen zum Thema Distributed Manufacturing Systeme

Projektion 1: Schwankend

Das Thema *Distributed Manufacturing* Systeme wird von neuen Technologien geprägt. Durch den Einsatz von bspw. dem Internet der Dinge oder dem 3D-Druck ergeben sich für das Distributed Manufacturing neue Möglichkeiten womit auch das Interesse der Autoren an diesem Thema steigt oder fällt.

Projektion 2: Zunächst stark steigend anschließend abnehmend

Neue Technologien wie das Internet der Dinge treiben das Interesse der Autoren zum Thema *Distributed Manufacturing* Systeme zunächst stark in die Höhe. Nachdem alle Möglichkeiten des Distributed Manufacturing ausgeschöpft sind und keine weiteren interessanten Technologien hinzukommen, sinkt das Interesse der Autoren und dementsprechend auch die Anzahl der Publikationen.

Projektion 3: Linear abnehmend

Durch die vollständige Erforschung des Themengebiets *Distributed Manufacturing*. Die Technologie ist vorhanden und kann nun in den Unternehmen implementiert werden.

5.3.2.4 Schlüsseltreiber 4: Industrie 4.0

Deskriptor 1: Investitionen in Industrie 4.0 in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2020

Projektion 1: Investitionen steigen exponentiell an

Die Investitionen in Industrie 4.0 steigen stark an. Alle Maschinen sind miteinander verknüpft und kommunizieren miteinander.

Projektion 2: Investitionen steigen linear an

Die Investitionen steigen im Bereich Industrie 4.0 weiterhin an. Dennoch gibt es konservative Unternehmen, die nicht Industrie 4.0 in ihre Geschäftsprozesse integrieren.

Projektion 3: Investitionen nehmen stark ab

Nach anfänglichen Investitionen kann Industrie 4.0 in der Produktion nicht überzeugen. Die Investitionen nehmen stark ab.

Deskriptor 2: Prognose zum weltweiten Umsatz mit vernetzten Geräten bis zum Jahr 2020

Projektion 1: Umsatz mit vernetzten Geräten wächst exponentiell

Durch die Implementierung von vernetzten Geräten in allen Bereichen der Gesellschaft und Wirtschaft ist der Umsatz mit vernetzten Geräten weltweit stark angestiegen. Zukünftig werden alle Geräte miteinander vernetzt sein.

Projektion 2: Umsatz mit vernetzten Geräten steigt linear

Die Anzahl der vernetzten Geräte steigt weiterhin an. Es gibt jedoch nach wie vor eine Gegenbewegung von Menschen und Unternehmen, die sich der zunehmenden Vernetzung entziehen.

Projektion 3: Umsatz mit vernetzten Geräten bleibt konstant

Der künftige Umsatz mit vernetzten Geräten nimmt nicht zu. Während die Industrienationen einen Rückgang im Umsatz mit vernetzten Geräten verzeichnen, nimmt die Vernetzung in den Schwellenländern zu.

5.3.2.5 Schlüsseltreiber 5: Internationaler Wettbewerb

Deskriptor 1: Anzahl der Unternehmen in Deutschland

Projektion 1: Anzahl der Unternehmen steigt mäßig

Die Zahl der Unternehmen in Deutschland nimmt aufgrund der zunehmenden Vernetzung zu. Kleineren Unternehmen wird der Markteintritt durch Crowdfunding und Crowdsourcing über die sozialen Netze sowie dem E-Commerce vereinfacht.

Projektion 2: Anzahl der Unternehmen nimmt stark zu

Die Anzahl der Unternehmen in Deutschland nimmt stark zu. Durch erhebliche Verbesserungen in den Technologien Cloud Manufacutring und 3D-Druck, entstehen viele Kleinstunternehmen in den Garagen, die sich der Produktion von alltäglichen Dingen widmen.

Projektion 3: Anzahl der Unternehmen nimmt ab

Die Anzahl der Unternehmen in Deutschland ist rückläufig. Grund dafür ist, dass die Konsumenten nach Sicherheit streben und kein zusätzliches, unnötiges Risiko eingehen wollen.

Deskriptor 2: Anzahl Existenzgründungen in Deutschland

Projektion 1: Anzahl der Unternehmensgründungen schwankend

Existenzgründungen in Deutschland folgen keinem klaren Muster.

Projektion 2: Anzahl der Neugründungen steigen mäßig

Die zunehmende Vernetzung ermutigt den Weg in die Selbstständigkeit einzuschlagen. Doch nur wenige innovative Geschäftsideen können das nötige Kapital generieren.

Projektion 3: Anzahl der Neugründungen gehen zurück

Die Anzahl der Existenzgründungen gehen in Deutschland leicht zurück. Aufgrund der vielen Wettbewerber am Markt wagen weniger Menschen den Schritt in die Selbständigkeit.

5.3.2.6 Schlüsseltreiber 6: Vernetzung

Deskriptor 1: Geschätzter Anteil der weltweit mit dem Internet verbundenen Geräte

Projektion 1: Anzahl exponentiell steigend

Die Anzahl der mit dem Internet verbundenen Geräte nimmt weiterhin stark zu. Zukünftig werden alle Geräte mit dem Internet verbunden sein.

Projektion 2: Anzahl bleibt konstant

Die Anzahl der mit dem Internet verbundenen Geräte nimmt vorerst zu. Bald werden aber nahezu alle verfügbaren Geräte mit dem Internet verbunden sein, sodass sich die Marktsättigung einstellt.

Projektion 3: Anzahl nimmt ab

Nach einem Skandal flacht die Anzahl der mit dem Internet verbundenen Geräte ab. Es bildet sich eine Bewegung „bewusst offline“ heraus.

Deskriptor 2: Anzahl der Breitbandanschlüsse in Deutschland

Projektion 1: Anzahl steigen exponentiell

Der weitere Ausbau der digitalen Infrastruktur mittels Breitbandanschlüsse in Deutschland nimmt stark zu. Jeder Haushalt und jedes Unternehmen wird in Zukunft Zugriff auf einen Breitbandanschluss haben.

Projektion 2: Anzahl steigt linear

Die Zunahme an Breitbandanschlüssen in Deutschland hält weiter an. Gerade Unternehmen sind an den Ausbau der digitalen Infrastruktur interessiert.

Projektion 3: Anzahl bleibt konstant

Die vorhandenen Breitbandanschlüsse werden in Zukunft weiterhin genutzt allerdings wird nicht weiter in den Ausbau der digitalen Infrastruktur investiert.

5.3.2.7 Schlüsseltreiber 7: Individualität

Deskriptor 1: Anzahl der Publikation zu Mass Customization

Projektion 1: Schwankungen

Zum Thema Mass Customization wird weiterhin rege publiziert. Allerdings hängt die Anzahl der Publikationen von der Relevanz der Aktualität des Themas stark ab. So gibt es in der Gesellschaft immer mal wieder eine Tendenz zur Individualität und somit eine vermehrte Nachfrage nach individuellen Produkten.

Projektion 2: starkes Wachstum dann Abnahme

Der Trend zur Individualität nimmt weiter zu. Nachdem das Thema Mass Customization vollständig erforscht ist, nimmt Anzahl der Publikationen rapide ab.

Projektion 3: Abnahme der Publikationen

Nach dem Hype um die Individualisierung wurde das Thema Mass Customization vollständig erforscht und kann nun im Produktionsprozess der Unternehmen beachtet werden.

5.3.2.8 Schlüsseltreiber 8: Online-Handel

Deskriptor 1: E-Commerce Umsatz im Einzelhandel weltweit in den Jahren 2012 bis 2018

Projektion 1: exponentielle Zunahme

Zukünftig steigt der Umsatz des E-Commerce weiter an. Allerdings gibt es immer noch Menschen, die den normalen Einzelhandel bevorzugen. Dieser bleibt weiterhin neben dem E-Commerce bestehen.

Projektion 2: Starke Zunahme

Der Umsatz des E-Commerce nimmt stark zu. Er wird den normalen Einzelhandel verdrängen.

Projektion 3: Abnahme

Der Umsatz des E-Commerce nimmt ab. Die Gesellschaft tendiert dazu, die Produkte in lokalen Shops zu kaufen.

Deskriptor 2: Anzahl der E-Commerce-Nutzer weltweit in den Jahren 2014 bis 2020

Projektion 1: mäßige Zunahme der E-Commerce Nutzer

Die Anzahl der E-Commerce Nutzer steigt stetig an. Durch die Verbreitung des Internets haben immer mehr Menschen die Möglichkeit online einzukaufen. E-Commerce schafft es jedoch nicht, den lokalen Einzelhandel zu verdrängen. Besonders die ältere Generation tendiert weiterhin dazu sich die Produkte direkt im Geschäft anzuschauen und sich beraten zu lassen.

Projektion 2: starke Zunahme der E-Commerce Nutzer

Die Anzahl der Nutzer im Sektor E-Commerce nimmt stark zu. Durch technologische Innovationen im Bereich E-Commerce in Form von online 3D-Verkaufsberatung und 3D-Produktvorschau gelingt es, auch die ältere Generation für den Online Handel zu gewinnen. In Zukunft werden alle Einkäufe online erledigt.

Projektion 3: Abnahme der Anzahl

In Zukunft wird die Tendenz wieder zum lokalen Einzelhandel übergehen. Die Anzahl der E-Commerce Nutzer geht zurück. Der E-Commerce verliert an Bedeutung.

5.4 Alternativenbündelung

Zusammenfassung

Aus den abgeleiteten Projektionen werden drei verschiedene Projektionsbündel gebildet. Jedes Projektionsbündel stellt eines der Szenarien dar, die in Kapitel 5.5 näher beschrieben werden.

Das Ziel der Alternativenbündelung ist es, die in Kapitel 4.3 entwickelten Projektionen zu drei verschiedenen Szenarien zusammenzufassen. Die Abbildung 28 zeigt die verschiedenen Bündel zusammengefasst zu Szenarien des Themenbereichs *Distributed Manufacturing*. Zu beachten ist bei der Bündelung, dass die Voraussetzungen für methodisch richtig gebildete Szenarien erfüllt sind. Zu diesen Kriterien gehören größtmögliche Stimmigkeit, Konsistenz, Widerspruchsfreiheit, Stabilität und Unterschiedlichkeit.

Bei der Alternativenbündelung werden geeignete Ergebnisse aus den Forschungsfronten und Wissensbasen des Themenbereichs *Distributed Manufacturing* verwendet. Diese können mögliche Einflussbereiche widerspiegeln.

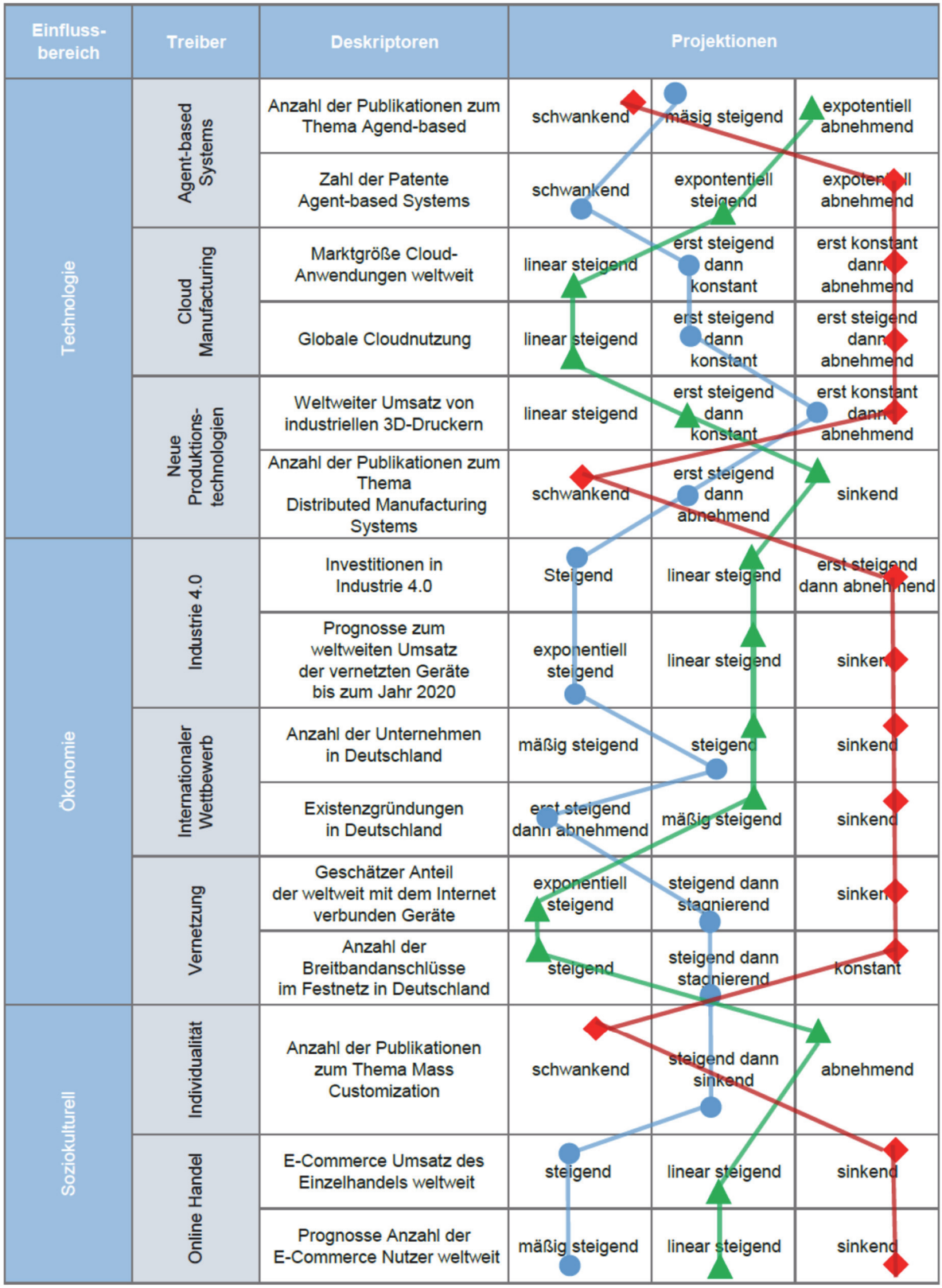


Abbildung 28: Alternativenbündelung Distributed Manufacturing

5.5 Beschreibung der Szenarien

Zusammenfassung

Das Szenario 1 „Die intelligente Vernetzung der Welt“ geht davon aus, dass im Jahr 2035 die komplette Welt vernetzt ist und alle verfügbaren Geräte mit dem Internet verbunden sind. Distributed Manufacturing hat sich als neues Produktionsverfahren vollständig etabliert. Es funktioniert über Echtzeitinformationen und ist durch die Vernetzung der Welt nicht mehr an einen Standort gebunden. Weitere leistungsstarke Technologien wie die Cloud-Technologie sind ein fester Bestandteil geworden. Unternehmen kommunizieren und arbeiten ausschließlich über die Cloud. Es wurden zudem weltweite einheitliche Standards geschaffen, die eine dezentrale Produktion ermöglichen.

Szenario 2 „Eine Welt wächst zusammen“ beschreibt einen fortschreitenden Prozess der Vernetzung. Viele Unternehmen greifen auf neue Produktionssysteme zurück. Eine vollständige Integration der neuen Produktionssysteme ist allerdings noch nicht möglich. Der Online-Handel gewinnt zunehmend an Bedeutung und es ist absehbar, dass in naher Zukunft der Großteil des Vertriebs der Unternehmen über den E-Commerce abgewickelt wird. Erste Unternehmen erkennen die Chance Wettbewerbsvorteile generieren zu können durch die Nutzung des 3D- Drucks und der Cloud-Technologie.

In Szenario 3 „Die Vorboten des Mad Max“ leben 10 Milliarden Menschen auf der Welt. Erste Versorgungsnotstände sind aufgrund der Knappheit von nicht erneuerbaren Ressourcen ausgebrochen. Andauernde Energieversorgungsprobleme führen zu Produktionsausfällen. Die Umorganisierung der Gesellschaft führt zu einer sinkenden Vernetzung. Die Technologie des 3D-Drucks, die eine ressourcenschonende Produktion von Gütern ermöglicht, gewinnt in dieser Zeit jedoch an Bedeutung.

Das Ergebnis dieses Kapitels ist die Beschreibung eines positiven Extremszenarios „Die intelligente Vernetzung der Welt“, eines Trendszenarios „Eine Welt wächst zusammen“ und eines negativen Extremszenarios „Die Vorboten des Mad Max“ als Vorausschau auf das Jahr 2036 in Bezug auf das Themengebiet *Distributed Manufacturing*.

5.5.1 Szenario 1: Die intelligente Vernetzung der Welt

Es ist ein Zeitalter angebrochen, in dem die Welt komplett vernetzt ist. Weder Privathaushalte noch Unternehmen können sich dieser Vernetzung entziehen. Ein globales Freihandelsabkommen öffnet den gesamten Weltmarkt für alle Marktteilnehmer. Außerdem sind alle weltweit verfügbaren Geräte mit dem Internet verbunden. Die deutsche Wirtschaft boomt wie noch nie zuvor, da mit dem Distributed Manufacturing einige leistungsstarke Technologien in den Unternehmen etabliert wurden. Eine dieser Technologien ist die Cloudnutzung, die in den letzten Jahren proportional angestiegen und jeder der 8,6 Milliarden Mensch auf der Welt sowie jedes Unternehmen Besitzer einer Cloud ist. Es gehört zum Standard, dass jedes Neugeborene automatisch in diese Vernetzung aufgenommen wird. Sobald ein Kind auf die Welt kommt, verfügt es über eine eigene Cloud, die es sein Leben lang behalten wird und somit immer Teil der vernetzten Welt ist. Unternehmen kommunizieren und arbeiten ausschließlich über die Cloud-Technologie. Abstimmungen innerhalb einzelner Teams und der Supply

Chain sind somit leichter durchzuführen, da alle weltweit vernetzt sind und über Echtzeitinformationen verfügen. Aufträge an einzelne Unternehmen werden ausschließlich über die Cloud versendet, da diese z. B. so schneller auf Unternehmen verteilt werden können, die über freie Kapazitäten verfügen. Die hohe Bedeutung der Vernetzung für die Unternehmen wird durch die hohen Investitionen in die Industrie 4.0 deutlich. Ein weiteres Indiz ist der immer weiter ansteigende Umsatz mit vernetzten Geräten. Nach anfänglichen Problemen bei der Entwicklung von Produktionssystemen, die miteinander verbunden sind und so selbstständig ihr Ziel verfolgen, ist es in diesem Zeitalter nun endlich gelungen die Technologien der agentenbasierten Systeme auszureifen, sodass bereits alle Firmen ihre Produktionsprozesse auf diese neuen Technologien umgestellt haben. Weltweit gibt es einheitliche Standards, sodass es gar kein Problem ist, dass die Produktionssysteme miteinander kommunizieren und dezentral produziert werden kann. Auch die BML AG hat in die agentenbasierten Systeme investiert und hat durch die autonom arbeitenden Systeme ihre Rentabilität verbessern können. Das schnelle und kostengünstige Produzieren von individuellen Bohrern und Schneidewerkzeugen gehört nun zu den Stärken der BML AG. Das Unternehmen gehört zu den Global Playern in der Werkzeugherstellung, obwohl der internationale Wettbewerb durch die Schaffung der neuen Produktionssysteme und der komplett vernetzten Welt noch weiter gestiegen ist. In Deutschland gibt es nun immer mehr Unternehmen als Konkurrenten für die BML AG. Weitere Konkurrenz droht den Unternehmen durch den steigenden Umsatz mittels 3D-Druckern. Immer mehr Privathaushalte verfügen über diese Technologie. Dies hat zur Folge, dass die Haushalte im Falle z. B. dringend benötigter Ersatzeile, diese im Eigenheim selbst produzieren. Im Jahre 2036 werden also alle Haushalte mit dem Internet verbunden sein. Im B2B spielt das Thema Mass Customization eine sehr große Rolle. Es werden individuelle Produkte in Massen nachgefragt. Es besteht gar kein Interesse mehr an einheitlichen Produkten für die breite Masse. Diese Veränderung der Nachfragestruktur ist für die Unternehmen, zu dessen Stärke die Individualisierung zählt, zum Vorteil geworden. Eine weitere Veränderung der Nachfragestruktur wurde durch die Vernetzung und der weltweiten Benutzung der Cloud-Technologie hervorgerufen. Der Vertrieb der Produkte der Unternehmen ist vollständig über den E-Commerce organisiert. Die BML AG hat einen eigenen Onlineshop konzipiert, bei dem die Kunden nun auch die Möglichkeit haben individualisierte Produkte zu bestellen. Es hat sich also ein Produktionsverfahren entwickelt, das über Echtzeitinformationen funktioniert und durch die Vernetzung der Welt nicht mehr an einen Standort gebunden ist, sondern überall auf der Welt seine Produkte vertreiben und produzieren kann. Außerdem wurden für solche Produktionssysteme weltweite Standards geschaffen, sodass verschiedene Unternehmen zusammenarbeiten können. Das erste Mal in der Weltgeschichte bahnt sich virtuell eine weitere Industrie 5.0 an.

5.5.2 Szenario 2: Eine Welt wächst zusammen

Im Jahre 2035 ist die Welt durch die Digitalisierung und der damit verbundenen Technologien noch weiter vernetzt worden. Der fortschreitende Prozess der Vernetzung hat auch die Unternehmen mit einbezogen. Das Bruttoinlandsprodukt ist in den vergangenen 10 Jahren konstant um 3% gestiegen. Ein konstant großer Teil der Firmen hat in den letzten Jahren außerdem neue Produktionssysteme in ihren betrieblichen Ablauf eingebunden. Damit diese Systeme global kommunizieren können und eine dezentrale Produktion möglich ist wurden weltweit erste Standards eingeführt. Allerdings gibt es noch einige ungeklärte Probleme, sodass eine vollständige Integration noch nicht möglich ist. Zu den Unternehmen, die trotzdem schon auf neue Systeme setzten, zählt auch die BML AG. Im Rahmen der Industrie 4.0 haben sie begonnen in agentenbasierte Systeme zu investieren. Allerdings haben sie aufgrund einiger Kinderkrankheiten des Systems noch nicht den vollständigen Schritt der Implementierung gewagt. Sie beginnen jedoch durch die zusätzliche Nutzung von Cloud-Technologien dezentral zu produzieren und versuchen bereits vereinzelt schnell und kostengünstig auf individuelle Produktwünsche einzugehen. Im Rückblick auf die vergangene Firmenhistorie hat es die BML AG geschafft an Marktanteil zu gewinnen und sich von anderen Konkurrenten abzuheben. Im internationalen Wettbewerb steht das Unternehmen mittlerweile besser da. Der Grund dafür ist vor allem, dass noch nicht alle Unternehmen das Know-how zur Implementierung solcher Systeme aufwenden konnten bzw. dies für ihr Unternehmen noch nicht als relevant genug ansehen. Es gibt also noch eine Gruppe an Nachzüglern, die sehr traditionell oder vom sozialen System isoliert wirtschaften. Die immer noch konstant hohe Nachfrage nach individuellen Produkten wird jedoch dafür sorgen, dass sich die neuen Produktionssysteme etablieren werden, da mit ihnen kostengünstig diese Produkte hergestellt werden können. Der Teil der Nachzügler setzt aktuell auch noch den Fokus auf den Offlinehandel, während die BML AG einen Onlineshop plant in dem die Kunden ihre individuell gewünschten Produkte bestellen können. Die Bedeutung des Onlinehandels gewinnt allerdings immer mehr an Bedeutung, da bereits der größte Teil an Privathaushalten über einen Internetzgang verfügt. Es ist absehbar, dass in naher Zukunft nahezu der gesamte Vertrieb der Unternehmen über den E-Commerce abgewickelt wird. Neue Technologien wie der 3D-Druck und die Cloud-Technologien sind zwar global konstant auf hohem Niveau vorhanden, allerdings gibt es auch in diesem Bereich immer noch Nachzügler, die den Trend verhindern. Die Cloud-Technologie wird in Unternehmen bislang nur als Plattform zur Kommunikation zwischen verschiedenen Mitarbeitern bzw. Lieferanten genutzt. Die aktuelle Entwicklung des Zusammenwachsens der Welt ist ein Schritt in die richtige Richtung, dies zeigen vor allem die weiterhin ansteigenden Investitionssummen in das Thema Industrie 4.0. Als weiteres Indiz kann der langsam stärker ansteigende Umsatz, der weltweit mit vernetzten Geräten erzielt wird, gesehen werden. Hinzuzufügen ist, dass sich durch die Vernetzung der Welt neue Chancen für die Unternehmen im internationalen Wettbewerb ergeben, dies zeigen zunehmende Existenzgründungen und Anzahlen an Unternehmen in Deutschland.

5.5.3 Szenario 3: Die Vorboten des Mad Max

Im Jahr 2035 leben 10 Milliarden Menschen auf der Welt. Es ist bereits in einigen Ländern ein Versorgungsnotstand ausgerufen worden. Aufgrund der verschwenderischen Lebensweise der Menschen aus den Industrienationen sind die auf der Erde vorhandenen nicht erneuerbaren Ressourcen stark minimiert worden. Reserven wie Steinkohle, Braunkohle, Mineralöle und Erdgas sind nahezu aufgebraucht. Die Folge daraus sind häufige und langandauernde Energieversorgungsprobleme auf der Erde. Die schwankende Verfügbarkeit von Strom für die Unternehmen führt dazu, dass die anfängliche Euphorie und die hohen Erwartungen an die Industrie 4.0 nicht vollständig erfüllt werden können. Die Unternehmen investieren weniger in das Themengebiet, da die benötige Infrastruktur nicht existiert. Allerdings wären sie weiterhin von den Vorteilen überzeugt. Folglich sind aber auch immer weniger Produktionssysteme miteinander verbunden, da ein durch Stromausfall verursachter Produktionsausfall hohe Kosten hervorrufen würde. Die Menschheit und auch die Unternehmen beginnen sich anders zu organisieren und entwickeln Produktionssysteme der Industrie 4.0, die unabhängig von verfügbarer Elektrizität sind. Die Umorganisierung der Gesellschaft sorgt dafür, dass auch Cloudtechnologien immer weniger verwendet werden, da die Angst besteht, dass im entscheidenden Moment nicht auf das gespeicherte Wissen zugegriffen werden kann. Ein großer Teil der Bevölkerung kauft Güter wieder bei lokalen Anbietern ein. Durch die Umstrukturierung der Gesellschaft, hin zu einem gestärkten Gemeinwesen, ist das Interesse nach individuellen Produkten zurückgegangen. Die Gesellschaft hat den Ernst der Lage erkannt und hält verstärkt zusammen. Die Technologie des 3D-Drucks gewinnt zu dieser Zeit aufgrund der herrschenden Ressourcenknappheit an Bedeutung für die Menschheit und die Unternehmen. Der 3D-Drucker gehört zu der Basisausrüstung der Unternehmen, wodurch der Umsatz mit dieser Technologie zunächst konstant hoch bleibt. Die Unternehmen produzieren nahezu ausschließlich ihre Güter mithilfe dieser Technologie. Die Einführung des 3D-Druck Now Sharingsystems in vielen Städten auf der Welt macht es möglich, dass die Bevölkerung wichtige Lebensmittel zum Überleben produzieren kann. Dies ist notwendig, da sich nicht jeder Haushalt einen 3D-Drucker leisten kann. Die hohen benötigten finanziellen Mittel zur Beschaffung von 3D-Druckern und die Knappheit an Ressourcen führt dazu, dass immer weniger neue Unternehmen gegründet werden. Eine Vielzahl an kleineren Unternehmen, die nicht frühzeitig in die Technologie des 3D-Drucks investiert haben, geht es wirtschaftlich sehr schlecht, da sie hohe Produktionseinbußen aufweisen. Die BML AG hatte zwar schon begonnen in Hinblick auf die Industrie 4.0 ihren Produktionsprozess zu erneuern, allerdings stehen nun die verfügbaren agentenbasierten Systeme bei Stromausfällen immer häufiger still. Aktuell sind auch sie dabei für die momentane Abhängigkeit von der schwankenden Stromversorgung eine andere Lösung zu finden. Der Wettbewerbsvorteil der BML AG ist allerdings, dass sie bereits im Besitz eines 3D-Druckers sind und somit dem Problem der Ressourcenknappheit gewappnet sind. In der Branche der BML AG werden weiterhin individualisierte Produkte nachgefragt. Die Unternehmen sind auf der Suche nach einer Lösung um die Vorteile der Industrie 4.0 und des Distributed Manufacturing trotz der Umstände des Szenarios weiter einsetzen zu können.

5.6 Störereignisse und deren Wirkung auf die Szenarien

Zusammenfassung

In diesem Kapitel werden drei mögliche Störereignisse aufgezeigt, die die zuvor beschriebenen Szenarien radikal verändern können.

Störereignis 1 betrifft das Thema Atomkrieg. Die Welt ist in zwei Lager gespalten. Andauernde Angriffe beeinträchtigen erheblich die Wirtschaft. Aus Angst Opfer von Spionageangriffen zu werden, geht die Nutzung der neuen Informationstechnologien und der Cloud-Technologie rapide zurück. Unternehmen agieren nicht mehr global, sondern organisieren sich weitestgehend in Lagern.

Störereignis 2 geht von einem Engpass von nicht erneuerbaren Ressourcen aus. Die Produktion von Gütern muss fortan mittels Substituten über den 3D-Druck realisiert werden.

Störereignis 3 thematisiert die zunehmende Bedeutung von Datenschutz. Aufgrund der wachsenden Datenkriminalität wird Datenschutz zur obersten Priorität, um vertrauliche firmeninterne Daten vor einem möglichen Diebstahl zu schützen. Das Vertrauen in das Cloud-Manufacturing und den damit zusammenhängenden Produktionssystemen ist zerstört. Für eine sichere Kommunikation entlang der Supply Chain werden neue Systeme benötigt.

Nach der Beschreibung der drei Szenarien zum Themengebiet *Distributed Manufacturing* soll nun analysiert werden, wie diese auf Störereignisse auf die Szenarien wirken. Die Eintrittswahrscheinlichkeit von Störereignissen ist gering, allerdings haben sie bei Eintritt einen hohen Wirkungseinfluss auf die Szenarien. Die Störereignisse ändern den vorhergesagten Verlauf der Szenarien.

Für die drei Szenarien des Themenbereichs *Distributed Manufacturing* konnten folgende drei Störereignisse abgeleitet werden: Atomkrieg, keine Verfügbarkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen, enorme Wichtigkeit von Datenschutz.

5.6.1 Störereignis 1: Atomkrieg

Ein Atomkrieg spaltete die Welt in verschiedene Lager auf. Die zwei sich bildenden Lager waren der West- und der Ostblock. die jeweils von den Supermächten USA und Russland angeführt werden. Gegenseitig zerstörten sie durch Angriffe das jeweilige Land und die Wirtschaft. In dieser Zeit ist das Vertrauen der Unternehmen untereinander stark vernichtet worden. Der Krieg ist fürs erste überstanden, aber die Welt ist weiterhin in zwei Lager gespalten. Die Angst vor Spionage durch den Feind sorgt dafür, dass Informationen nicht mehr frei ausgetauscht werden und die Industrien sich weitestgehend, aber mit viel Vorsicht in ihren Lagern organisieren. Es gibt keine globalen Unternehmen mehr. Informationstechnologien wie Cloudsysteme etc. werden aus Angst vor Hackerangriffen nicht mehr genutzt, um Unternehmens- und produktionsbezogene Daten auszutauschen.

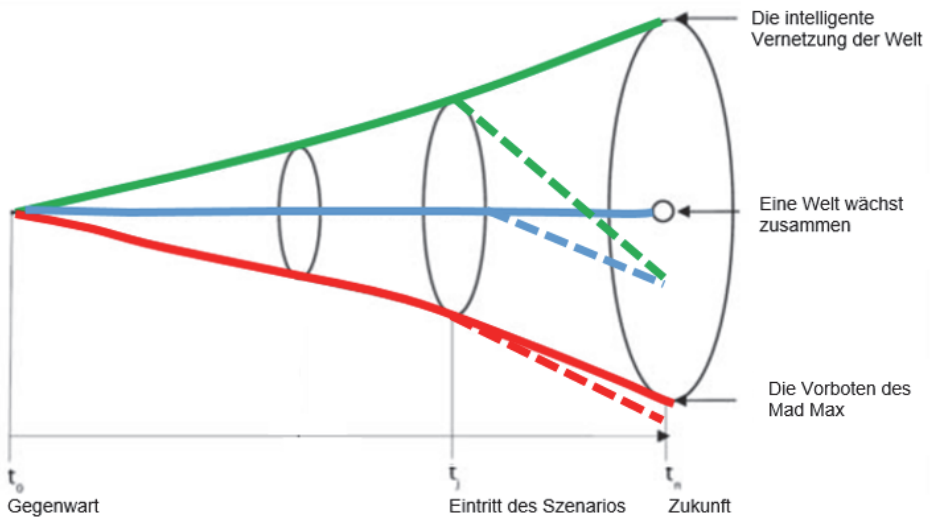


Abbildung 29: Wildcard Atomkrieg[150]

Folgen:

Die intelligente Vernetzung der Welt: In einer Welt, die durch die Vernetzung vollständig verbunden ist und auch die globale Wirtschaft vollständig auf solchen Produktionssystemen basiert, ist ein Atomkrieg ein äußerst negatives Ereignis auf die eingeschlagene Entwicklung (vgl. Abbildung 29). Durch die Spaltung der Welt ist es gar nicht anders möglich als zu den Produktionssystemen der Industrie 3.0 zurückzukehren. Zum einen, da so die Gefahr von Spionage durch den Feind sinkt und zum anderen durch die fehlende Vernetzung die benötige Infrastruktur für die Unternehmen fehlt. Die Rückkehr zur Industrie 3.0 schafft einige Arbeitsplätze für z. B. Maschinenbediener.

Eine Welt wächst zusammen: Das beschriebene Szenario hat die Tendenz zu einer vernetzten Welt, allerdings gibt es immer noch viele Unternehmen, die sich der Vernetzung und damit dem Distributed Manufacturing noch nicht hingegeben haben (vgl. Abbildung 29). Dies kommt ihnen bei diesem Ereignis zugute. Diese Unternehmen führen nun den Markt an, auch wenn sie sich umorganisieren müssen, da die Wirtschaft nicht mehr global funktioniert. Es kann nur noch auf Produktionsressourcen des eigenen Lagers zurückgegriffen werden, deswegen müssen in einigen Fällen Substitute gefunden werden. Diese Suche nach neuen Substituten sorgt dafür, dass der Forschungssektor boomt.

Die Vorboten des Mad Max: Das Störereignis Atomkrieg hat einen leicht negativen Einfluss auf den Verlauf des Szenarios (vgl. Abbildung 29). Aufgrund der beschriebenen Stromversorgungsprobleme haben einige Unternehmen schon damit begonnen, sich aus der weltweiten Vernetzung der eigenen Produktionssysteme zu lösen. Allerdings müssen sich viele dieser Unternehmen weiter umorganisieren und den momentanen Gegebenheiten anpassen. Ein großer Vorteil ist, dass durch das stark ausgeprägte Gemeinschaftsgefühl und der Zugriff auf 3D-Drucker, das Überleben der Menschen und Unternehmen vorerst grundgesichert ist.

[150] Eigene Darstellung in Anlehnung an Mietzner (2009)

5.6.2 Störereignis: keine Verfügbarkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen

Aufgrund der verschwenderischen Lebensweise der Industrienationen ist in den letzten Jahren der Bestand an nicht erneuerbaren Ressourcen stark zurückgegangen. Nicht erneuerbare Ressourcen können aus diesem Grund nicht mehr für die Produktion von Gütern verwendet werden. Die Bevölkerung und Unternehmen beginnen damit Substitute für die nicht erneuerbaren Ressourcen mittels des 3D-Drucks in Eigenproduktion zu produzieren. Die nicht mehr verfügbaren erneuerbaren Ressourcen führen dazu, dass die Menschen nun gezwungen sind, sparsamer mit Ressourcen umzugehen.

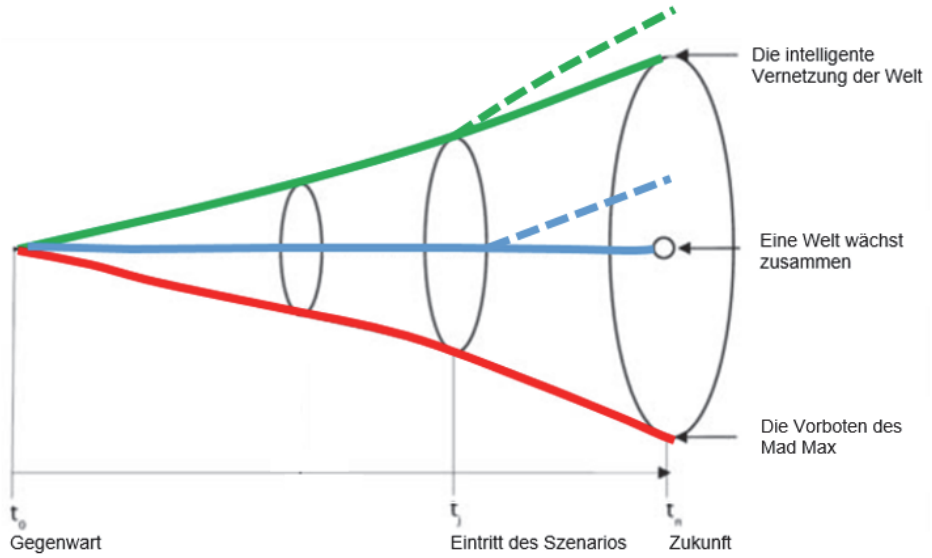


Abbildung 30: Wildcard keine Verfügbarkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen[151]

Folgen:

Die intelligente Vernetzung der Welt: Die Entwicklungsrichtung dieses Szenarios in Hinblick auf das Störereignis würde sich positiv verändern (vgl. Abbildung 30). Das Szenario profitiert quasi weiter von dieser Entwicklung. Die zunehmende Abhängigkeit der Unternehmen und Haushalte vom 3D-Druck führt zu einer verstärkten dezentralen Produktion. Unternehmen stellen Dienstleistungen für jeden zugänglich im Internet gegen Entgelt zur Verfügung. Die privaten Haushalte laden sich die im Internet vorhandenen Produktionsvorlagen herunter, um die Produkte anschließend selbst am heimischen 3D-Drucker zu produzieren. Allerdings können nicht alle Produkte wie z. B. Lebensmittel zuhause gedruckt werden, aufgrund von strengen Lebensmittelhygieneverordnungen, um Seuchen durch verunreinigte Lebensmittel in der Bevölkerung zu unterbinden.

Eine Welt wächst zusammen: Das Störereignis hat einen negativen Einfluss auf den Verlauf des Szenarios (vgl. Abbildung 30). Da im Verlauf dieses Szenarios immer noch nicht alle Firmen ihre Produktionssysteme umgestellt und somit in eine dezentrale Produktionsweise investiert haben, geht es diesen Unternehmen wirtschaftlich schlecht. Die Unternehmen, die bereits in vorangegangenen Jahren auf Distributed Manufacturing gesetzt haben, erlangen einen großen Wettbewerbsvorteil. Ein Großteil der Unternehmen droht zu verschwinden und die wirtschaftliche Situation in Deutschland

[151] Eigene Darstellung in Anlehnung an Mietzner (2009)

würde darunter sehr leiden. Deshalb wird politisch entschieden, Unternehmen, welche die Grundversorgung und den Wohlstand sichern, durch staatliche Rettungspakete über die Krise hinweg zu retten. Der deutschen Wirtschaft geht es nicht gut und das Bruttoinlandsprodukt sinkt um einen beachtlichen Anteil. Ein erneuerter Anstieg ist in Kürze nicht zu erwarten.

Der Vorboten des Mad Max: Da in diesem Szenario bereits von einer Ressourcenknappheit ausgegangen wird, hat das Störereignis keinen wesentlichen zusätzlichen Einfluss auf den Verlauf der Szenarioentwicklung (vgl. Abbildung 30). Die Gesellschaft hat gelernt, auch ohne die nicht erneuerbaren Ressourcen auszukommen.

5.6.3 Störereignis 3: Datenschutz wird enorm wichtig

Aufgrund der in den letzten Jahren angestiegenen Datenkriminalität auf der Welt ist der Datenschutz für Unternehmen und auch Privatpersonen so wichtig wie noch nie geworden. Vorfälle, wie der Diebstahl von wettbewerbswichtigen firmeninternen Daten, haben das Vertrauen in das Cloud-Manufacturing und den damit zusammenhängenden Produktionssystemen zerstört. Alle bereits für das Distributed Manufacturing neu eingesetzten Produktionssysteme müssen ausgetauscht werden. Es werden Systeme benötigt, die komplett sicher sind und den neuen Dimensionen der Datenkriminalität standhalten können. Damit eine sichere Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Unternehmen bzw. Teilnehmer einer Supply Chain stattfinden kann.

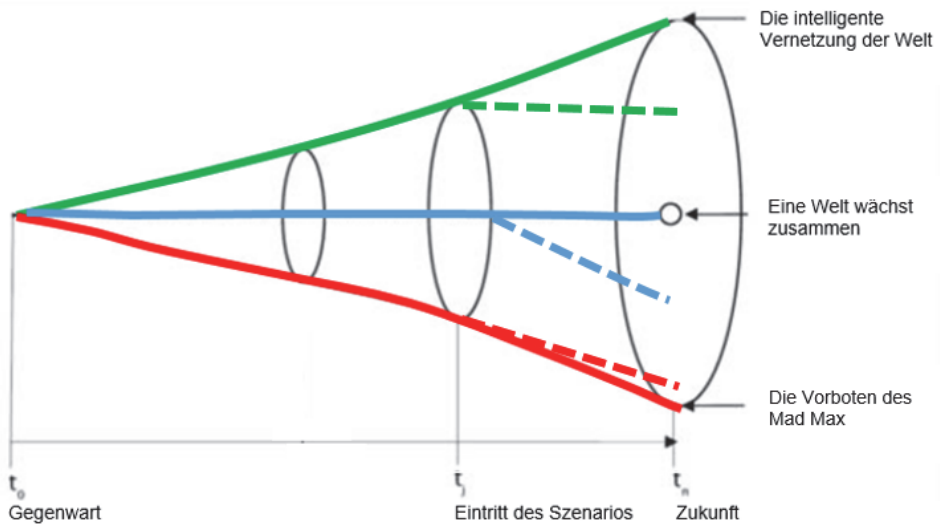


Abbildung 31: Wildcard Datenschutz wird enorm wichtig[152]

Folgen:

Die intelligente Vernetzung der Welt: Die durch das Störereignis eingeschlagene Entwicklungsrichtung dieses Szenarios hat einen negativen Einfluss (vgl.

Abbildung **31**). Die ansteigenden Fälle von Datenkriminalität lösen eine Skandalwelle in Deutschland aus. Vermehrt werden auch Kundendaten gestohlen und von den Hackern verwendet. Die Kunden verlieren das Vertrauen in die vollkommene Vernetzung der Unternehmen und Welt. Die Unternehmen haben mit Umsatzeinbußen zu kämpfen. Die Kunden sehnen sich nach den alten

[152] Eigene Darstellung in Anlehnung an Mietzner (2009)

Einkaufs- und Kommunikationsformen zurück. Die Industrie sieht aber einen zu großen Rückschritt in der Umstellung auf alte Produktionssysteme und steht damit nun vor der Herausforderung, das Vertrauen der Kunden durch verbesserte Systeme wieder zu gewinnen.

Eine Welt wächst zusammen: In einer Welt, die längst nicht vollständig vernetzt ist, hat das Störereignis einen geringeren negativen Einfluss auf das Szenario (vgl.

Abbildung **31**). Die Firmen, die noch nicht auf eine dezentrale Produktion und den damit zusammenhängenden Produktionssystemen umgestellt haben, profitieren von der zunehmenden Datenkriminalität. Die Kunden greifen zwar nicht online, aber auf dem klassischen Verkaufsweg vermehrt auf diese Produkte zurück. Unternehmen, die bereits eine dezentrale Produktionsweise etabliert haben, versuchen mit verschiedenen Kampagnen das Vertrauen der Kunden zurückzugewinnen. Dies soll durch die Einführung neuerer und sicherer Produktionssysteme geschehen. In der Bevölkerung wird versucht, diese Entwicklung zu unterbinden und es bildet sich eine Gegenbewegung „bewusst offline" gegen die Verbreitung des Distributed Manufacturing.

Die Vorboten des Mad Max: Die Entwicklungsrichtung dieses Szenarios in Hinblick auf das Störereignis würde sich leicht positiv verändern (vgl.

Abbildung **31**). Durch die Angst vor Datenkriminalität würde die im Szenario begonnene Entwicklung von neuen nicht komplett über das Internet verbundenen Techniken weiter schneller vorangetrieben. Auch die Kunden würden vermehrt auf das Thema Datenschutz achten, wodurch diese Unternehmen beim Einkauf von Produkten bevorzugt werden, die neue verbesserte Produktionswege gefunden haben. Des Weiteren würden sich die Unternehmen viele Kosten für eine sichere IT-Infrastruktur sparen, wodurch diese einen Wettbewerbsvorteil gegenüber Unternehmen mit vollständiger dezentraler Produktion erhalten.

6 Ableitung robuster Technologien

Zusammenfassung

Zu den sogenannten robusten Technologien, die in allen Szenarien vorteilhaft für die Unternehmen sind, zählen der 3D-Druck, der eine ressourcenschonende Produktion ermöglicht sowie die Familie der agentenbasierten Systeme. Die agentenbasierten Systeme stellen die Basis für die vollständige Implementierung des Distributed Manufacturing dar und gewährleisten eine reibungslose Kommunikation der Maschinen untereinander.

Zu den strategischen Handlungsempfehlungen gehören u. a. der verstärkte Aus- und Aufbau des Online-Handels, die Schaffung von Kapitalrücklagen für die Anpassung des Produktionsprozesses nach den Maßstäben der Industrie 4.0 sowie dem vermehrten Einsatz des 3D-Drucks, um die Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen zu reduzieren.

Im folgenden Kapitel sollen nun die wesentlichen Ergebnisse der Bibliometrie und der Szenariotechnik zusammengeführt werden. Das Ziel dabei ist es, die emergenten Technologien abzuleiten und den jeweiligen Einfluss auf jedes Szenario zu bestimmen. Dazu werden für jedes einzelne Szenario die potenziellen Kunden, der Vertriebskanal, die Marktleistung, die Region und (robuste) Technologien in Form einer strategischen Roadmap definiert. Anhand dieser definierten Ergebnisse in der Roadmap können anschließend für die BML AG wichtige, zukünftige robuste Technologien etc. festgelegt werden. Die BML AG kann so in jedem der generierten Zukunftsszenarien marktgerecht agieren. Zur Erstellung der strategischen Roadmap werden für die Ableitung der emergenten Technologien vor allem die Ergebnisse der Wissensbasen und Forschungsfronten aus der Bibliometrie verwendet. Darüber hinaus geben aber auch die Ergebnisse der deskriptiven Statistik aus der Einbettung in das Technologiefeld Aufschluss über neue emergenten Technologien im Themengebiet *Distributed Manufacturing*. Die Ergebnisse der strategischen Roadmap führen zu einem neuen Strategieentwicklungsprozess in der BML AG. Das Unternehmen zieht aus den Ergebnissen der strategischen Roadmap (siehe Tabelle 10) die Konsequenz, dass einige neue Maßnahmen ergriffen werden müssen, damit es wettbewerbsfähig bleibt. In einem halbjährigen Rhythmus kommt nun das Strategieentwicklungsprojektteam zusammen und berät sich über eine zukünftige Vorgehensweise. Zu dem Projektteam gehören der Produktionsleiter, Vertriebsleiter, Beschaffungsmittelleiter und der Technische Leiter des Unternehmens, sowie die Standortleiter der multinationalen Standorte des Unternehmens, welche die Verantwortung für die Implementierung der Veränderungen an den jeweiligen Standorten tragen. Die beinahe Verdopplung des Umsatzes in der deutschen Werkzeugindustrie über die letzten 15 Jahre (vgl. Abbildung 32) zeigt das große Potenzial des Marktes auf und zeigt der BML AG darüber hinaus, dass eine neue zukunftsorientierte Strategie, das Unternehmen im Wettbewerb weit nach vorne bringen kann.

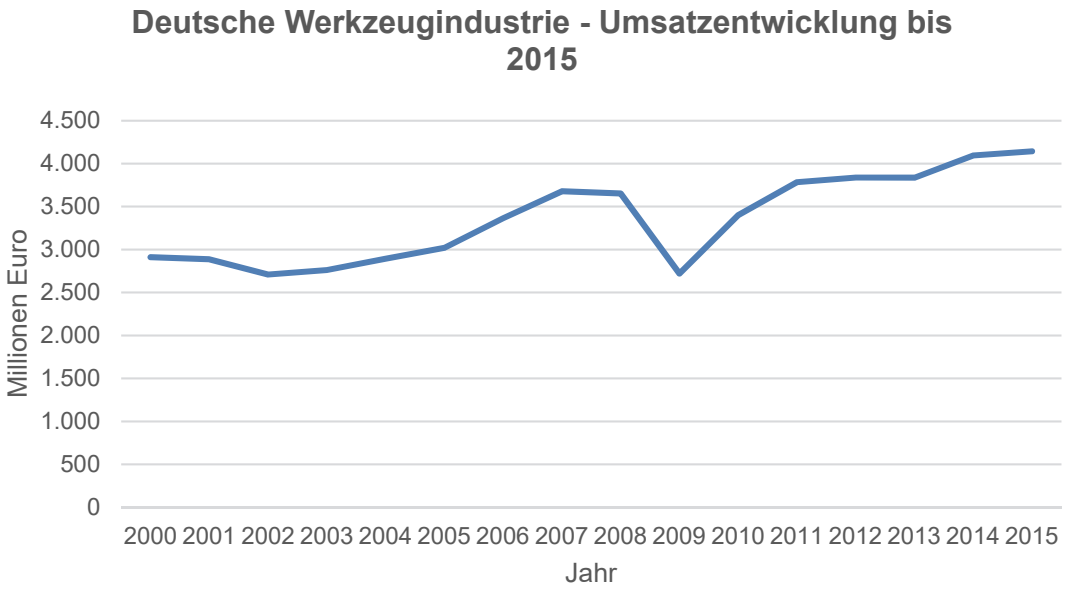


Abbildung 32: Umsatzentwicklung der deutschen Werkzeugindustrie[153]

Es ist demnach ein weiterer Anstieg des Umsatzes in der Werkzeugindustrie zu erwarten. Aufgrund der erhöhten Nachfrage nach individualisierten Produkten und der zunehmenden Vernetzung der Welt wird, wie bereits in Kapitel 4.3 beschreiben, der Online-Handel am meisten von dieser Entwicklung profitieren. Zu den zukünftigen Wettbewerbern der BML AG werden vor allem andere Werkzeughersteller zählen. Allerdings sorgt auch die Zunahme der verfügbaren 3D-Drucker (siehe Kapitel 4.3) dazu, dass potenzielle Kunden ihre Bohr- oder Schneidewerkzeuge, sowie Ersatzteile selbst produzieren werden. Im nächsten Schritt können aus der Analyse des zukünftigen Marktes (vgl. Tabelle 10) und den daraus resultierenden robusten Technologien wichtige strategische Ziele (vgl. Tabelle 11) für jedes Szenario abgeleitet werden.

[153] Datenquelle: Statista (2015)

Die intelligente Vernetzung der Welt	Eine Welt wächst zusammen	Die Vorboten des Mad Max
Kunden: Industrie- und Privatkunden	**Kunden:** Industriekunden, allerdings mit einem wachsenden Anteil an Privatkunden	**Kunden:** Industriekunden, Händler und Privatkunden
Vertriebskanal: Cloud-Technologie, Online-Portal	**Vertriebskanal:** Filiale und Online-Handel	**Vertriebskanal:** Filiale, Face to Face
Region: international	**Region:** national/international	**Region:** national
Marktleistung: - Produktion von individualisierten, nachhaltigeren Bohr und Schneidewerkzeugen, die speziell auf das jeweilige Einsatzgebiet abgestimmt sind. - es kommt zu keinen Lieferschwierigkeiten, sodass zu jeder Zeit an jedem Ort sofort Produkte/Ersatzteile verfügbar sind - es werden verschiedene Servicedienstleistungen angeboten (digitaler Verkaufsassistent oder Ersatzteilservice)	**Marktleistung:** - Massenproduktion mit immer größer werdenden Anteil an individualisierten Produkten - Angebot an Servicedienstleistungen, wie z. B. Face-to-Face Beratung, Installation der Produkte, Produkttest und Online-Beratung	**Marktleistung:** - Massenproduktion mit immer größer werdenden Anteil an individualisierten Produkten - Servicedienstleistungen (Beratung, Installation, Lieferung und Wartung)
Technologien: - **3D-Druck** - **Agentenbasierte Systeme** - Cloud-Computing - Sensorik (RFID) - Internet der Dinge - Robotertechnologie - Drohnen	**Technologien:** - **3D-Druck** - **Agentenbasierte Systems** - Robotertechnologie - Internet der Dinge	**Technologien:** - **3D-Druck** - **verbesserte agentenbasierte Systeme**

Tabelle 10: Strategische Roadmap des Themenbereichs *Distributed Manufacturing*

Die Technologie des 3D-Drucks macht es möglich, die strategischen Ziele in jedem der drei beschriebenen Szenarien durchzusetzen. Für die BML AG ist darüber hinaus die Technologiefamilie der agentenbasierten Systeme von großer Bedeutung, da sie mittels dieser Technologie einige Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz gewinnen. Außerdem können auch mittels dieser Technologie die strategischen Ziele bei Eintritt aller Szenarien erreicht werden.

Die intelligente Vernetzung der Welt	Eine Welt wächst zusammen	Die Vorboten des Mad Max
- Aufbau eines Online-Portals, der den kompletten Produktvertrieb des Unternehmens ersetzt und den Markt so maximal ausweitet. (virtuelle Filiale über Cloud-Technologie)	- Aufbau eines Online-Portals als Ergänzung zum derzeitigen Produktvertrieb. Schwachstellenanalyse über Servicedienste, um besser auf die individuellen Kundenbedürfnisse einzugehen.	- Verstärkter Ausbau eines direkten Produktvertriebs.
- Aufbau einer starken Vernetzung der Unternehmensstandorte, Zulieferer etc. auf der ganzen Welt. Produkte/Ersatzteile sind innerhalb kürzester Zeit verfügbar (Kontinuierliche Kapazitätenanalyse innerhalb der Supply Chain)	- Weiter vermehrte Investitionen/Einsatz in Distributed Manufacturing bzw. allgemeine innovative Technologien der Industrie 4.0. - Investition & Aufbau eigener Foresightabteilungen	- Erreichbarkeit und Wahrnehmung für die lokalen Kunden verbessern
- Individuelle Produktgestaltung über Online-Portal (3D-Konfiguration, 3D-Verkaufsassistent)	- Aufbau einer starken Vernetzung innerhalb der gesamten Supply Chain, um Infrastruktur für eine dezentrale Produktion zu schaffen	- Verbesserung der dezentralen Produktionssysteme, um Abhängigkeit von Energieversorgung zu kompensieren

Tabelle 11: Strategische Ziele

Aus den strategischen Zielen lassen sich für das Management der BML AG Handlungsempfehlungen für die Zukunft ableiten. Zu diesen Empfehlungen zählen:

- Aufbau von eigenen Forschungszentren zur Verbesserung des Produktionsprozesses und Abschaffung der Abhängigkeit von nicht erneuerbaren Ressourcen
- Vermehrter Einsatz von 3D-Druck im Produktionsprozess
- Kapitalrücklagen schaffen, um Produktionsprozess nach Maßstäben der Industrie 4.0., sobald diese stabil für alle drei Szenarien verfügbar sind, anzupassen
- Verstärkter Aus- und Aufbau des Offline und Online Handels
- Optimierung des Bestellprozesses für individualisierte Produkte.

Auf Basis dieser Handlungsempfehlungen sollte die BML AG eine Forschungsallianz mit den beiden Wissenschaftlern Lihui Wang und Weiming Shen eingehen, da diese zu den Themengebieten agentenbasierte-Systeme und Cloud Manufacturing intensiv forschen. Diese beiden Themengebiete werden in Zukunft für die BML AG enorm an Bedeutung gewinnen. Beide Technologien ermöglichen dem Unternehmen eine dezentrale Produktion. Weiter sollte die BML AG zusammen mit der Michigan Technological University an der Thematik des 3D-Drucks forschen. Die Michigan Technological University hat allein in den Jahren 2013 bis 2015 sieben Artikel zum Thema 3D-Druck veröffentlicht und ist demnach der aktivste Player in der Forschung zu diesem Themengebiet. Die 3D-Druck Technologie ist als robuste Technologie für das Unternehmen im Kontext des Distributed Manufacturing zentral, da unter allen möglichen Szenarien die strategischen Ziele des Unternehmens am wahrscheinlichsten erreicht werden können. In Kooperation mit den in dieser Arbeit vorgestellten herausragenden Wissenschaftlern im Bereich Distributed Manufacturing, insbesondere agentenbasierte Systeme, könnte die BML AG darüber hinaus in den eigenen Forschungszentren weiter an den neuen Produktionssystemen forschen. In Kapitel 3.3.2 wurde bereits darauf eingegangen, dass viele Anforderungen an diese Systeme im dazu bestehenden Forschungsfeld beschrieben wurden. Gemeinsam könnte weiter daran gearbeitet werden, die Produktionssysteme zu verbessern. Außerdem sollte die BML AG die vielen kleinen zusätzlichen Forschungsfronten auf der Forschungslandkarte (siehe Kapitel 3.3.2) in ihrer Allianz näher erforschen, um auf weitere emergente Technologien zu stoßen, die sich als robuste Technologien zur Ermöglichung des Distributed Manufacturing identifiziert werden könnten.

7 Fazit

Die Durchführung der Bibliometrie und Szenariotechnik zur Technologievorausschau im Themenfeld *Distributed Manufacturing* haben gezeigt, dass das Distributed Manufacturing ein Themengebiet ist, an dem weltweit geforscht wird. Das Distributed Manufacturing bringt neue Technologien wie z. B. die agentenbasierten Systeme, den 3D-Druck oder das Cloud Manufacturing mit sich, die für eine vollständige Implementierung im Unternehmen noch weiterentwickelt werden müssen. Dies bezüglich wurden für dieses Themenfeld mit der Bibliometrie die Forschungsfronten „Einsatzgebiete und Anforderungen an die Systeme“, „Systeme und deren Implementierung“, „Optimierung und Kontrolle von Prozessen mittels Java 3D“analysiert. Konkreter zeigen die Forschungsfronten Einsatzgebiete und Anforderungen der identifizierten Systeme und deren Implementierung im Unternehmensablauf auf. Auf Basis dieser identifizierten Technologien und den damit verbundenen aktuellen Forschungsthemen hat die Szenariotechnik die Technologiefamilie der agentenbasierten Systeme und den 3D-Druck für das fiktive Unternehmen „BMWL AG“, welches ansatzweise bereits nach den Grundzügen des Distributed Manufacturing produziert, als robuste Technologien hervorgebracht. Für die Zukunft ergeben sich daraus strategische Ziele, die es dem Unternehmen ermöglichen über verschiedenste Zukunftsszenarien hinweg wettbewerbsfähig agieren zu können. Hierfür ist es allerdings wichtig, dass die neuen Produktionssysteme weiterentwickelt werden und die Unternehmen, auch in Hinblick auf Ressourcenverknappung, vermehrt 3D-Drucker in den Produktionsprozess einbinden. Weiterhin zeigen die identifizierten Technologien auf, dass das Distributed Manufacturing den Unternehmen viele Chancen bietet, die ein Überleben in einer zunehmend vernetzten Welt ermöglichen.

Wichtiger Hinweis:

Lesen Sie auch die anderen Beiträge zur Zukunftsforschung in der ITOP-Schriftenreihe unter https://www.uni-ulm.de/mawi/itop/forschung/forschung/itop-schriftenreihe/itop-schriftenreihe/.

Vielen Dank für Ihr Interesse an dieser Publikation!

Bei Rückfragen zu diesem Bericht wenden Sie sich bitte an:

Universität Ulm
iTOP Institut für Technologie- und Prozessmanagement
Frau Anette Lesle

Helmholtzstraße 22
89081 Ulm
Tel.: +49 (0) 7 31/50-3 23 01
anette.lesle@uni-ulm.de

Literaturverzeichnis

Literatur

Ball und Tunger (2005)
Ball,R. / Tunger, D.: bibliometrische Analysen – Daten, Fakten und Methoden, Jülich, 2005.

Brooks (2001)
Brooks, T.: Wireless Technology for Industrial Sensor and Control Networks, 3e Technologies International Inc., Rosemount, Illinois; 2001.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2015)
Bundesministerium für Bildung und Forschung: Industrie 4.0 Innovation für die Produktion von morgen, Bonn, 2015.

Depke (2004)
Depke, R.: Visuelle Modellierung agentenbasierter Systeme, Fakultät für Elektrotechnik, Informatik und Mathematik der Universität Paderborn, 2004.

Koucheryavy et al. (2013)
Kocheryavy, Y. / Adreev, S. / Balandin, S.: Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking, Heidelberg, 2013.

Mietzner (2009)
Mietzner, D.: Strategische Vorausschau und Szenarioanalysen, Wiesbaden, 2009.

Petschow et al. (2014)
Petschow, U./ Ferdinand, JP./ Dickel, S./ Flämig, H./ Steinfeldt, M./ Worobei, A.: Deszentrale Produktion, 3D-Druck und Nachhaltigkeit, Berlin, 2014.

Reibnitz (1992)
Reibnitz, von U.: Szenario-Technik. Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung, Wiesbaden, 1992.

Wang und Shen (2007)
Wang, L. / Shen, W.: Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing, London 2007.

Studien

MHP (2014)
MHP: Studie Industrie 4.0 – Eine Standortbestimmung der Automobil und Fertigungsindustrie: http://www.mhp.com/fileadmin/mhp.de/assets/studien/MHP-Studie_Industrie4.0_V1.0.pdf, heruntergeladen am 24.04.2016.

Internet

Bella (2015)
Bella: Distributed Manufacturing: a 21st century renaissance?: http://blog.grabcad.com/blog/2015/05/12/distributed-manufacturing-renaissance/, abgerufen am 16.04.2016.

Bendel (o.J.)
Bendel, O: Prosument: http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/prosument.html; abgerufen am 17.05.2016.

Bertram (2016)
Bertram, I.: Revolution oder Jobvernichter?: https://www.tagesschau.de/wirtschaft/industrie-vier-null-101.html, abgerufen am 20.04.2016.

Blaisdell (2014)
Blaisdell, R.: The importance of cloud computing in manufacturing: https://www.rickscloud.com/the-importance-of-cloud-computing-in-manufacturing/, abgerufen am 02.05.2016.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html, aufgerufen am 24.04.2016.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016)
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Unternehmensgründungen und Gründergeist in Deutschland: http://www.exist.de/SharedDocs/Downloads/DE/Zahlen-Fakten-Unternehmensgruendungen-Deutschland-2015.pdf?__blob=publicationFile; abgerufen am 21.05.2016.

Bundeszentrale für politische Bildung (2010)
Bundeszentrale für politische Bildung: Anzahl Transnationaler Unternehmen: https://www.bpb.de/nachschlagen/zahlen-und-fakten/globalisierung/52630/anzahl; abgerufen am 17.05.2016.

Bundeszentrale für politische Bildung (2013)
Bundeszentrale für politische Bildung: Globalisierung: http://www.bpb.de/nachschlagen/lexika/lexikon-der- wirtschaft/19533/globalisierung; abgerufen am 17.05.2016.

Computerwoche (2015)
Computerwoche: Internet der Dinge und Smart Home: Was das IoT für Vor- und Nachteile mitbringt: http://www.computerwoche.de/a/was-das-iot-fuer-vor-und-nachteile-mitbringt,3068663; abgerufen am 27.04.2016.

Elsevier (2015)
Journal of Operations Management: http://www.journals.elsevier.com/journal-of-operations-management; abgerufen am 14.11.2016.

Fraunhofer (2013):
Marktperspektiven von 3D in industriellen Anwendungen, https://www.igd.fraunhofer.de/sites/default/files/3D_Maerkte_Prognos_IGD_MC.pdf, aufgerufen am 15.05.2016.

Fraunhofer-Allianz Cloud Computing (o.J)
Fraunhofer-Gesellschaft: Public, Private und Hybrid Cloud?: http://www.cloud.fraunhofer.de/de/faq/publicprivatehybrid.html; abgerufen 03.05.2016.

Graue Weltkarte (o.J)
designed by Layerace
http://de.freepik.com/vektoren-kostenlos/grau-weltkarte_893780.htm#term=reise&page=1&position=2; abgerufen am 10.06.2016

Fuchs (o.J.)
Fuchs, M.: Definition Globalisierung: http://www.globalisierung-fakten.de/globalisierung-informationen/definition/; abgerufen am 17.05.2016.

Fuhlhage (2009)
Fuhlhage, D.: Prosument 2.0: http://www.denk-selbst.com/2009/08/19/prosument-2-0/, abgerufen am 17.05.2016.

Gartner, Inc. (2015)
Gartner: What's New in Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies, 2015: http://www.gartner.com/smarterwithgartner/whats-new-in-gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2015/; abgerufen am 26.04.2016.

Gartner, Inc. (2016)
Gartner: Gartner Hype Cycle: http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp; abgerufen am 26.04.2016.

***G*artner, Inc. (2016)**
Gartner, Inc.: What 3D Printing Means for Your Supply Chain?: http://blogs.gartner.com/pete-basiliere/2016/04/12/what-3d-printing-means-for-your-supply-chain/; abgerufen am 26.04.2016.

Gorraiz (2004)
Gorraiz: Szientometrie: Zitatenanalyse: Österreichische Zentralbibliothek für Physik: http://www.zbp.univie.ac.at/gj/citation/skriptum2neu.html, abgerufen am 13.05.2016.

Gossen (2013)
Gossen, M.: Konsumwandel mit Nachhaltigkeitspotenzial: http://www.ioew.de/fileadmin/_migrated/tx_ukioewdb/Maike_Gossen_Leuphana_Konferenz_2013_Nutzen_statt_Besitzen.pdf; abgerufen am 17.05.2016.

Greenbuild (2015)
Greenbuild: The Maker Economy and the Rise of Distributed Manufacturing: http://www.usgbc.org/education/sessions/greenbuild-international-conference-and-expo-2015/maker-economy-and-rise-distribu; abgerufen am 06.05.2016.

Greenbuild Expo (2015)
Greenbuild: Why should you attend the Greenbuild International Conference and Expo?: https://greenbuildexpo.com/Attendee/ShowInfo; abgerufen am 06.05.2016.

Guide 2 Research (2016)
Top H-Index for Scientist in Canada: http://www.guide2research.com/scientists/CA; abgerufen am 10.11.2016

Hagenau (2015)
Hagenau, T.: Cloud Computing - der Hype ist vorbei: http://www.computerwoche.de/a/cloud-computing-der-hype-ist-vorbei,3069749; abgerufen am 03.05.2016.

Havemann (2009)
Havemann, Frank (2009): Einführung in die Bibliometrie. 1. Aufl. Berlin: Ges. für Wiss.-Forschung c/o Inst. für Bibliotheks- und Informationswissenschaften

Herrmann (2015)
Herrmann, F.J.: Megatrend – Künstliche Intelligenz– Wir leben 24 Stunden online!: http://karriere-mit-stil.trust-wi.de/2015/04/megertrend-kunstliche-intelligenz-wir-leben-online-u-das-24-stunden/; abgerufen am 20.05.2016.

Hommel (2016)
Hommel, E.M.: Eine neue Sprache für Maschinen: http://www.handelsblatt.com/technik/hannovermesse/standards-der-industrie-4-0-eine-neue-sprache-fuer-maschinen/13496780.html, abgerufen am 24.04.2016.

Horx (2010)
Horx, M.: Trend-Definitionen: http://www.horx.com/zukunftsforschung/Docs/02-M-03-Trend-Definitionen.pdf; abgerufen am 17.05.2016.

Ingenieur 360 (2013)
Ingenieur 360: Umbruch am Maschinenbaumarkt erfordert neue Geschäftsmodelle: http://www.ingenieur360.de/forschung-entwicklung/umbruch-maschinenbaumarkt-erfordert-neue-geschaeftsmodelle/; abgerufen am 17.05.2016.

IPC (2016)
Polytechnic Institute of Braganca: http://portal3.ipb.pt/index.php/en/ipben/home, abgerufen am 10.05.2016.

IEEE (2015)
Weimeing Shen: http://sites.ieee.org/sscita/weiming/; abgerufen am 10.11.2016

Juschkat (2016)
Juschkat: Deutsche Industrie startet Normungsinitiative für Industrie 4.0: http://www.konstruktionspraxis.vogel.de/deutsche-industrie-startet-normungsinitiative-fuer-industrie-40-a-532150/, abgerufen am 24.06.2016.

Kern und Neumayer (2016)
Kern, S. / Neumayer, I.: Künstliche Intelligenz: http://www.planet-wissen.de/technik/computer_und_roboter/kuenstliche_intelligenz/; abgerufen am 20.05.2016.

KTH (2016)
KTH Royal Institute of Technology: Prof. Lihui Wang, https://www.kth.se/profile/lihuiw/, aufgerufen am 03.05.2016.

Lanxess (o.J.)
Lanxess: Megatrend: Nachhaltigkeit: http://lanxess.de/uploads/tx_lxsmatrix/Hintergrundinfo_Nachhaltigkeit_01.pdf; abgerufen am 20.05.2016

ManuCloud Projekt (o.J.)
ManuCloud Projekt: http://www.manucloud-project.eu/index.php?id=233, abgerufen am 10.05.2016.

Meyerson (2015)
Meyerson, B.: Emerging Tech 2015: Distributed Manufacturing: https://www.weforum.org/agenda/2015/03/emerging-tech-2015-distributed-manufacturing/; abgerufen am 05.05.2016.

Meyerson (2015)
Meyerson, B.: Emerging Tech 2015: Distributed Manufacturing: https://www.weforum.org/agenda/2015/03/emerging-tech-2015-distributed-manufacturing/; abgerufen am 17.04.2016.

Michigan State University (2004)
Michigan State University: Weiming Shen: http://www.cse.msu.edu/Students/Current_Grad/LectureSeries/2004/shen.html; abgerufen am 22.04.2016.

Minov (2015)
Minov, G: Gartner Hype Cycle of Emerging Technologies 2015: http://www.goranminov.com/digitale-transformation/2015/8/gartner-hype-cycle-of-emerging-technologies-2015; abgerufen am 26.04.2016.

NRCC (o.J.)
National Research Council Canada.: Weiming Shen`s Homepage: http://www.engga.uwo.ca/cdsgroup/people/wshen/; abgerufen am 23.04.2016.

NRCC (2015)
National Research Council Canada: Frequently Asked Questions: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/careers/nrc_faq.html#Q2; abgerufen am 23.04.2016.

NRCC (2016)
National Research Council Canada: Corporate Overview: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/about/corporate_overview/index.html; abgerufen am 23.04.2016.

NRCC (2016)
National Research Council of Canada: Dr. Weiming Shen, http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/people/shen_weiming_9918.html, aufgerufen am 03.05.2016.

NRCC (2016)
National Research Council of Canada: http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/careers/working_nrc.html, aufgerufen am 10.05.2016.

NUS (2016)
National University of Singapore: Prof. Andrew YC Nee, http://serve.me.nus.edu.sg/neeyc/, aufgerufen am 04.05.2016.

One Sustainability (2010)
One Sustainability: Nachhaltigkeit ist der nächste Megatrend: http://www.onesustainability.com/2010/11/15/nachhaltigkeit-ist-ein-megatrend/; abgerufen am 20.05.2016

PolyU (2016)
The Hong Kong Polytechnic University: http://www.polyu.edu.hk/web/en/about_polyu/facts_figures_development/history/index.html, aufgerufen am 16.05.2016.

Quora (o.J)
Quora: What is the growing importance of Distributed Manufacturing (benefits, cases, and future perspective?, https://www.quora.com/unanswered/What-is-the-growing-importance-of-distributed-manufacturing-benefits-cases-and-future-perspective; abgerufen am 17.04.2016.

Research and Markets (2016)
Research and Markets: 3D Printing Market by Printer Type, Material Type (Metals, Plastics, Ceramics & Others), Material Form (Powder, Liquid, Filament), Process, Technology, Software, Service, Application, Vertical and Geography - Global Forecast to 2022: http://www.researchandmarkets.com/research/plz7bz/3d_printing; abgerufen am 26.04.2016

Scheible (o.J.)
Scheible, T: Arten und Ebenen von Clouds: http://cloud-computing-blog.eu/teil-3-artikelserie_arten-und-ebenen-von-clouds/; abgerufen am 03.05.2016.

Schneider (2016)
Schneider Electric Automation GmbH: http://www.schneider-electric.de/sites/germany/de/unternehmen/profil/unternehmensprofil/in-kuerze.page, aufgerufen am 10.05.2016.

Schonscheck (2015)
Schonscheck: Security-Konzepte im Praxis-Check: http://www.computerwoche.de/a/security-konzepte-im-praxis-check,3211303, abgerufen am 26.04.2016.

Scijournal Top Journal (2015)
International Journal of Production Research Impact Factor: http://www.scijournal.org/impact-factor-of-INT-J-PROD-RES.shtml; abgerufen am 14.11.2016.

Scimago Journal & Country Rank (2015)
Journal Rankings: http://www.scimagojr.com/journalrank.php?category=1803, abgerufen am 14.11.2016.

Siemens (2013)
Siemens: Unsere Antworten auf die Herausforderungen der Globalisierung: https://www.siemens.com/annual/13/de/unternehmensbericht/reportage-industrieloesungen/strategischer-kontext/, abgerufen am 14.06.2016.

Simon (2013)
Simon, W.: Industrie 4.0 - Fertigung fusioniert mit IT: http://www.cio.de/a/industrie-4-0-fertigung-fusioniert-mit-it,2927141,2, abgerufen am 24.04.2016.

Siemens (2014)
Siemens: Picture oft he Future: Internet der Dinge: Fakten und Prognosen: Die Vernetzung der Welt: http://www.siemens.com/innovation/de/home/pictures-of-the-future/digitalisierung-und-software/internet-of-things-fakten-und-prognosen.html; abgerufen am 27.04.2016.

Skyfuture (o.J.)
Skyfuture: Rolls-Royce: http://www.skyfuture.de/partner/rolls-royce/; abgerufen am 17.05.2016.

Statista (o.J.)
Statista: Investition in Industrie 4.0 in Deutschland in den Jahren 2013 bis 2020 (in Milliarden Euro): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/372846/umfrage/investition-in-industrie-40-in-deutschland/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (o.J.)
Statista: Prognose zum weltweiten Umsatz mit vernetzten Geräten bis zum Jahr 2020 (in Milliarden US-Dollar): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/295168/umfrage/umsatzprognose-auf-dem-weltmarkt-fuer-vernetzte-geraete/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (o.J.)
Statista: Anzahl der Unternehmen in Deutschland von 2005 bis 2014: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/246358/umfrage/anzahl-der-unternehmen-in-deutschland/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (o.J.)
Statista: Prognose zur Anzahl vernetzter Geräte weltweit in den Jahren 2003 bis 2020: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/479023/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-vernetzten-geraete-weltweit/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (o.J.)
Statista: Anzahl der Breitbandanschlüsse im Festnetz in Deutschland in den Jahren 2001 bis 2015 (in Millionen): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/71531/umfrage/anzahl-der-direkt-geschalteten-breitbandanschluesse-in-deutschland-seit-2001/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (o.J.)
Statista: Prognose der E-Commerce-Nutzer weltweit in den Jahren 2014 bis 2020 (in Millionen): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/485005/umfrage/prognose-der-e-commerce-nutzer-weltweit/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (2014)
Statista: USA: Worin bestehen die Barrieren in Ihrem Unternehmen bei der Nutzung von 3D-Druck?: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/445963/umfrage/hindernisse-bei-der-anwendung-von-3d-druck-in-us-amerinkanischen-unternehmen/; abgerufen am 27.04.2016.

Statista (2014)
Statista: In welchem Umfang sollten Nachhaltigkeitsthemen in der Zukunft in Ihrer Unternehmensstrategie verankert sein, um den langfristigen Erfolg sicherzustellen?: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/377464/umfrage/verankerung-von-nachhaltigkeit-fuer-den-unternehmenserfolg-in-der-schweiz/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (2015)
Statista: Haben Sie schon mal den Begriff "Industrie 4.0" gehört oder hören Sie diesen Begriff gerade zum ersten Mal?: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/449326/umfrage/verbreitung-des-begriffs-industrie-40-in-deutschland/; abgerufen am 13.04.2016.

Statista (2015)
Statista: Prognose zur Anzahl vernetzter Geräte weltweit in den Jahren 2003 bis 2020: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/479023/umfrage/prognose-zur-anzahl-der-vernetzten-geraete-weltweit/; abgerufen am 27.04.2016.

Statista (2015)
Statista: Anzahl der Nutzer des mobilen Internets weltweit im Jahr 2014 sowie eine Prognose bis 2019 (in Milliarden): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/502548/umfrage/anzahl-der-nutzer-des-mobilen-internets-weltweit/; abgerufen am 18.05.2015.

Statista (2015)
Statista: E-Commerce-Umsatz im Einzelhandel weltweit in den Jahren 2012 bis 2014 sowie eine Prognose bis 2018 (in Milliarden US-Dollar): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/244110/umfrage/globaler-umsatz-von-e-commerce/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (2016)
Statista: Die 20 Länder mit dem größten Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Jahr 2014 (in Milliarden US-Dollar): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/157841/umfrage/ranking-der-20-laender-mit-dem-groessten-bruttoinlandsprodukt/; abgerufen am 24.04.2016.

Statista (2016)
Statista: Wichtige Unternehmen aus dem Bereich 3D-Druck weltweit nach Umsatz im Jahr 2014 (in Millionen US-Dollar): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/444995/umfrage/wichtige-unternehmen-aus-dem-bereich-3d-druck-weltweit-nach-umsatz/; abgerufen am 25.04.2016.

Statista (2016)
Statista: Prognose zu den Ausgaben für das Internet der Dinge (IoT) weltweit in den Jahren 2015 und 2019 (in Milliarden US-Dollar): http://de.statista.com/statistik/daten/studie/537226/umfrage/prognose-zu-den-ausgaben-fuer-das-internet-der-dinge/; abgerufen am 27.04.2016.

Statista (2016)
Statista: Haben Sie schon mal den Begriff "Industrie 4.0" gehört oder hören Sie diesen Begriff gerade zum ersten Mal? http://de.statista.com/statistik/daten/studie/372846/umfrage/investition-in-industrie-40-in-deutschland/; abgerufen am 21.05.2016.

Statista (2016)
Statista: Umsatzentwicklung in der Werkzeugindustrie in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2015 (in Millionen Euro), abgerufen am 10.06.2016.

Taylor & Francis (o.J.)
International Foundation for Production Research: International Journal of Production Research (Int J Prod Res): https://www.researchgate.net/journal/1366-588X_International_Journal_of_Production_Research; abgerufen am 05.05.2016.

Taylor & Francis (2010)
Taylor & Francis Group: Agile manufacturing: Enablers and an implementation framework: http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/002075498193291, abgerufen am 05.05.2016.

Toptarif (o.J.)
Toptarif: IEEE: http://www.toptarif.de/internet/wissen/ieee/; abgerufen am 06.05.2015.

UNESCO (2015)
UNESCO: UNESCO Wissenschaftsbericht; Der Weg bis 2030: http://www.unesco.de/fileadmin/medien/Dokumente/Wissenschaft/unesco_wissenschaftsbericht_2015_dt_zsfg.pdf; heruntergeladen am 25.04.2016.

VDI (2015)
https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur/dps_bilder/TZ/2009/Band%2080_IdD_komplett.pdf, aufgerufen am 15.05.2016.

Weber (2007)
Weber, B.: Schöne neue Arbeitswelt? - die Zukunft der Arbeit: http://www.bpb.de/izpb/8588/sc.hoene-neue-arbeitswelt-die-zukunft-der-arbeit; abgerufen am 17.05.2016.

Wichert (o.J.)
Wichert, A.: Künstliche Intelligenz: http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/kuenstliche-intelligenz/6810; abgerufen am 20.05.2016.

WIPO (2016)
https://patentscope.wipo.int/search/de/result.jsf, abgerufen am 22.05.2016.

Wirtschaftslexikon (o.J.)
Wirtschaftslexikon: Konsumwandel: http://www.wirtschaftslexikon24.com/d/konsumwandel/konsumwandel.htm; abgerufen am 17.05.2016.

Zju (2016)
http://www.zju.edu.cn/english/redir.php?catalog_id=50578, aufgerufen am 20.05.2016.

Zukunftsinstitut (o.J.)
Zukunftsinstitut: Megatrend Konnektivität: https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrend-konnektivitaet/; abgerufen am 18.05.2016.

Zukunftsinstitut (2012)
Zukunftsinstitut: Die Individualisierung der Welt: https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/die-individualisierung-der-welt/; abgerufen am 18.05.2016.

Zukunftsinstitut (2012)
Zukunftsinstitut: Konnektivität: Die Vernetzung der Welt: https://www.zukunftsinstitut.de/artikel/konnektivitaet-die-vernetzung-der-welt/; abgerufen am 19.05.2016.

3D-Grenzenlos (2015)
3D-Grenzenlos: 3D-Druck in den USA: https://www.3d-grenzenlos.de/magazin/thema/3d-druck-in-den-usa; abgerufen am 25.04.2016.

3D-Grenzenlos (2016)
3D-Grenzenlos: Gartner Marktforschung: 65 Prozent der Lieferanten planen Investitionen in 3D-Druck: http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/marktforschung/lieferanten-planen-investition-in-3d-druck-27170983.html, abgerufen am 26.04.2016.

3D-Grenzenlos (2016)
3D-Grenzenlos: Technologie der Zukunft: Gartner sieht 3D-Druck als Techniktrend 2016: http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/zukunft-visionen/3d-druck-ist-techniktrend-2016-27132953.html, abgerufen am 26.04.2016.

3D-Grenzenlos (2016)
3D-Grenzenlos: Marktforschung: Neue Marktstudie erwartet jährlich weltweit bis 30% Marktwachstum für 3D-Druck: http://www.3d-grenzenlos.de/magazin/marktforschung/3d-druck-markt-waechst-30-prozent-jaehrlich-27171713.html; abgerufen am 26.04.2016.

Beiträge in Journals

Barenji et al. (2014)
Barenji, R.V./ Banenji, A.V./ Hashemipour, M.: A multi-agent RFID-enabled distributed control system for a flexible manufacturing shop. In: The international Journal of Advanced Manufacturing Technology; Heft Nr. 71; 9.Jg.; 2014;S. 1773-1791.

Campbell (1983)
Campbell: Patent trends as a technological forecasting tool. In: World Patent Information; Heft Nr. 3; 5 Jg.; 1983; S. 137–143

Ford (2015)
Ford, S./ Minshall, T.: Defining the Research Agenda for 3D Printing-Enabled Re-Distributed Manufacturing. In: ADVANCES IN PRODUCTION MANAGEMENT SYSTEMS; 2015, S. 156-164.

Gunasekaran (1998)
Gunasekaran, A.: Agile Manufacturing: Enablers and an implementation framework. In: International Journal of Production Researsch, Heft Nr.36, 2010, S. 1223-1247.

Hirsch (2005)
Hirsch, J.E.: An index to quantify an individual's scientific research output that takes into account the effect of multiple coauthorship. In: Scientometrics; Heft Nr. 3; 85 Jg.; 2010; S. 741 - 754.

Helo et al. (2014)
Helo, P./ Suorsa, M./ Hao, Y./ Anussomnitisam, P.: Toward a cloud-based manufacturing execution system for Distributed Manufacturing. In: Computers in Industrie; Heft Nr. 65; 4.Jg.; 2014; S. 646-656.

Lee (2016)
Lee, CKM./ Lv, YQ.: Application of hierarchical Colored Petri Net in Distributed Manufacturing network: In Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM); 2010; S. 575-579.

Leitao et al. (2003)
Leitao, P./ Boissier, R./ Casais F./ Restivo F.: Integration of Automation Resources in Holonic Manufacturing Applications; In Lecture Notes in Computer Science, Heft Nr. 2744, 2003, S.35-46.

Leitao et al. (2007)
Leitao, P./ Mendes, MJ./ Bepperling, A./ Cachapa, D./ Colombo, AW./ Restivo, F.: Integration of virtual and real environments for engineering service-oriented manufacturing systems. In Journal of Intelligent Manufacturing; Heft Nr. 23; 6.Jg.; 2007; S. 2551-2563.

Leitao und Restivo (2008)
Leitao, P./ Restivo, F.J.: Implementation of a Holonic Control System in a Flexible Manufacturing System, In IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics; Heft Nr. 38; 5.Jg; 2008; S. 699-709.

Leitao (2009)
Leitao, P.: agent-based distributed manufacturing control:Astate-of-the-artsurvey, In Engineering Applications of Artificial Intelligence, Heft Nr. 22, 2009, S. 979-991.

Li et al. (2005)
Li, L./ Fuh, J.Y.H./ Zhang, Y.F./ Nee, A.Y.C.: Application of genetic algorithm to computer-aided process planning, In Distributed Manufacturing environments. In Robotics and Computer-Integrated Manufacturing; Heft Nr. 21; 6.Jg.; 2005; S. 568-578.

Scott et al. (2007)
Scott, SW./ Douglas, HN./ Brennan, RW.: A Multi-agent System Implementation of an Evolutionary Approach to Production Scheduling. In Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing; 2007; S. 213-241.

Shen und Norrie (1999)
Shen, W./ Norrie, D.: agent-based-Systems for Intelligent Manufacturing - A State-of-the-Art Survey. In Knowledge and Information Systems; 1999; S. 129 -156.

Shen (2002)
Shen, W.: Distributed Manufacturing scheduling using intelligent agents, In IEEE Intelligent Systems, Heft Nr. 17, 2002, S.88-94.

Shen et al. (2005)
Shen, W./ Hao Q./ Wang, L.: Towards a cooperative Distributed Manufacturing management framework, In Computers in Industry, Heft Nr. 56, 2005, S.71-84.

Shen et al. (2006)
Shen, W./ Hao, Q./ Yoon, H.J./ Norrie, D.H.: Applications of agent-based-Systems in intelligent manufacturing: An updated review, In Advanced Engineering Informatics, Heft Nr. 20, 2006, S.415-431.

Sormaz et al. (2004)
Sormaz, D.N./ Arumguam, J., Rajaraman, S.:Integrative process plan model and representation for intelligent Distributed Manufacturing planning, In International Journal of Production Research, Heft Nr. 42, 2004, S. 3397-3417.

Stelzer et al. (2004)
Stelzer, Birgit/ Meyer-Brötz, Fabian/ Schiebel, Edgar/ Brecht, Leo (2015): Combining the scenario technique with bibliometrics for technology foresight. The case of personalized medicine. In: Technological Forecasting and Social Change 98, S. 137–156. DOI: 10.1016/j.techfore.2015.06.008.

Wang et al. (2002b)
Wang L./Sams R./Verner M./ Xi F.: Integrating Java 3D modeland sensor data for remote monitoring and control, In Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Heft Nr.19, 2013, S.13-19.

Wu et al. (2013)
Wu, D./ Thames, JL/ Rosen, DW/ Schaefer, D.: Enhancing the Product Realization Process With Cloud-Based Design and Manufacturing Systems; In Journal of Computing and Information Science in Engineering; Heft Nr. 13, 2013, S.1-14.

Wu et al. (2014)
Wu, D./ Rosen, D./ Wang, L./ Schäfer, D.: Cloud-based Manufacturing: Old Wine in New Bottles?. In Procedia CIRP; Heft Nr. 17; 2014; S. 94-99.

Xie und Tu (2006)
Xie, S.Q./ Tu, Y.L.: Rapid one-of-a-kind product development. In The International Journal of Advanced Manufacturing Technology; Heft Nr. 27; 5.Jg.; 2006; S. 421-430.

Xu (2007)
Xu, X.: STEP into Distributed Manufacturing with STEP-NC. In Process Planning and Scheduling for Distributed Manufacturing; 2007; S. 393-421.

Zhang et al. (2009)
Zhang, WY./ Cai, M./ Qiu, J./ Yin, JW.: Managing Distributed Manufacturing knowledge through mulit-perspective modelling for semantic web applications. In International Journal of Production Research; Heft Nr. 23; 47.Jg.: 2009; S. 6525-6542.

Proceeding Papers

Chituc und Restivo (2009)
Chituc C., Restivo F.: Challenges and Trends in Distributed Manufacturing Systems: Are wise engineering systems the ultimate answer?, Second International Symposium on Engineering Systems MIT, Cambridge, Massachusetts, 2009.

Colombo et al. (2004)

Colombo A. W./ Schoop R./ Leitao P./ Restivo F.: A Collaborative Automation Approach to Distributed Production Systems, Industrial Informatics, Berlin, 2004.

Wang et al. (2002a)
Wang, L/ Shen WM./ Lang S.: Wise-ShopFloor: A Web-Based and Sensor-Driven Shop Floor Environment, In Computer Supported Cooperative Work in Design, 2002.