

Master of Science in Wirtschaftsinformatik
an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
Master-Thesis

Selbstorganisationsmodell für Industrie 4.0

Erstgutachter:

Dr. Oliver Christ
Fachhochschule St. Gallen
oliver.christ@fhsg.ch

Zweitgutachter:

Prof. Dario Gugolz
Hochschule Luzern
dario.gugolz@hslu.ch

Eingereicht am 26. Mai 2017 von

Philip Seybold
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
seybophi@students.zhaw.ch
philip.seybold@gmail.com

Wahrheitserklärung

„Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und nur unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe und dass ich ohne schriftliche Zustimmung der Studiengangleitung keine Kopien dieser Arbeit an Dritte aushändigen werde.“

Gleichzeitig werden sämtliche Rechte am Werk an die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) abgetreten. Das Recht auf Nennung der Urheberschaft bleibt davon unberührt.

Name/Vorname Student/in (Druckbuchstaben)

Philip Daniel Seybold

Unterschrift (Student/in)

P. Seybold

Abstract

Industrieunternehmen auf der ganzen Welt streben nach digitalisierten Prozessen und verbinden Maschinen und Fabriken schon viel länger als es das Schlagwort Industrie 4.0 gibt. Es werden technische und organisatorische Referenzmodelle gebraucht, an denen sich Unternehmen bei der Prozessgestaltung der Industrie 4.0 orientieren können. Für die technischen Schnittstellen zwischen Produkten und Maschinen gibt es im amerikanischen und europäischen Raum die IIRA und RAMI 4.0 Referenzarchitekturen.

Mit der Methode des Information System Research Framework wurde in dieser Master-Thesis ein Organisationsmodell für die Industrie 4.0 entwickelt. Es wurden vier Spannungsfelder zwischen Organisation und Technik identifiziert, die entstehen, wenn ein Produktionsbetrieb der dritten Industriellen Revolution seine Produktion auf Industrie 4.0 mit Cyber-Physischen-Systemen umstellt. Aus den Spannungsfelder Flexibilitätsdilemma, Kompetenzdilemma, Benutzerakzeptanzdilemma und Organisationsdilemma sind insgesamt 16 Anforderungen abgeleitet worden, die das neue Organisationsmodell erfüllen muss. Das neue Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 basiert auf dem kybernetischen Managementmodell Viable System Model und der Organisationsstruktur der Holakratie. Der Teil des Viable System Model zeigt die Managementfunktionen und den Informationsfluss auf allen Organisationsebenen. Die Holakratie organisiert die Arbeit durch Rollen und die Organisationsstruktur besteht aus Rollen und Kreisen. Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 deckt 15 von insgesamt 16 Anforderungen aus den Spannungsfelder ab.

Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 organisiert und steuert die digitalisierte weltweite Lieferkette einer Unternehmung so, dass es eine höhere Prozessflexibilität zulässt und schnell auf Umwelteinflüsse reagieren kann, indem auf jede mögliche Situation technische und personelle Ressourcen flexibel kombiniert werden. Die grobe Ressourcenplanung der weltweiten Lieferkette findet zentral statt und ermöglicht es dem Produktionsnetzwerk flexibel auf veränderten Bedarf zu reagieren. Die Feinplanung findet dezentral für jeden Fertigungstyp statt, dadurch kann flexibel auf Ausfälle und Störungen einzelner Fertigungsobjekte reagiert werden.

Die Verifizierung mittels Experteninterview hat gezeigt, dass zur Umsetzung die Interoperabilität von Fertigungsobjekten und die Assistenzsysteme sich weiterentwickeln müssen. Organisatorisch sind besonders die älteren Produktionsmitarbeiter mit den neuen Systemen und der zusätzlichen Verantwortung überfordert. Die zukünftige Forschung muss das abstrakte Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 durch Fallstudien in der realen Welt testen und das Modell iterativ verfeinern.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	1
1.1	Problemstellung	2
1.2	Forschungsziele	4
1.2.1	Ziel – Spannungsfeld Industrie 4.0.....	4
1.2.2	Ziel – Viable System Model.....	4
1.2.3	Ziel – Selbstorganisationsmodell	5
1.2.4	Ziel – grobe Verifizierung.....	5
1.3	Alleinstellungsmerkmal	5
2	Methodisches Vorgehen.....	6
2.1	Forschungsskizze	6
2.2	Zeitlicher Ablauf.....	7
2.3	Methodenframework.....	8
2.3.1	Methode Literaturanalyse.....	9
2.3.2	Methode Plausibilisierung mit Experteninterview	15
3	Literaturrecherche	18
3.1	Quellen zu Industrie 4.0.....	18
3.2	Quellen zu Viable System Model	21
4	Einleitung Industrie 4.0.....	24
4.1	Referenzarchitekturmodell	24
4.1.1	RAMI 4.0	24
4.1.2	IIRA.....	27
4.1.3	Kritische Betrachtung.....	28
4.2	Wandel zur Industrie 4.0.....	31
4.2.1	Cyber-physische Systeme.....	31
4.2.2	Cyber-physische Produktionssysteme	31
4.2.3	Veränderte Automationspyramide.....	32
4.2.4	Sozio-technisches System	33
4.3	Assistenzsysteme – Informationssysteme.....	34
4.3.1	ERP-System	34
4.3.2	APS-System	35
4.3.3	MES-System.....	35
5	Spannungsfelder in der Industrie 4.0	37
5.1	Flexibilitätsdilemma	37
5.1.1	Lean-Management.....	37
5.1.2	Additive Fertigungstechnologien	39
5.1.3	Fazit.....	39

5.2	Kompetenzdilemma.....	40
5.2.1	Automatisierungsdilemma.....	40
5.2.2	Kompetenzbedarf	41
5.2.3	Unterstützende Assistenzsysteme.....	42
5.2.4	Fazit.....	43
5.3	Benutzerakzeptanzdilemma	44
5.3.1	Zentrale /dezentrale Assistenzsystemorganisation	44
5.3.2	Fazit.....	45
5.4	Organisationsdilemma	46
5.4.1	Mensch-Maschinen-Annäherung	46
5.4.2	Organisationsphilosophie	46
5.4.3	Kapazitätsflexibilität der Mitarbeiter	47
5.4.4	Fazit.....	48
6	Organisationsmodelle	49
6.1	Viable System Model	49
6.1.1	Management-Kybernetik.....	50
6.1.2	Modell des lebensfähigen Systems.....	50
6.1.3	System 1 – Hauptaktivitäten.....	51
6.1.4	System 2 – Koordination.....	52
6.1.5	System 3 – Kontrolle.....	52
6.1.6	System 4 – Vernetzung.....	53
6.1.7	System 5 – Normen und Regeln.....	53
6.1.8	Rekursion und Lebensfähigkeit.....	54
6.1.9	Relevanz	54
6.1.10	Vergleich zum St. Galler Management-Modell	54
6.1.11	Vergleich zur Living Systems Theory.....	55
6.2	VSM bei Unternehmen	55
6.2.1	VSM der Konzernorganisation.....	55
6.2.2	VSM der virtuellen Fabrik	57
6.2.3	VSM des Product-Driven-Systems	58
6.2.4	VSM als Self-optimising Production System.....	59
6.2.5	VSM mit MES.....	60
6.3	Managementsystem Holakratie	61
6.3.1	Paradigma und Prinzipien	61
6.3.2	Governance-Prozess	62
6.3.3	Organisationsstruktur	62
7	Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0	64

7.1	Neues Organisationsmodell durch VSM	64
7.1.1	Prinzip	64
7.1.2	Rekursion	65
7.1.3	Systeme	66
7.2	Erweiterung Organisationsmodell durch Holakratie	70
7.2.1	Struktur der Holakratie als Viable System Model.....	70
7.2.2	Rollen im Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0.....	71
7.3	Auswertung der Spannungsfelder.....	72
7.4	Verifizierungsinterviews.....	75
7.5	Beantwortung der Forschungsfrage.....	76
7.6	Fazit	77
8	Schlussbetrachtung	79
Anhang	85
A	Interviewleitfaden.....	85
B	Interview mit Leiter Industrialisierung.....	94
C	Interview mit Leiter Produktion	96
D	Interview mit Leiter Methodenteam	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Zeitlicher Ablauf Master-Thesis (eigene Darstellung).....	7
Tabelle 2 Suchabfragen Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (vom Brocke et al, 2009, S. 6))......	14
Tabelle 3 Suchabfragen VSM-Modell (eigene Darstellung in Anlehnung an (vom Brocke et al, 2009, S. 6))......	14
Tabelle 4 Merkmale Automatisierungs- und Spezialisierungsszenario (eigene Darstellung).....	42
Tabelle 5 Merkmale zentraler und dezentraler Organisationsphilosophie (eigene Darstellung).	47
Tabelle 6 Rekursionsstufen eines Grossunternehmens (eigene Darstellung).....	56
Tabelle 7 VSM-Struktur der virtuellen Fabrik (Bleicher, 2011, S. 222); leicht modifiziert.	57
Tabelle 8 VSM-Struktur des PDS (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011); leicht modifiziert.	58
Tabelle 9 VSM-Systeme bei VMES-Software (eigene Darstellung in Anlehnung an (Brecher, Müller, Breitbach, & Lohse, 2013))......	60
Tabelle 10 Rekursionsstufen Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 (eigene Darstellung).	66
Tabelle 11 Systeme der Rekursion A (eigene Darstellung).	68
Tabelle 12 Systeme der Rekursion A (eigene Darstellung).	69
Tabelle 13 Reduktion des Spannungsfeldes Flexibilitätsdilemma (eigene Darstellung).	73
Tabelle 14 Reduktion des Spannungsfeldes Kompetenzdilemma (eigene Darstellung).	73
Tabelle 15 Reduktion des Spannungsfeldes Benutzerakzeptanzdilemma (eigene Darstellung).	74
Tabelle 16 Reduktion des Spannungsfeldes Organisationsdilemma (eigene Darstellung).	74

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Forschungsskizze (eigene Darstellung in Anlehnung an (Hevner et al, 2004)).	6
Abbildung 2 Information System Research Framework (Hevner et al, 2004).	8
Abbildung 3 Framework für Literaturanalyse (vom Brocke et al, 2009, S. 9).	9
Abbildung 4 Klassifikationsschema Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Cooper, 1988, S. 109)).	10
Abbildung 5 Klassifikationsschema Viable System Model (eigene Darstellung in Anlehnung an (Cooper, 1988, S. 109)).	11
Abbildung 6 Suchprozess Literaturrecherche (vom Brocke et al, 2009, S. 10).	13
Abbildung 7 RAMI 4.0 (Plattform Industrie 4.0; ZVEI, 2015).	24
Abbildung 8 IIRA-Framework (Industrial Internet Consortium, 2017, S. 36).	27
Abbildung 9 Positionierung von IIC und I4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Robert Bosch GmbH, 2017)).	30
Abbildung 10 Alte und neue Sicht der Industrie (Plattform Industrie 4.0; ZVEI, 2015) (designed by freepik, Anna Salari).	32
Abbildung 11 Industrie 4.0 als sozio-technisches System (Hirsch-Kreinsen & Weyer, 2014, S. 12).	34
Abbildung 12 Abhängigkeit der Systeme (eigene Darstellung in Anlehnung an (Albert & Fuchs, 2007)).	36
Abbildung 13 Lenkungszusammenhänge des VSM (Espinosa & Walker, 2013, S. 123); leicht modifiziert in Anlehnung an (Beer, The Heart of Enterprise, 1979, S. 319).	51
Abbildung 14 Organisationsstruktur Holakratie (eigene Darstellung in Anlehnung an (Robertson, 2016, S. 47)).	63
Abbildung 15 VSM vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Beer, The Heart of Enterprise, 1979, S. 321)).	67
Abbildung 16 Holakratie-Kreise einer Rekursion von VSM (eigene Darstellung).	70
Abbildung 17 Holakratie-Kreise vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 (eigene Darstellung).	71

Abkürzungsverzeichnis

APS	Advanced Planning and Scheduling System
CPS	Cyber-physical Systems
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EFA 4.0	Effiziente Fabrik 4.0
ERP	Enterprise Resource Planning
HRSCM	High Resolution Supply Chain Management
IIC	Industrial Internet Consortium
IIoT	Industrial Internet of Things
IIRA	Industrial Internet Reference Architecture
IoT	Internet of Things
ISRF	Information System Research Framework
IT	Informationstechnik
MES	Manufacturing Execution System
MESA	Manufacturing Enterprise Solutions Association
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RFID	Radio-Frequency Identification
SGAM	Smart Grid Architecture Model
TPS	Toyota-Produktionssystem
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik und Informationstechnik
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VMES	Viable Manufacturing Execution System
VSM	Viable System Model
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

1 Ausgangslage

Seit Beginn der dritten industriellen Revolution in den 70er-Jahren haben die Produktionsunternehmen ihre Arbeitsabläufe mittels Elektronik automatisiert und IT-ERP-Systeme haben die Produktionsabläufe digital abgebildet. Die Digitalisierung der Produktionsprozesse ist die treibende Kraft der Industrie 4.0. Anstatt auf Lager vorzuproduzieren werden kundenspezifische Produkte auf Nachfrage und nach dem tatsächlichen Bedarf hergestellt. Die kleineren Losgrößen bei höherer Produktvielfalt verlangen eine flexiblere, transparente und anpassungsfähigere Fertigungsorganisation.

Die technischen Grundlagen der Industrie 4.0 sind intelligente, digital vernetzte Systeme, auch als cyber-physische Systeme (CPS) bezeichnet. Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte kommunizieren und kooperieren in der Industrie 4.0 miteinander. Dies fördert eine stärkere Kollaboration zwischen Mensch und Maschine als dies in den vorherigen industriellen Revolutionen der Fall war. Maschinen verlieren den Charakter als einfaches Werkzeug eines Produktionsmitarbeiters und entwickeln sich zu einem digitalen, vollwertigen Akteur (Latour, 1996) weiter. Durch den Einsatz der Technologie innerhalb von Industrie 4.0 steigt die Komplexität und erhöht die Anforderungen an die Mitarbeiter.

Wenn die aus dem Taylorismus entstandenen hierarchischen, zentralisierten Organisationsmodelle innerhalb der Industrie 4.0 eingesetzt werden, würde viel Potenzial in starren Organisations- und Verantwortungsstrukturen verloren gehen. Eine flexible, dezentralisierte Organisationsstruktur wird gebraucht, welche die Mitbestimmung und Kompetenzen der Mitarbeiter berücksichtigt. Vernetzte Informationssysteme aus der Industrie 4.0 können sowohl als kooperatives System, aber auch als diktierendes System zwischen den Akteuren, Menschen und Maschinen eingesetzt werden.

Dass Unternehmen bei der Umsetzung der Industrie 4.0 oft Schwierigkeiten haben, den vollen Nutzen auszuschöpfen, zeigt auch ein Artikel aus der NZZ (Müller, 2016). Viele Unternehmen tun sich schwer, die Industrie 4.0 in der Praxis umzusetzen. Die Diskrepanz zeigt sich deutlich, wenn ein mittelgroßes Industrieunternehmen verglichen wird mit der Vision von einer täglich systematisch lernenden Institution. In dieser möchte der Kunde individualisierte Produkte gestalten und innert wenigen Tagen in Losgröße 1 erhalten. Unternehmen digitalisieren und verbinden Maschinen und Fabriken schon viel länger, als es das Schlagwort Industrie 4.0 gibt. Das Problem ist nicht, dass zu wenige Daten vorhanden sind, sondern dass die erhobenen Daten aus industriellen Steuerungen nicht genutzt werden. Die Daten müssen frühzeitig für den Entwicklungs- und Optimierungsprozess lesbar gemacht werden.

Es werden dringend Referenzmodelle benötigt, an denen sich Unternehmen in technischen und organisatorischen Fragen orientieren können. Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Rami 4.0) ist ein Ordnungsrahmen für die technischen Schnittstellen im Produktionsprozess. Bisher gibt es keine organisatorischen Referenzmodelle für die Industrie 4.0.

1.1 Problemstellung

Aus der Ausgangslage geht hervor, dass Unternehmen mit der Digitalisierung der Fabrik schon lange begonnen haben, aber sich schwertun, die Profite aus der Vernetzung und aus den angefallenen Daten zu nutzen. Die Arbeit setzt an diesem Punkt an und es werden folgende Spannungsfelder der Industrie 4.0 identifiziert.

Spannungsfeld 1: Flexibilitätsdilemma

Unternehmen aus der Automatisierung haben ihre Produktionsprozesse auf Massenfertigung und Lagerhaltung ausgelegt. Mit den Lean-Management-Prinzipien haben Unternehmen durch Standardisierung von Prozessen auf Just-in-Time-Produktion und auf die Herstellung von kleinen Losgrößen bei tiefer Lagerhaltung umgestellt. Die Digitalisierung der Produktionsprozesse schafft Transparenz und unterstützt das Lean-Management auch in einer starren Organisation, um Verschwendungen zu erkennen, zu reduzieren und dadurch die Effizienz zu steigern (Shah & Ward, Defining and developing measures of lean production, 2007). Die Industrie 4.0 fordert eine flexible Prozessgestaltung, adaptive Fertigungstechnologien und iterative Entwicklungsprozesse, um die Vorteile der cyber-physischen Produktionssysteme zu nutzen (Friederichsen et al., 2015). Das Spannungsfeld beschreibt das Aufeinandertreffen der flexiblen Prozessgestaltung auf die starre Prozessorganisation und Prinzipien der Lean-Management-Ansätze.

Spannungsfeld 2: Kompetenzdilemma

Das Automatisierungsdilemma von (Bainbridge, 1983) besagt, dass Automatisierung von Prozessen dazu führt, dass Menschen die ablaufenden Prozesse nur noch überwachen, jedoch nicht mehr verstehen. Dadurch ist der menschliche ‚Überwacher‘ wegen der Automatisierung zunehmend weniger in der Lage, seiner Überwachungstätigkeit nachzugehen. Cyber-physische Systeme können das Dilemma lösen, indem neue Möglichkeiten der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Prozessdaten genutzt werden, die es dem Nutzer ermöglichen, im Bilde zu bleiben (Hartmann, 2015). Es müssen neue Kompetenzen entstehen, die es den Mitarbeiter ermöglichen, mit der grösseren Menge an In-

formationen und Daten umzugehen (Kreimeier et al., 2014). Das Spannungsfeld beschreibt, dass die fehlenden Kompetenzen bei Mitarbeitern erst aufgebaut werden müssen und dies die Einführung von Industrie 4.0 bremst.

Spannungsfeld 3: Benutzerakzeptanzdilemma

Die Planung der Industrie 4.0 wird dezentralisiert, gemeinsam genutzte Informationen müssen in einem zentralen System verwaltet werden. Zur Planung werden verschiedene dezentrale Systeme untereinander vernetzt und diese ermitteln die optimale Lösung. Je komplexer die Planungsalgorithmen der Assistenzsysteme sind, desto weniger können die Mitarbeiter die Planung nachvollziehen und umso mehr lehnen sie das System ab (Spath et al., 2013, S. 95-100). Bis die Mitarbeiter Vertrauen in die Assistenzsysteme gewonnen haben, wird die Einführung von komplexen Planungsalgorithmen verhindert. Das Benutzerakzeptanzdilemma bremst die Entwicklung der Industrie 4.0.

Spannungsfeld 4: Organisationsdilemma

Mensch und Maschinen nähern sich in der Industrie 4.0 an und die physische Trennung zwischen Roboter und Arbeiter aus der dritten industriellen Revolution verschwindet (Wischmann, 2015, S. 149-160). Durch die Abschaffung der Grenzen mit der Technik kann durch eine dezentrale Organisationsphilosophie statt einer Kommandobrücke eher ein Marktplatz entstehen, auf dem technische Systeme vor Ort Lösungen für Produktionsprobleme aushandeln (Kärcher, 2015). Die Vernetzung durch Industrie 4.0 bringt eine schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen mit sich. Durch die Echtzeitplanung der Produktion wird auch die Planung des Personaleinsatzes flexibler. Der Koordinationsaufwand, um Mitarbeiter flexibel einzusetzen, kann reduziert werden, wenn die Mitarbeiter die Steuerung übernehmen und sich innerhalb flexibler Arbeitsmodelle selbst organisieren (Spath et al., 2013, S. 67-88). Das Spannungsfeld beschreibt die Umstellung von einer zentralen zu einer dezentralen Organisationsphilosophie.

Die vier identifizierten Spannungsfelder hemmen die Unternehmen, die neuen technischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 voll auszuschöpfen. Das neue Automatisierungsniveau basiert auf einer laufenden Selbstoptimierung von intelligenten, dezentralen Systemkomponenten und autonomer Anpassungsfähigkeit an externe Bedingungen (acatech, 2011). Analog zur Technik muss auch die Organisation eines Unternehmens sich anpassen und selber optimieren können.

1.2 Forschungsziele

Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (Rami 4.0) dient als Landkarte, um die Industrie 4.0 zu strukturieren und den aktuellen Stand der Forschung aufzuarbeiten (Plattform Industrie 4.0; ZVEI, 2015). Anhand der Literaturrecherche werden die vier Spannungsfelder der Industrie 4.0 ausgearbeitet und Anforderungen an das neue Organisationsmodell abgeleitet. Im zweiten Teil der Arbeit wird das kybernetische Managementmodell „Viable System Model“ von Stafford Beer (Beer, The Heart of Enterprise, 1979) vorgestellt, und es wird ein Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 erarbeitet. Mit dem erarbeiteten Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 wird geprüft, ob die Anforderungen aus den Spannungsfeldern erfüllt werden können und dadurch auch die Spannungsfelder reduziert werden. Mit Plausibilisierungsgesprächen wird das neue Modell grob verifiziert.

Aus der Ausgangslage und der Problemstellung heraus untersucht diese Master-Arbeit die folgende Forschungsfrage:

Können die Spannungsfelder zwischen Organisation und Technik im Kontext der Industrie 4.0 gelöst werden, wenn ein Selbstorganisationsmodell nach dem Viable System Model-Ansatz verwendet wird?

In den folgenden Kapiteln sind die Zwischenziele der Master-Arbeit beschrieben, welche zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen.

1.2.1 Ziel – Spannungsfeld Industrie 4.0

Anhand der Literaturanalyse wird ein Überblick über die relevanten Aspekte der Industrie 4.0 geschaffen. Danach werden die Spannungsfelder herausgearbeitet, die entstehen, wenn ein Unternehmen aus der dritten industriellen Revolution, der Automatisierung und den Lean-Management-Ansätzen in die Industrie 4.0 wechselt. Berücksichtigt wird auch die Anpassungsfähigkeit von bestehenden ERP-Systemen und es wird eruiert, welche Rolle die MES-Systeme einnehmen.

1.2.2 Ziel – Viable System Model

Das Viable System Model von Stafford Beer wird anhand der Literatur von Fredmund Malik „Strategie des Managements komplexer Systeme“ (Malik, 2015) beschrieben. Danach werden die gefundenen relevanten Interpretationen des Modells aus wissenschaftlichen Publikationen erläutert und das Modell wird kritisch hinterfragt. Die bereits vorhandenen wissenschaftlich erarbeiteten Modelle im Kontext der Industrie werden dokumentiert. Zusätzlich zum VSM können auch

noch andere Organisationsmodelle vorgestellt werden, wenn diese in das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 einfließen.

1.2.3 Ziel – Selbstorganisationsmodell

Dieses Ziel verbindet das bisher erarbeitete Wissen über das VSM-Modell und die State-of-the-Art-Forschung der Industrie 4.0 zu einem neuen Selbstorganisationsmodell für einen Produktionsbetrieb mit Industrie 4.0.

Das Selbstorganisationsmodell ist das zu erarbeitende Hauptartefakt in dieser Master-Thesis. Aus dem Artefakt werden Schlussfolgerungen abgeleitet, welche Anforderungen der Spannungsfelder durch das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 reduziert werden können. Falls nicht alle Anforderungen abgedeckt werden, können auch andere Ansätze von Organisationsmodellen hinzugezogen werden und das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 erweitern. Das erarbeitete Modell lässt Schlüsse zur Stützung oder Verwerfung der aufgestellten Hypothese zu.

1.2.4 Ziel – grobe Verifizierung

Das Selbstorganisationsmodell wird anhand von Experteninterviews bei der Firma Feller by Schneider Electric in Horgen grob verifiziert. Dabei sollen die Vollständigkeit des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0 geprüft werden und die Praxistauglichkeit der Lösung diskutiert werden.

1.3 Alleinstellungsmerkmal

Die Literaturrecherche im Kapitel 3.2 *Quellen zu Viable System Model* von Stafford Beer hat gezeigt, dass seit seiner Entstehung das Modell oft in wissenschaftlichen Artikeln und Arbeiten aufgegriffen wurde. Es gibt einige wissenschaftliche Arbeiten, die das Modell im Produktionsumfeld einsetzen. Zum einen hat die Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG mehrmals von 2007 bis 2011 unter dem Stichwort High-Resolution-Supply-Chain-Management (HRSCM) den VSM-Modellansatz zur Organisation in der Industrie aufgegriffen. Zum anderen wurde an der Internationalen Konferenz von „Industrial Engineering and Systems Management“ das VSM-Modell zur produktgetriebenen Fertigung beschrieben. Dabei geht es um die komplexe Planung der Produktion unter Verwendung von RFID bei Produkten oder Werkstückträgern und um die eingesetzten Kontrollmechanismen. Innerhalb der Literaturrecherche wurde weder im deutschsprachigen noch

im englischsprachigen Raum eine Forschungsarbeit gefunden, in der das VSM-Modell von Beer zur Organisation eines Produktionsbetriebes mit den Informationssystemen der Industrie 4.0 eingesetzt wird oder die Auswirkungen auf dessen organisatorischen und technischen Spannungsfelder beschreibt. Da davon ausgegangen werden muss, dass alles, was erforscht wurde, auch publiziert ist, ergibt sich daraus eine Forschungslücke, die mit dieser Master-Arbeit untersucht wird.

2 Methodisches Vorgehen

In diesem Kapitel werden die angewandten Forschungsmethoden beschrieben. Die Master-Arbeit basiert auf dem konstruktionsorientierten Forschungsansatz Design Science von Hevner. Als Grundlage des Forschungsdesigns wird das Information System Research Framework (Hevner et al, 2004) genommen.

2.1 Forschungsskizze

Die Forschungsskizze in Abbildung 1 zeigt das Vorgehen der Master-Arbeit, gibt eine Übersicht über die Kapitelgliederung und zeigt den Bezug der Inhalte zueinander auf. Die grauen Kapitel zeigen die Metaebene. Die schwarzen Kapitel sind die Lieferobjekte, welche zur Beantwortung der Forschungsfrage beitragen.

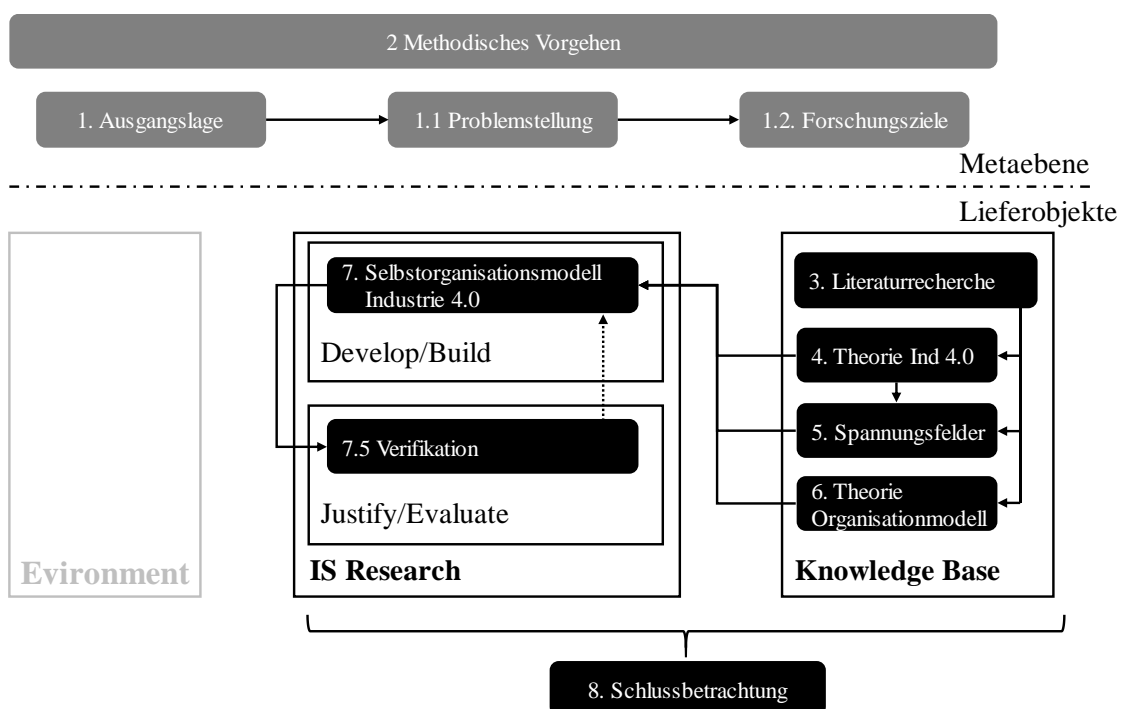


Abbildung 1 Forschungsskizze (eigene Darstellung in Anlehnung an (Hevner et al, 2004)).

2.2 Zeitlicher Ablauf

In Tabelle 1 ist der zeitliche Ablauf der Tätigkeiten zur Erarbeitung der Master-Arbeit chronologisch ab dem Zeitpunkt der Themenauswahl bis zur Abgabe der Master-Thesis aufgeführt. Fixe Termine gemäss den Ausführungsbestimmungen sind **fett** formatiert.

Nr.	Tätigkeiten	Termin
1	Themeneinreichungstermin der Master-Thesis, Bekanntgabe von Erst- und Zweitgutachter.	03. Oktober 2016
2	Einarbeiten in das Thema anhand des Themenantrages und der angegebenen Literaturen.	03.-29. Oktober 2016
3	Formulieren der Ausgangslage, Problemstellung und der Zielsetzung. Methodendesign festlegen. Vorgehen zur Literaturrecherche vertiefen und anwenden. Methode der Fallstudie festlegen.	03.-29. Oktober 2016
4	Die Literaturen in einer Diskussion gegenüberstellen. Anhand der Literaturrecherche Ausgangslage und Problemstellung überarbeiten. Forschungsfrage und Kapitelstruktur definieren.	30. Oktober 2016 bis 26. November 2016
5	Vorstudie überarbeiten und für die Abgabe aufbereiten.	27. November 2016 bis 01. Dezember 2016
6	Master-Thesis Vorstudie Abgabetermin.	02. Dezember 2016
7	Feedback aus der Vorstudie analysieren und in die Arbeit einfliessen lassen.	13.-19. Februar 2017
8	Kapitel zur Theorie der Industrie 4.0 verfassen, ableiten der Spannungsfelder.	20. Februar 2017 bis 26. März 2017
9	Kapitel zu Organisationstheorien des VSM und der Holakratie verfassen.	20. Februar 2017 bis 26. März 2017
10	Aus den beiden Kapiteln wird ein neues Selbstorganisationsmodell entwickelt und die Forschungsfrage beantwortet.	27. März 2017 bis 23. April 2017
11	Interviewleitfaden vorbereiten und Führen der Verifizierungsinterviews.	14. April 2017 bis 07. Mai 2017
12	Erarbeiten der Schlussbetrachtung (Fazit der Arbeit, Aufgreifen der Forschungsfrage und weitere Forschungsempfehlungen).	08. Mai 2017 bis 14. Mai 2017
13	Arbeit finalisieren (Rechtschreibung, einheitlicher Schreibstil...).	15.-25. Mai 2017
14	Master-Thesis Abgabetermin.	26. Mai 2017
15	Vorbereiten der Präsentation.	Bis 04. Juni 2017
16	Präsentation der Master-Thesis.	Bis 23. Juni 2017

Tabelle 1 Zeitlicher Ablauf Master-Thesis (eigene Darstellung).

2.3 Methodenframework

Das methodische Vorgehen orientiert sich am Information System Research Framework (ISRF) Abbildung 2, welches einen Rahmen für das Verstehen, Ausführen und Evaluieren von Forschungsarbeiten im Bereich Information System nach den Behavioral Science- und Design Science-Paradigmen ist. Diese Forschungsarbeit findet im Bereich des Design Science-Paradigmas statt, das zur Erstellung eines neuen theoretischen Organisationsmodells geeignet ist (Hevner et al, 2004).

Als Ausgangspunkt der Arbeit wird die Wissensbasis über die Industrie 4.0 und das Viable System Model erstellt. Im ISR Framework entspricht dies dem rechten Block „Knowledge Base“. Im Kapitel 2.3.1 „Methode Literaturrecherche“ werden die verwendeten Methoden der Literaturrecherche beschrieben. Die Literaturrecherche stellt die Rigorosität des Artefakts sicher.

Wenn die Wissensbasis erstellt ist, wird ein neues Selbstorganisationsmodell aufgrund des anwendbaren Wissens entwickelt. Im ISR Framework ist dies im mittleren der drei Blöcke „IS-Research“ als Artefakt dargestellt. Das neu entstandene Artefakt wird mittels Interviews verifiziert. Aufgrund der Ergebnisse wird das Artefakt weiterentwickelt und verfeinert.

Danach muss das Modell in einer geeigneten Umwelt getestet werden. Dies entspricht dem linken der drei Blöcke „Environment“ und stellt die Relevanz des Artefakts sicher.

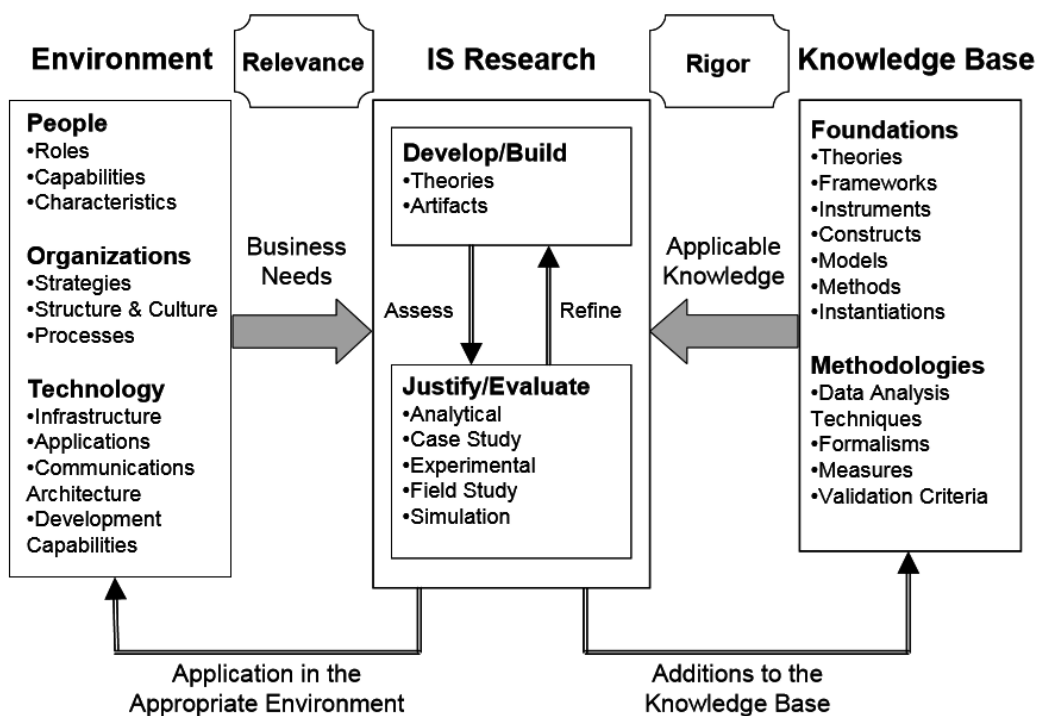


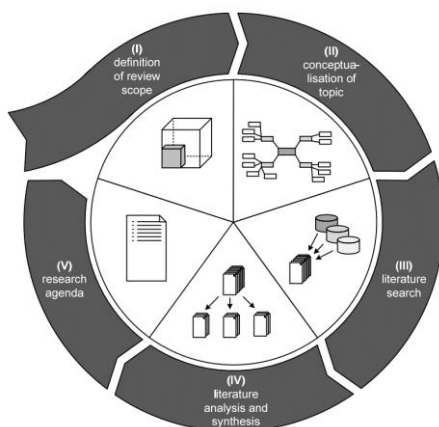
Abbildung 2 Information System Research Framework (Hevner et al, 2004).

Abgrenzung der Methode in dieser Arbeit

Innerhalb dieser Master-Arbeit wird das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 anhand der Anforderungen der Spannungsfelder entwickelt und durch Interviews grob verifiziert. In diesen Entwicklungsschritten wird das Modell kontinuierlich erweitert, bis der Detaillierungsgrad des Selbstorganisationmodells Industrie 4.0 Schlüsse zur Stützung oder Verwerfung der aufgestellten Hypothese zulässt. Es ist nicht Teil dieser Master-Arbeit, Tests in geeigneter Umwelt, also im „Environment“, durchzuführen und das Modell aufgrund der Ergebnisse in iterativen Schritten zu verfeinern.

2.3.1 Methode Literaturanalyse

Die Literaturrecherche bildet die Wissensbasis dieser Master-Arbeit. Da die Literaturanalyse ein zentraler Teil der Master-Arbeit ist und diese methodisch und wissenschaftlich den Anforderungen entsprechen muss, wird nach dem Fünfpunkterahmen in Abbildung 3 von (vom Brocke et al, 2009) vorgegangen. In den Punkten I bis III wird die Vorgehensmethode der Literaturrecherche beschrieben, dies ist in den Kapiteln 2.3.1.1 bis 2.3.1.3 ersichtlich. Der Punkt IV *Analyse und Synthese* ist teilweise bei der Literaturvorstellung in Kapitel 3 *Literaturrecherche* und in den Hauptkapiteln 4 *Einleitung Industrie 4.0* und in Kapitel 6 *Organisationsmodelle* zu finden. Der Punkt V *Reflexion und Ausblick der Forschungsergebnisse* ist im Kapitel 8 *Schlussbetrachtung* beschrieben.



- I. Definition des Untersuchungsrahmens
- II. Entwicklung eines Recherchekonzeptes
- III. Literaturrecherche
- IV. Analyse und Synthese der Suchergebnisse
- V. Reflexion der Forschungsergebnisse und Ausblick

Abbildung 3 Framework für Literaturanalyse (vom Brocke et al, 2009, S. 9).

2.3.1.1 Definition des Untersuchungsrahmens

Es wird eine ausführliche Literaturrecherche von den beiden Themengebieten Industrie 4.0 und Viable System Model benötigt. Gemäss (vom Brocke et al, 2009) ist das Klassifikationsschema von Literaturrecherchen nach (Cooper, 1988, S. 104ff.) geeignet für die Definition des Untersuchungsrahmens. Das Klassifikationsschema berücksichtigt die Charakteristiken Fokus, Ziel, Organisation, Blickwinkel, Zielgruppen und Abdeckung. Für die zwei sehr unterschiedlichen Themen wird es jeweils ein eigenes Klassifikationsschema geben.

Industrie 4.0

Für die Literaturrecherche der Industrie 4.0 wird das Klassifikationsschema gemäss Abbildung 4 verwendet.

Charakteristika	Kategorie			
1 Fokus	Forschungsergebnisse	Forschungsmethoden	Theorien	Anwendungen
2 Ziel	Integration		Kritik	Zentrale Fragen
3 Organisation	Historisch		Konzeptionell	Methodologisch
4 Blickwinkel	Neutrale Betrachtung		Stellungnahme	
5 Zielgruppe	Wissenschaft (Fachspezifisch)	Wissenschaft (Generell)	Praktiker/Politiker	Generelles Publikum
6 Abdeckung	Vollständig	Vollständig und selektierend	Repräsentativ	Zentriert

Abbildung 4 Klassifikationsschema Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Cooper, 1988, S. 109)).

Der Fokus der Recherche ist breit an Forschungsergebnissen, Theorien und relevanten Anwendungen. Es soll ein breites Spektrum hinsichtlich der Thematik Industrie 4.0 recherchiert werden. Die Abdeckung erfolgt daher eher dort „repräsentativ“, wo viele Publikationen dasselbe aussagen und bei relevanten Ereignissen, Theorien sehr „zentriert“ ist. Aufgearbeitet wird das Thema danach konzeptionell, wenn möglich im Rahmen des Rami 4.0. Die Zielgruppe richtet sich klar an die Wissenschaft und an die Praktiker. Der Punkt „Kritik“ in der Charakteristik „Ziel“ wird nicht berücksichtigt, dennoch werden die gefundenen Schwierigkeiten, welche Firmen bei der Einführung von Industrie 4.0 haben, dokumentiert und in die Spannungsfelder einfließen. Generell kritische Haltungen gegenüber der Industrie 4.0 werden nicht recherchiert.

Viable System Model

Für die Literaturrecherche des Viable System Models wird das Klassifikationsschema gemäss Abbildung 5 verwendet.

Charakteristika	Kategorie			
1 Fokus	Forschungsergebnisse	Forschungsmethoden	Theorien	Anwendungen
2 Ziel	Integration		Kritik	Zentrale Fragen
3 Organisation	Historisch		Konzeptionell	Methodologisch
4 Blickwinkel	Neutrale Betrachtung		Stellungnahme	
5 Zielgruppe	Wissenschaft (Fachspezifisch)	Wissenschaft (Generell)	Praktiker/Politiker	Generelles Publikum
6 Abdeckung	Vollständig	Vollständig und selektierend	Repräsentativ	Zentriert

Abbildung 5 Klassifikationsschema Viable System Model (eigene Darstellung in Anlehnung an (Cooper, 1988, S. 109)).

Die Recherche fokussiert auf Forschungsergebnisse und originale bzw. weiterentwickelten Theorien des VSM-Modells. Das Konzept soll kritisch hinterfragt und in den Rest der Arbeit integriert werden. Die Abdeckung erfolgt als Kombination zwischen „repräsentativ“ und „zentriert“ bei relevanten Theorien. Aufgearbeitet wird das Thema danach konzeptionell, und zwar von der allgemeinen Theorie zu den Theorien im Industriebereich; es wird durch eine kritische Würdigung ergänzt. Die Zielgruppe richtet sich an die Wissenschaft generell.

2.3.1.2 Entwicklung eines Recherchekonzeptes

In diesem Kapitel wird das Recherchekonzept genauer beschrieben. Dazu müssen zunächst die Schlüsselwörter benannt werden. Am besten geht dies laut (vom Brocke et al, 2009), indem Zusammenfassungen der Themen im Hinblick auf Schlagwörter durchsucht werden. Als zweiter Schritt müssen Synonyme identifiziert werden, diese stehen in kursiver Schrift hinter dem Hauptwort.

Industrie 4.0

Das Thema Industrie 4.0 ist ein sehr junges Thema, dessen Schlagworte nur im deutschsprachigen Raum verwendet werden. Als Zusammenfassung zum Thema wurde die Internetseite (Plattform Industrie 4.0, 2016) im Hinblick auf Schlagwörter untersucht.

Synonyme für „Industrie 4.0 / *Industry 4.0*“ sind in der Schweiz „Industrie 2025“, im englischsprachigen Raum werden die Begriffe „Digitisation“ oder „Smart Factory“ häufig verwendet.

Als ergänzende Suchbegriffe sollen auch die Themenfelder „Fertigung / *production / manufacturing*“, „Organisation / *organisation*“ und „Prozesse / *process*“ verwendet werden. Zum Auffinden von Spannungsfeldern werden die Begriffe „Automatisierung / *dritte industrielle Revolution*“ und „LeanManagement / *ganzeheitliches Produktionssystem / GPS*“ verwendet. Für die Suche nach „Informationssystemen / *information systems*“ werden zusätzlich die Begriffe „ERP“, „MES“ gebraucht. Bei den Referenzmodellen wird nach „Referenzarchitektur Industrie 4.0“ und „Industrial Internet Reference Architecture“ gesucht.

Viable System Model

Als Zusammenfassung des Themas wurden die einleitenden Kapitel aus dem Buch von (Malik, 2015) für die Identifikation der wichtigsten Schlagwörter durchsucht.

Als Synonym für das „Viable System Model“ dient die Übersetzung „Modell des lebensfähigen Systems“ und „VSM“ als Abkürzung. Auch der Autor „Stafford Beer“ kann als Synonym des VSM-Ansatzes verwendet werden.

Ergänzende Suchbegriffe in einzelnen Themenfeldern des VSM-Modells werden „Rekursionsebene / *recursion*“, „Selbstorganisation / *self-organisation*“, „Systemtheorie / *Systems theory / systems science*“ und „systemisches Management / *management cybernetic*“ verwendet. Zum Auffinden von VSM-Ansätzen in der Industrie werden die Schlagwörter „Industrie / *Industry / Fertigung / Production / manufacturing*“ eingesetzt

Da das VSM-Modell in den 60er-Jahren entstanden ist, werden zum einen Originalquellen untersucht und zum anderen Quellen, die deren Verwendung im Umfeld von Produktionsunternehmen zeigen. Für letzteres werden nur Quellen, die neuer als 2011 sind, verwendet, da auf diesen Quellen das neue Selbstorganisationsmodell basiert.

2.3.1.3 Literaturrecherche

Der Suchprozess beinhaltet nach (vom Brocke et al, 2009) Datenbanken-, Schlüsselwörter-, Vorwärts- und Rückwärtssuche sowie eine laufende Auswertung von Quellen, wie die Abbildung 6 zeigt. Der Suchprozess in dieser Arbeit beinhaltet das Durchsuchen von ausgewählten Datenbanken und Bibliotheken mit präzisen Schlüsselwörtern, die im Kapitel 2.3.1.2 *Entwicklung eines Recherchekonzeptes* definiert wurden, dies schliesst irrelevante Themen aus (Rowley & Slack, 2004, S. 35). Die Suchanfragen werden dokumentiert mit der Anzahl der Treffer und dahingehend, wie viele der Quellen aufgrund des Titels geöffnet und reviewed wurden. Beim Durchsuchen der Datenbanken werden vor allem aktuelle Quellen gesucht, bei denen eine Rückwärtssuche der verwendeten Quellen gemacht wird. Die Vorwärtssuche wird angewandt, um Publikationen von bestimmten Autoren oder später erschienene Publikationen zu finden (Florida Atlantic University Libraries, 2016).

Die Richtigkeit und Glaubwürdigkeit von Internetquellen wurde nach der „Checkliste Quellenkritik Internet“ überprüft und kritisch hinterfragt (Hunziker, 2015, S. 184-185).

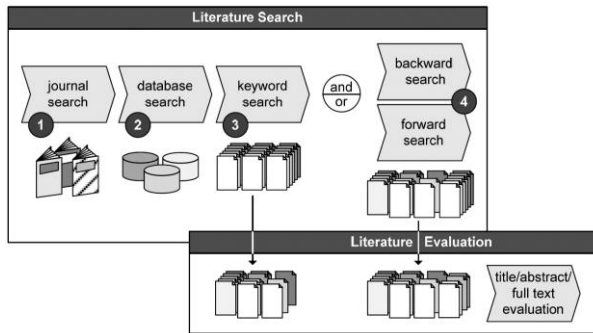


Abbildung 6 Suchprozess Literaturrecherche (vom Brocke et al, 2009, S. 10).

Industrie 4.0

Neben den wissenschaftlichen Papers und Journalen wird ebenso auf die Publikationen der Deutschen Verbände VDMA, ZVEI, Bitkom und VDI/VDE zurückgegriffen, da diese das Thema Industrie 4.0 in der deutschen Politik und auf Konferenzen vorantreiben.

Zeitlich kann das junge Thema auf Dokumente, die ab 2011 entstanden sind, eingeschränkt werden. Der Begriff Industrie 4.0 kam erstmals 2011 während der Hannover Messe an die Öffentlichkeit (Kagermann, Lukas, & Wahlster, 2011).

Die Suchabfragen in den Datenbanken über Industrie 4.0 sind in der Tabelle 2 ersichtlich.

Datenbank	Suchbegriffe	Zeiteinschränkung	Treffer	Reviewed
ScienceDirect	Industry 4.0 und production	2011-2016	113	18
	Industry 4.0 und manufacturing	2011-2016	110	23
	Industrie 2025	2011-2016	0	0
	Smart Factory	2011-2016	106	11
	digitisation und manufacturing	2011-2016	147	7
	Industrie 4.0 und ERP	2011-2016	87	10
	Industrie 4.0 und MES	2011-2016	884	16
	Referenzarchitektur Industrie 4.0	2011-2017	2	2
BASE	Industrie 4.0 und Lean-Management	2011-2017	121	7
	Industry 4.0 manufacturing – mit zusätzlichen Wortformen	2011-2016	1389	38
	Industry 4.0 organisation – mit zusätzlichen Wortformen	2011-2016	385	12
	Referenzarchitektur Industrie 4.0 – mit zusätzlichen Wortformen	2011-2016	8	5

Google Scholar	„industrie 4.0“ manufacturing file-type:pdf	2011-2016	822	27
	“Industrie 4.0“ und Lean-Management	2011-2016	826	12
	Referenzarchitektur Industrie 4.0	2011-2017	212	10
	„Industrial Internet Reference Architecture“	2011-2017	86	12

Tabelle 2 Suchabfragen Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (vom Brocke et al, 2009, S. 6)).

Viablen System Model

Die Datenbanksuche mit Rückwärtssuche wird für eine State of the Art-Analyse zum Viable System Model von Stafford Beer benötigt. Zum Beschreiben des VSM-Modells von 1959 werden zum einen Originalquellen von Stafford Beer untersucht und zum anderen werden mittels Vorwärts- und Datenbanksuche Quellen, die deren Verwendung im Umfeld von Produktionsunternehmen zeigen, untersucht. Für die Diskussion des Modells fließen kritische Betrachtungen mit ein. Die Suchabfragen in den Datenbanken über das VSM-Modell sind in Tabelle 3 ersichtlich.

Datenbank	Suchbegriffe	Zeiteinschränkung	Treffer	Reviewed
ScienceDirect	„viable system model“		33	8
	„viable system model“ und manufacturing	2011-2016	18	6
	Stafford Beer und manufacturing		55	4
BASE	viable system model und manufacturing – mit zusätzlichen Wortformen		327	14
	viable system model und Industry 4.0 – mit zusätzlichen Wortformen	2011-2016	25	1
	stafford beer industry – mit zusätzlichen Wortformen		5	1
Google Scholar	„viable system model“ filetype:pdf		869	17
	„viable system model“ industry filetype:pdf	2011-2016	234	27
	beer stafford digitization industry filetype:pdf	2011-2016	37	8
	Kritik am viable system model		2120	7

Tabelle 3 Suchabfragen VSM-Modell (eigene Darstellung in Anlehnung an (vom Brocke et al, 2009, S. 6)).

2.3.2 Methode Plausibilisierung mit Experteninterview

Die Interviews dienen einer ersten Verifizierung des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0. Dazu werden Experteninterviews zur Plausibilisierung wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse verwendet, wie dies von (Kaiser, 2014, S. 34) beschrieben ist. Die im Rahmen der Befragung erhobenen Daten fließen als kontinuierliche Erweiterung in das Modell ein, die Ergebnisse über die Relevanz und Verständlichkeit werden in der Schlussbetrachtung aufgegriffen. Bei der Erhebung werden die wissenschaftlichen Konzepte vorgestellt und daraufhin werden direkte Fragen zu den Ergebnissen gestellt.

(Kaiser, 2014) verwendet für alle Arten von Experteninterviews ein Fünfpunktevorgehen, das aus dem Erstellen von Interviewleitfaden (Anhang A), einem Pre-Test des Fragebogens, einer Auswahl der Interviewpartner, der Durchführung von Experteninterviews und der Protokollierung der Interviewsituation besteht. Bei einem Interview zur Plausibilisierung ist das Themenfeld dem Forscher bekannt, dadurch kann auf den Pre-Test verzichtet werden (Kaiser, 2014, S. 69). Nach der Interviewdurchführung werden die Ergebnisse gesichert. Die Protokolle und Gesprächszusammenfassung der Interviews sind den Anhängen B, C und D zu entnehmen.

2.3.2.1 Interviewleitfaden

Der Interviewleitfaden ist das Instrument der Datenerhebung und eine Übersetzung des Forschungsproblems. Der Interviewleitfaden erfüllt in einem Experteninterview drei zentrale Funktionen (Kaiser, 2014, S. 52-55):

- Er strukturiert die konkrete Gesprächssituation der bevorstehenden Befragung. Die Strukturierung des Experteninterviews folgt der eigenen Forschungslogik.
- Der Interviewleitfaden muss wichtige Hinweise für die Gesprächssituation enthalten, die vor allem für den Experten im Hinblick auf den Forschungshintergrund relevant sind.
- Der Leitfaden ist das Dokument, mit dem der Interviewer seinen Status als „Co-Experte“ gegenüber dem Befragten belegt.

Das Interview erfordert von den Experten, die Forschungsergebnisse vorzustellen. Damit alle Experten die gleiche Informationsbasis haben, wird das Forschungsergebnis im Interviewleitfaden aufgeschrieben und den Experten vorgetragen. Der Interviewleitfaden ist im Anhang A zu finden.

2.3.2.2 Auswahl der Interviewpartner

Die Gesprächspartner werden für qualitative Interviews nach rein inhaltlichen Erwägungen ausgesucht (Kaiser, 2014, S. 70-72). Die Experten müssen nach (Gläser & Grit, 2006, S. 113) über die relevanten Informationen Kenntnisse haben und in der Lage sein, präzise Informationen zu geben.

Die Auswahl fiel auf drei Mitarbeiter in Führungspositionen der Firma Feller by Schneider Electric. Die Firma beschäftigt sich seit mehreren Jahren mit der Digitalisierung der Produktion. Die Befragten haben Positionen als Produktionsleiter, Methodenteamleiter und Industrialisierungsleiter inne. Dadurch wird die Verifizierung des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0 von unterschiedlichen Standpunkten aus betrachtet. Zum Zeitpunkt der Master-Arbeit ist der Autor in der Industrialisierung bei der Firma Feller by Schneider Electric angestellt.

2.3.2.3 Durchführung von Experteninterviews

Durch die Befragung werden Informationen gewonnen, die durch andere methodische Zugänge nicht oder nur teilweise zu erhalten sind (Kaiser, 2014, S. 79-80). In Experteninterviews können sich vier unterschiedliche „Interaktionseffekte“ ergeben, die sich sehr unterschiedlich auf den Erfolg der Befragung auswirken und vermieden werden sollten (Vogel, 1995, S. 78ff.):

- Der **Eisbergeffekt**: eine von Misstrauen und Desinteresse geprägte Kommunikationssituation, in der ein Experte offenkundig verfügbare Informationen zurückhält.
- Der **Paternalismuseffekt**: eine durch den Experten dominierte Kommunikationssituation, in der ein Experte dem Forscher mitzuteilen gedenkt, welche Informationen für ihn wichtig sind.
- Der **Rückkopplungseffekt**: eine Situation, in der ein Experte das Frage-Antwort-Spiel umkehrt und dabei den Forscher mit Fragen konfrontiert, deren Beantwortung ihn interessieren.
- Der **Katharsiseffekt**: eine Kommunikationssituation, in der ein Experte sich selbst inszeniert und vorwiegend sein Selbstdarstellungsbedürfnis befriedigt.

2.3.2.4 Protokollierung der Interviewsituation

Die Protokollierung erfolgt nach den Kriterien von (Kaiser, 2014, S. 86-88) und dient dem Festhalten der Gesprächsatmosphäre sowie dem Umfang, in dem Fragen beantwortet wurden. Die Protokolle zu jedem Interview sind zu Beginn der Anhänge B, C und D abgelegt.

2.3.2.5 Sicherung der Ergebnisse

Während des Plausibilisierungsinterviews werden Notizen gemacht und das Gespräch wird aufgezeichnet. Für die Analyse der Daten aus den Experteninterviews schlägt (Kaiser, 2014, S. 89-92) aus allen qualitativen Inhaltsanalysen die themenanalytische Inhaltsanalyse vor. Da es ein Plausibilisierungsinterview ist und keine Forschungsfrage beantwortet wird, wird eine abgekürzte Form der themenanalytischen Inhaltsanalyse verwendet. Bei der Transkription werden Sinngehalte der Interviewaussagen aufgeschrieben, die zur Verifikation beitragen. Die Aussagen sind in den Anhängen B, C und D dokumentiert. Im Kapitel 7.4 *Verifizierungsinterviews* wird das Textmaterial im Hinblick auf die analytisch relevanten Inhalte zusammengefasst.

3 Literaturrecherche

Dieses Kapitel stellt die verwendeten Hauptliteraturen vor. Die Quellen werden ergänzend zueinander vorgestellt, sodass sich daraus eine Diskussion ergibt. Der Theorieteil in Kapitel 4 *Einleitung Industrie 4.0*, Kapitel 5 *Spannungsfelder in der Industrie 4.0* und Kapitel 6 *Organisationsmodelle* basieren auf den hier vorgestellten Quellen. Die Methodik der Literaturrecherche und die Verlässlichkeit der Quellen werden im Kapitel 2.3.1 *Methode Literaturanalyse* erläutert. Der Fokus der Literaturrecherche liegt auf der Aufarbeitung der Themen Industrie 4.0 und dem Viable System Model.

3.1 Quellen zu Industrie 4.0

RAMI 4.0

Um einen Überblick über die Industrie 4.0 zu verschaffen, wird das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) vorgestellt, das von der (VDI/VDE-Gesellschaft, 2015) und dem Zentralverband der Elektroindustrie gemeinsam publiziert wurde. Anhand dieser Landkarte werden die Industrie 4.0-Technologien systematisch eingeordnet. Die erste von drei Ausprägungen des RAMI 4.0 ist das *Hierarchie-Level*, dies beschreibt die Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen. Die zweite Ausprägung ist der *Life Cycle & Value Stream* und beschreibt den Lebenszyklus von Anlagen und Produkten. Die dritte Ausprägung *Layers* beschreibt mit Hilfe von sechs Schichten die IT-Repräsentanz einer Maschine.

Hierarchie-Level

Zur Vertiefung des Hierarchie-Levels wird von der VDI/VDE-Gesellschaft der im Rahmen der Hannover-Messe 2013 veröffentlichte Artikel „Cyber-Physical Systems – Chancen und Nutzung aus Sicht der Automation“ (VDI/VDE-Gesellschaft, 2013) verwendet. In dem Artikel hat ein Expertenausschuss aus Industrie und Wissenschaft die CPS-Systeme definiert. Die klassische Automationspyramide wird sukzessive aufgelöst und durch vernetzte, dezentrale, selbstorganisierte Dienste ersetzt.

ERP, ERP II, APS und MES sind einige der Business-Softwares, welche innerhalb der Automationspyramide und im Zusammenhang mit Industrie 4.0 erwähnt werden. Alber und Fuchs' Werk „Durchblick im Begriffsdschungel der Business-Software“ (Albert & Fuchs, 2007) beschreibt die Aufgabenteilung der diversen Softwarelösungen. Wichtige Komponenten für die Vernetzung der Produktion sind ERP- und MES-Software. Das Magazin Digital Manufacturing hat im Sommer 2013 zwei Artikel zur MES-Kommunikation, „Wenn die Systeme sich verstehen“ (Schleipen, 2013), und zur Funktion von MES als Datenlieferanten für Kennzahlensysteme, „Kennzahlen aus

dem MES“ (Birkmann, 2013), publiziert. Diese beiden Artikel beschreiben die Leistungsfähigkeit von MES-Systemen auf einem aktuellen Stand der Wissenschaft.

Der Artikel „Intelligente Wissensdienste in Cyber-Physischen Systemen“ von (Kreimeier et al., 2014) erläutert die Notwendigkeit von innovativen Assistenzsystemen, die sich aus der steigenden Komplexität von Prozessen und Anlagen in Produktionssystemen ergeben. Verstärkt wird der Bedarf von Assistenzsystemen durch den Rückgang von Personal und dem damit verbundenen Wissensabfluss. Im Artikel werden die Kompetenzmodelle und die organisatorische Implementierung von Assistenzsystemen herausgearbeitet. Die Ansicht von (Kreimeier et al., 2014) wird mit dem Artikel von (Spath et al., Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0, 2015) verglichen. Spath beschreibt das Automatisierungsszenario und das Spezialisierungsszenario als zwei gegensätzliche Extremszenarien. Beim Automatisierungsszenario wird ein grosser Teil der Entscheidungen durch die Technik getroffen, während beim Spezialisierungsszenario die Technik zur Unterstützung menschlicher Entscheidungen dient.

Layers

Die neuen organisatorischen Herausforderungen werden anhand der Ausprägung *Layers* vom RAMI 4.0-Konzept beschrieben. Die Publikation „Industrie 4.0 – Die neue Rolle der IT“ von der Bitkom (Arbeitskreis Industrie 4.0 Markt & Strategie, 2016) liefert einen Leitfaden, der Unternehmen der Digitalwirtschaft neue Impulse und Chancen durch Industrie 4.0 aufzeigt. Im Kapitel Smart Factory-IT werden Herausforderungen und Handlungsempfehlungen an die IT-Organisation und die Fachbereichorganisation beschrieben. Das im 2015 erschienene Buch „Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0“ von (Botthof & Hartmann, 2015) ist eine Sammlung von unterschiedlichen Publikationen, die eine aktuelle Übersicht der Organisation und Prozesse zwischen Mensch und Maschine im Umfeld von Industrie 4.0 geben. In die Spannungsfelder fliessen daraus drei Abschnitte von (Hartmann, 2015), (Kärcher, 2015) und (Wischmann, 2015) ein. Nach (Hirsch-Kreinsen & Weyer, 2014) ergeben sich aus dem sozio-technischen System im Kontext Industrie 4.0 drei relevante Dimensionen im Wandel von Produktionsarbeit: erstens die unmittelbare Mensch-Maschine-Interaktion und sich ändernde Qualifikationsanforderungen. Zweitens die Aufgabenstrukturen und Tätigkeiten der unmittelbar im System Beschäftigten sowie drittens die Arbeitsorganisation von Aufgaben und Tätigkeiten in horizontaler und hierarchischer Hinsicht und die damit verbundene Gestaltung von Kooperation und Kommunikation.

IIRA

Die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) (Industrial Internet Consortium, 2017) wurde vom Industrial Internet consortium (IIC) veröffentlicht und ist das amerikanische Pendant zum RAMI 4.0. Die IIC hat zum Ziel, die Entwicklung, die Annahme und den weit verbreiteten Einsatz von miteinander verbundenen Maschinen und Geräten sowie intelligenter Analytik zu

beschleunigen. Das IIRA-Framework zeigt die Beziehungen zwischen den drei Bereichen „Functional Domains“, „Crosscutting Functions“ und „System Characteristics“. Die IIRA ist eine standardbasierte offene Architektur für Industrie-Internet of Things (IIoT) mit dem Schwerpunkt auf den vier Blickwinkeln Business, Nutzung, Funktionalität und Implementierung.

Effiziente Fabrik (EFA 4.0) Stufenmodell

Im Zwischenbericht der „Studie der Industrie 4.0 – Potentiale, Nutzen und Good-Practice-Beispiele für die hessische Industrie“ ist ein Stufenmodell zur Entwicklungsmessung einer Unternehmung mit Industrie 4.0 ausgearbeitet worden (Anderl et al., 2015). Aus dem EFA 4.0 Stufenmodell werden die Evolutionsstufen einer Industrie 4.0-Fabrik in acht unterschiedliche Merkmale unterteilt, anhand dieser kann der Fortschritt von Industrie 4.0 in einzelnen Firmen beurteilt werden. Es wird die Aussage untersucht, dass die Herstellungskosten und Qualität weiterhin ausschlaggebende Zielgrößen bleiben. Allerdings werden die Faktoren Geschwindigkeit und Wandelbarkeit in der Produktionsgestaltung zunehmend an Bedeutung gewinnen.

Der Artikel von (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016) über „Industry 4.0 implies Lean Manufacturing“ diskutiert die Frage, ob Industrie 4.0 und die Lean-Ansätze koexistieren können und ob eine Industrie 4.0 Lean eingeführt werden kann. Aus dem Artikel geht hervor, welche Aspekte der Industrie 4.0 zu entsprechenden Dimensionen des Lean Manufacturing beitragen, denn es gibt zwischen dem Ansatz der Standardisierung und dem Grundsatz der Industrie 4.0 der flexiblen Produktion einen deutlichen Gegensatz. Dieser ist auch Thema der Studie des Fraunhofer Institutes von (Spath et al., Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0, 2013). Spath geht der Leitfrage nach, welche Entwicklung der Produktionsarbeit erwartet wird, welche Lösungsansätze sich durch CPS für erfolgreiche Produktionsarbeit ergeben und wie sich der Megatrend Flexibilität auf die Produktionsarbeit auswirkt.

Learning Factory

Die folgenden drei Artikel sind in Zusammenarbeit mit einer Learning Factory der Industrie 4.0 der Universität Aachen entstanden. In der Robust Manufacturing Conference (Weber et al., 2014) wurden die vier Enabler IT-Globalisierung, single source of truth, Automation und Kooperation der Industrie 4.0 identifiziert. In der Publikation von (Friederichsen et al., 2015) geht es um die Fertigungsflexibilität als strategische Ausrichtung. Er identifiziert die Zusammenhänge zwischen Flexibilität und Leistungsfähigkeit und verknüpft diese Entwicklung mit den Weiterentwicklungen der Produktionssysteme der Industrie 4.0. Sowohl reaktive als auch proaktive Fertigungsstrategien können in der Industrie 4.0 eingesetzt werden. Friederichsen verdeutlicht die Auswirkungen zwischen Herstellungsstrategie, Umweltunsicherheit und Flexibilitätmethoden. Die letzte Publikation, die im Zusammenhang mit der Learning Factory untersucht wird, ist von der Conference on Learning Factory von (Prinz et al., 2016). Es werden diverse Module der Smart Factory vorgestellt, der Fokus liegt aber auf der Beschreibung des neuen Arbeitsprofils des einzelnen

Mitarbeiters in Industrie 4.0, das nicht auf eine erfolgreiche Verwendung der Systeme vorbereitet ist.

3.2 Quellen zu Viable System Model

Viable System Model

Ausgangslage für das Viable System Model, in Deutsch „Modell des lebensfähigen Systems“, ist das Buch von Fredmund Malik „Strategie des Managements komplexer Systeme“ (Malik, 2015). Dieses beschreibt das Modell, wie es von Stafford Beer in über zwei Jahrzehnten kybernetischer Forschung entwickelt wurde. Er klärt über die Gesetze der Lebensfähigkeit auf, um die Managementaufgaben zu erleichtern. Wichtige Publikationen von Stafford Beer über das Viable System Model sind (Beer, Cybernetics and Management, 1959), (Beer, Brain of the Firm, 1972) und (Beer, The Heart of Enterprise, 1979). An diesen orientiert sich auch Fredmund Malik. Eine Übersicht über die Veränderungen bis 1984 gibt Stafford Beer in seinem Aufsatz (Beer, The Viable System Model: its provenance, development, methodology and pathology, 1984). Er nimmt Stellung zu einigen Einschränkungen seines Modells und verteidigt das unternehmerische und wissenschaftliche Paradigma.

Da das Modell vor über 50 Jahren entwickelt wurde und evtl. für die Wissenschaft nicht mehr relevant ist, wird der Artikel von Markus Schwaninger und Christine Scheef „A Test of the Viable System Model: Theoretical Claim vs. Empirical Evidence“, publiziert im Journal Cybernetics and Systems von (Schwaninger & Scheef, 2016), verwendet, bei dem diverse Forschungsarbeiten und Case Studies analysiert wurden und das Modell einer Überprüfung im Hinblick auf eine Falsifikation unterzogen wird. Die Falsifikation kann nicht bewiesen werden, wodurch der Schluss gezogen wird, dass das VSM-Modell berechtigterweise in die Organisation von Unternehmen eingebunden werden sollte.

Ein Beitrag zur Selbstorganisation ist im Buchteil „Principles of self-organization – in a socio-managerial context“ von (von Foerster, Principles of self-organization - in a socio-managerial context, 1984) beschrieben. Der Autor sieht den Menschen als nicht triviale Maschine, die auf eine vorhersehbare Weise interagiert. Von Foerster zeigt auf, dass sich ein stabiler Wert herausbildet, wenn der Output einer nicht trivialen Maschine immer wieder als Input verwendet wird. Übertragen auf das Management sagt dies aus, dass sich eine Organisation nach einer gewissen Dauer selbst stabilisiert.

St. Galler Management-Modell

Das „St. Galler Management-Modell der vierten Generation“ von (Rüegg-Stürm & Grand, 2014) bedient sich dreier Forschungsstränge: dem systemorientierten Ansatz aus der Managementforschung, dem Practice-Turn aus der Sozialtheorie und dem Process-Turn aus der Organisations-, Management- und Strategieforschung. Bezüglich der Organisationsstruktur ist das St. Galler Management-Modell weniger detailliert als das VSM mit den Systemen eins bis fünf. Dafür sind die Bereiche Strategie, Kultur und Unternehmungsentwicklung deutlich stärker ausgeprägt. Das Ziel des VSM ist ein Diagnose- und Gestaltungsmodell für lebensfähige Organisationen, während das St. Galler Management-Modell die Vermittlung der Managementgrundlagen und die Zusammenhänge zwischen der Organisation und der Umwelt zum Ziel hat.

Living Systems Theory

Die Living Systems Theory von (Miller, 1978) ist eine allgemeine Theorie über die Existenz aller lebenden Systeme und deren Struktur, Interaktion, Verhalten und Entwicklung. Die Theorie vom LST besagt, dass ein lebendes System zum Überleben unabhängig von seiner Komplexität von denselben wesentlichen zwanzig Subsystemen abhängt. Ein Vergleich zwischen der VSM-Theorie und der LST-Theorie haben (Schwaninger & Adam, Lebensfähigkeit sozialer Systeme: Ein Theorievergleich, 2004) angestellt. Die Living Systems Theory wird vor allem von Technikern und Naturwissenschaftlern eingesetzt, während das Viable System Model mehr im General Management und in der Beratung Verwendung findet.

VSM Anwendungen im Kontext der Industrie

Das allgemeine VSM-Modell von Beer wurde seit der Veröffentlichung in vielen Publikationen verwendet und das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 soll auf diesen Weiterentwicklungen aufbauen. Der Artikel „A viable system model for product-driven systems“ von (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011) wurde an der International Conference on Industrial Engineering and Systems Management vorgestellt und zeigt, wie das VSM-Modell in einer produktgetriebenen Fertigung zur Planung eingesetzt wird. Dabei geht es um die komplexe Planung der Produktion unter Verwendung von RFID bei Produkten und um die eingesetzten Kontrollmechanismen. Ein Referenzmodell für die Umsetzung der Fertigungsstrategie von Konzernen mit mehr als einer Produktion haben die Autoren (Taisch, Stahl, & May, 2015) im Artikel „Sustainability in Manufacturing Strategy Deployment“ entwickelt. Es wird ein Referenzmodell zur Implementierung der Entwicklungsstrategie in einem Unternehmen der verarbeitenden Industrie, basierend auf dem Viable System Model, beschrieben. Die Anwendung des VSM-Modells auf der Rekursionsebene der gesamten Produktion wird beschrieben.

Die Integration des Viable System Model-Ansatzes in ein MES-System wird im Artikel „Viable System Model for Manufacturing Execution Systems“ von (Brecher, Müller, Breitbach, & Lohse, 2013) beschrieben. Eine Produktionssteuerung für automatisierte Produktionssysteme wird nach

dem VSM strukturiert, auf diese Weise soll die MES-Software Planungsaufgaben automatisiert erledigen. Ein externer Planer gibt einige Ziele vor und das MES optimiert die Produktion innerhalb dieser Parameter. Die Autoren nennen dieses Prinzip Viable MES (VMES). Das VSM wird zur kognitiven Architektur einer intelligenten Steuerung innerhalb einer Software verwendet.

Die Funktion eines lebensfähigen Systems einer virtuellen Fabrik beschreibt Knut Bleicher in (Bleicher, 2011). Die Theorie des VSM hat sich bei der virtuellen Fabrik selbständig eingestellt, allerdings hätte Zeit gespart werden können, wenn die Organisation von Beginn an nach dem VSM strukturiert worden wäre. Der Artikel „Self-optimizing production systems“ von (Permin et al., 2016) geht auf die spezifischen Anforderungen und Bedürfnisse zur Selbstoptimierung von der Supply Chain bis hin zur Fertigung und Montage ein und zeigt das Potenzial im Hinblick auf Flexibilität und Produktivität auf. Die Autoren diskutieren den allgemeinen Rahmen der Selbstoptimierung in Bezug auf die Struktur und die Integration des Menschen in ein sozio-technisches System. Die Selbstoptimierung der Systeme wird als fester Bestandteil der vierten industriellen Revolution gesehen und als Schlüssel für die nächste Stufe der Produktivitätssteigerung. Das Viable System Model definiert die notwendigen Planungs- und Steuerungsaufgaben für das selbstoptimierte Produktionsmanagement. Die Autoren betrachten ähnlich wie auch (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011) und (Taisch, Stahl, & May, 2015) die Ebene der gesamten Produktion und gehen nicht tiefer in die einzelnen Abteilungs-, Maschinen- oder Mitarbeiterebene ein.

Holakratie

Die Holakratie von (Robertson, 2016) ist ein neues Paradigma des Organisierens und wendet Prinzipien und Mechanismen der Selbstorganisation an. In der Holakratie ist es nicht mehr die Aufgabe der Manager, alle Probleme zu lösen und die Verantwortung für alles zu übernehmen. Die Mitarbeiter erhalten die Verantwortung und die Autorität, um mit ihren eigenen Spannungen umzugehen. Dies ermöglicht den Wandel weg von der Eltern-Kind-Dynamik in der Organisation hin zum autonomen, selbstführenden und erwachsenen Mitarbeiter. Von diesen hat jeder die Macht, in seiner Rolle zu „führen“, um den Sinn und die Aufgabe der Organisation zu unterstützen.

4 Einleitung Industrie 4.0

In diesem Kapitel wird anhand der Referenzarchitekturmodelle RAMI 4.0 und IIRA eine Einleitung auf die Sicht der Digitalisierung in Europas „Industrie 4.0“ und Amerikas „Industrial Internet“ gegeben. Im zweiten Teil wird der Wandel von der jetzigen Industrie zur zukünftigen vernetzten Industrie anhand der cyber-physischen Systeme (CPS) und des Aufbrechens der Automatisierungspyramide beschrieben. Im dritten Teil werden die Assistenzsysteme ERP und MES vorgestellt.

4.1 Referenzarchitekturmodell

Ein Referenzmodell ist ein idealtypisches Modell und betrachtet einen bestimmten Sachverhalt. Es zeichnet sich durch eine hohe Wiederverwendbarkeit bei der Modellierung von Systemen und Architekturen aus und kann als Grundlage für die Entwicklung von Organisationsformen, Prozessen, Hardware, Software und Datenbanken verwendet werden (Schewe, 2016).

4.1.1 RAMI 4.0

RAMI 4.0 wurde erstmals im Jahr 2015 veröffentlicht und bildet das Referenzarchitekturmodell zur Industrie 4.0. Abbildung 7 zeigt das von den Fachverbänden Bitkom, VDMA und ZVEI gemeinsam definierte RAMI 4.0 (Hankel, 2015).

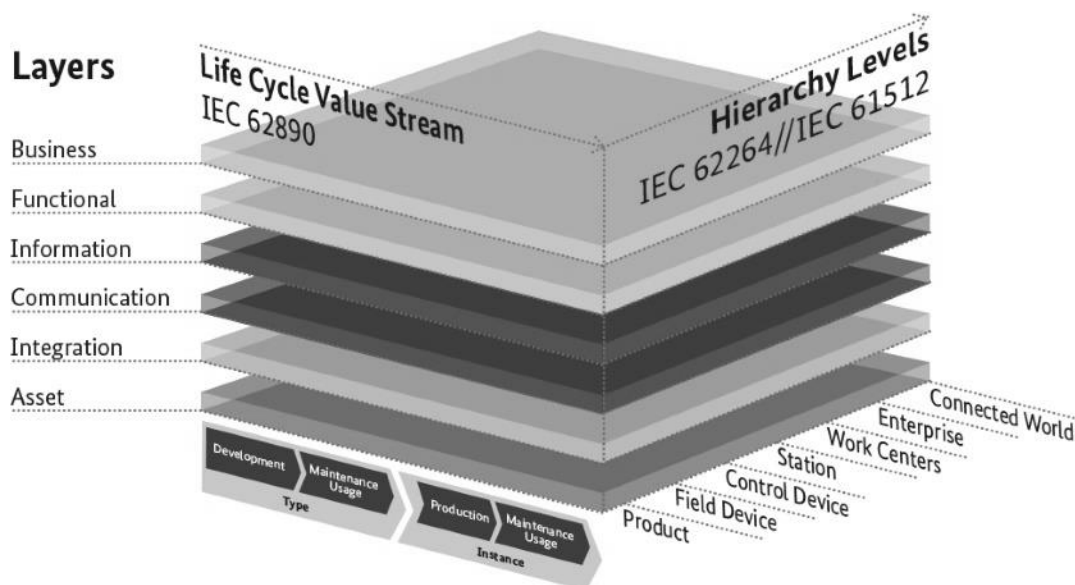


Abbildung 7 RAMI 4.0 (Plattform Industrie 4.0; ZVEI, 2015).

Das RAMI 4.0 gibt der Industrie 4.0 eine einheitliche Struktur, in deren Zentrum die industrielle Produktion als Anwendungsbereich steht. Das Modell zeigt, wie ein Produktionsgegenstand über den kompletten Lebenszyklus hinweg erfasst und IT-seitig durchgängig abgebildet werden kann. Dies bezieht sich auf einzelne Komponenten bis zu ganzen Maschinen und vernetzten Produktionsanlagen. Industrie 4.0 ist auch ein Teil des weiter gefassten Internet of Things‘ (IoT)-Ansatz. IoT umfasst allerdings neben Industrie 4.0 auch Bereiche wie Smart Home, Smart Mobility, Smart Buildings, Smart Grid und Healthcare (Schewe, 2016).

Die drei Achsen des RAMI 4.0-Modelles beschreibt (Schewe, 2016) wie folgt: „Auf den drei Achsen von RAMI 4.0 werden dementsprechend die Hierarchie-Stufen einer über das Internet vernetzten Fertigungsanlage, der Lebenszyklus von Anlagen und Produkten sowie die IT-Repräsentanz einer Industrie-4.0-Komponente beschrieben.“ In dem Modell kann ein Gegenstand, zum Beispiel eine elektrische Achse, genau eingeordnet und die dafür geltenden Standards abgelesen werden.

4.1.1.1 Layers

Die sechs Schichten auf der vertikalen Achse werden als Layers bezeichnet und zeigen die IT-Repräsentanz einer Industrie 4.0-Komponente. Die Layer zeigen die Sichtweise von „Geschäftsprozessen“, „funktionalen Beschreibungen“, „Datenabbildern“, des „Kommunikationsverhaltens“ inklusive Quality of Service (QoS) sowie der Anbindung der „Assets“ über einen „Integration“-Layer. Dieser für die Automatisierungstechnik ungewohnte Ansatz wird in der IT erfolgreich zum Clustern komplexer Prozesse verwendet (VDI/VDE-Gesellschaft, 2015, S. 8).

Als Vorlage für den Layer zur Beschreibung der Sachlage diente das von Siemens entwickelte Smart Grid-Modell (SGAM) (Siemens AG, 2012). Die Verwendung der einzelnen Schichten ist unterschiedlich. Während beim SGAM die Erzeugung über die Übertragung und Verteilung bis zum Verbraucher beschrieben wird, stehen beim RAMI die Schichten für Produktentwicklungs- und Produktionsszenarien im Mittelpunkt.

Um Maschinen, Komponenten, Fabriken und Daten aus dem Entwicklungsprozess besser beschreiben zu können, wurde der Component-Layer vom SGAM durch den „Asset“-Layer ersetzt. Darüber wurde ein neuer Layer „Integration“ erstellt, dieser dient der digitalen Umsetzung der „Assets“ für die virtuelle Repräsentation. Der „Communication“-Layer behandelt Protokolle und die Übertragung von Daten und Dateien, der „Information“-Layer beinhaltet die relevanten Daten, der „Functional“-Layer alle notwendigen formal beschriebenen Funktionen und im Business Layer ist der relevante Geschäftsprozess abgebildet (VDI/VDE-Gesellschaft, 2015, S. 8).

4.1.1.2 Life Cycle & Value Stream

Die Achse repräsentiert den Lebenszyklus und die Wertschöpfungskette in der Industrie 4.0. Lebenszyklus und Wertschöpfungskette sind zusammen und über mehrere Fabriken und alle Partner hinweg im Verbund zu betrachten, nur so kann das Verbesserungspotenzial durch Digitalisierung genutzt werden.

Als Vorlage dient die Norm des Life-Cycle-Management IEC 62890, die eine grundsätzliche Unterscheidung zwischen Typ und Instanz vollzieht. Ein Typ entsteht immer mit der Idee eines Produktes in der Phase Development. Damit sind die Phasen von der Beauftragung über die Entwicklung bis hin zu Tests, ersten Mustern und Prototypen gemeint. Nach der Freigabe der Serienproduktion beginnt die Instanz. Jedes gefertigte Produkt stellt eine Instanz dieses Typs dar. Die Instanz gelangt durch den Verkauf zu einem Kunden. Für den Kunden ist das Produkt zunächst wieder nur ein Typ. Der Typ wird beim Kunden zur Instanz, wenn das Produkt in eine konkrete Anlage eingebaut wird. Der Wechsel vom Typ zur Instanz kann sich mehrmals wiederholen. Rückmeldungen von der Verkaufsphase führen beim Hersteller zur Verbesserung des Typs. Typen und Instanzen unterliegen einer Nutzung und Pflege (VDI/VDE-Gesellschaft, 2015, S. 9-10).

4.1.1.3 Hierarchie-Level

Die dritte Achse von RAMI 4.0 beschreibt die funktionale Einordnung einer Sachlage. Der Aufbau ähnelt der Automatisierungspyramide, die mit einem Layer Connected World ergänzt wurde. Dieser Layer stellt die Vernetzung der verschiedenen Fabriken über das Internet dar und steht für die Integration zum Internet der Dinge und Dienste (Schewe, 2016). Formal orientiert entstand das Hierarchie-Level aus den Normen IEC 62264 und IEC 61512. Um im Hinblick auf möglichst viele Branchen eine einheitliche Betrachtung zu sichern, wurden aus den Normen die allgemeinen Begriffe „Enterprise“, „Work Centers“, „Station“ und „Control Device“ (Kopfsteuerung) verwendet. Um der Betrachtung innerhalb der Maschine oder Anlage gerecht zu werden, wurde unterhalb die funktionale Ebene „Field Device“ (Sensor) hinzugefügt. Das Produkt selbst ist in der Betrachtung der Industrie 4.0 sehr wichtig und ist im Hierarchie-Level als unterste Ebene „Product“ geführt. Analog zur Automatisierungspyramide ist die Vernetzung zwischen den Fabriken als „Connected World“-Level auch in den IEC-Normen nicht enthalten und wurde dem RAMI 4.0 hinzugefügt (VDI/VDE-Gesellschaft, 2015, S. 10-11).

4.1.2 IIRA

Kurz nachdem die Plattform Industrie 4.0 das Referenzarchitekturmodell 4.0 vorstellte, veröffentlichte das Industrial Internet consortium (IIC) die Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) im Juni 2015 (Industrial Internet Consortium, 2015). Die IIC mit Hauptsitz in den USA wurde gegründet, um die Entwicklung, die Annahme und den weit verbreiteten Einsatz von miteinander verbundenen Maschinen und Geräten sowie intelligenter Analytik zu beschleunigen.

Die IIRA ist eine standardbasierte offene Architektur für Industrie-Internet of Things (IIoT) - Systeme mit Schwerpunkt auf den vier Blickwinkeln Business, Nutzung, Funktionalität und Implementierung, abgeleitet von ISO / IEC / IEEE 42010: 2011. Die Architekturbeschreibung und -darstellung sind generisch und auf einem hohen Abstraktionsniveau, um die erforderliche breite Anwendbarkeit der Industrie zu unterstützen. Das IIRA ist Teil einer weiter gefassten Publikationsreihe von der IIC. Eine gute Übersicht über das IIRA-Framework zeigt die Abbildung 8 mit den Beziehungen zwischen den drei Bereichen „Functional Domains“, „Crosscutting Functions“ und „System Characteristics“ (Industrial Internet Consortium, 2017, S. 8-10).

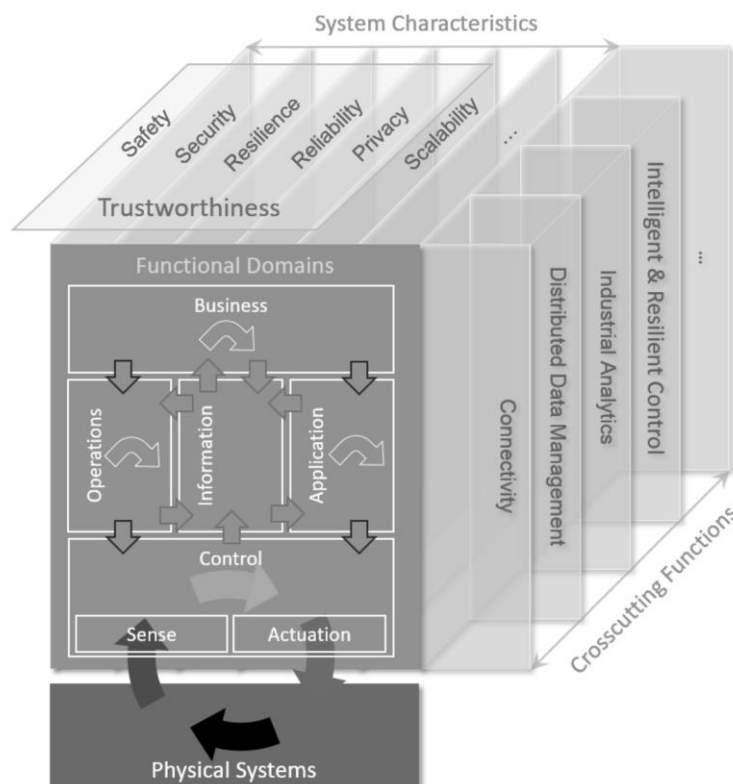


Abbildung 8 IIRA-Framework (Industrial Internet Consortium, 2017, S. 36).

Es gibt fünf wichtige functional domains, die bei jedem Industrie-Internet of Things-System vorhanden sind. Die control domain stellt die Erfassung von Funktionen dar, die von industriellen Steuerungssystemen durchgeführt werden. Es bildet die Verbindung über Aktoren und Sensoren mit der physischen Welt. Die operations domain repräsentiert die Erfassung von Funktionen, die für die Bereitstellung, Verwaltung, Überwachung und Optimierung der Systeme im Kontrollbereich zuständig sind. Die Erfassung von Funktionen zum Sammeln von Daten aus anderen Domänen wird durch die information domain sichergestellt. Die Daten werden transformiert, analysiert und ausgewertet, und es entstehen hochrangige intelligente Aussagen zum Gesamtsystem. Die application domain beinhaltet eine Sammlung von Funktionen und Regeln. Die business domain ermöglicht es, Industrie-Internet of Things-Systeme mit traditionellen oder neuen Arten von Geschäftssystemen zu verbinden, um die Geschäftsprozesse und verfahrenstechnischen Aktivitäten zu unterstützen (Industrial Internet Consortium, 2017, S. 27-34).

Die crosscutting functions stellen zusätzliche Funktionen dar, die wichtige Systemfunktionen domänenübergreifend ermöglichen. Die Connectivity ist eine crosscutting function, die Systemfunktionen zusammenschliesst, damit sie miteinander interagieren können. Die industrial analytics ermöglichen systemübergreifende Analysen. Die Funktion distributed data management stellt die Daten anderen Funktionen zur Verfügung (Industrial Internet Consortium, 2017, S. 34-35).

Bei jedem komplexen System gibt es Eigenschaften, die sich aus den Wechselwirkungen der Bestandteile ergeben. Diese aufkommenden, systemweiten Eigenschaften werden als system characteristics auf einer separaten Achse des IIRA-Frameworks dargestellt. Ein wichtiger Punkt dabei ist die Vertrauenswürdigkeit in ein System, welche auf den Charakteristiken safety, security, resilience, reliability und privacy beruht (Industrial Internet Consortium, 2017, S. 35).

4.1.3 Kritische Betrachtung

4.1.3.1 Stärken/Schwächen RAMI 4.0

Die Plattform Industrie 4.0 fokussiert sich auf die Wertschöpfungskette der industriellen Produktion. Das Referenzarchitekturmodell 4.0 vereint unterschiedliche Nutzerperspektiven und schafft ein einheitliches Verständnis für neue und bestehende Industrie-Technologien. Das Modell gibt eine Orientierung bezüglich nationaler und internationaler Standards und Normen für die Anforderungen der Anwenderindustrien (Hankel, 2015). Unternehmen, die Industrie 4.0 bei sich umsetzen möchten, finden aber keine brauchbaren Informationen über das „Wie“ im RAMI 4.0. Die Referenzarchitektur gibt auch keinen Aufschluss über die Unternehmensorganisation.

Die gesamte Internet of Things-Landschaft besteht aus den Themen Smart Grid, Smart Home, Smart Building, Smart Mobility, Smart Factory und Healthcare. Das RAMI 4.0 deckt davon nur

den Teil Smart Factory ab. Bei den anderen Themen werden die Produkte aus der Smart Factory verwendet, die zur Beschreibung von Funktionen und Vernetzung eigene Normen und Standards benötigen. Diese Beschreibungen werden innerhalb von RAMI 4.0 nicht betrachtet. Das Modell betrachtet die Produkte als Typ und Instanz, bei dem im Verlauf des Lebenszyklus‘ Informationen anfallen.

Als konkretes Beispiel besteht ein Fahrzeug aus mehreren gefertigten Komponenten und arbeitet als eine Einheit zusammen (bis hierhin nur Fertigung). Wenn es zu Hause geparkt wird, um seine Batterien über Nacht aufzuladen, muss es in der Lage sein, sich mit dem Smart Grid zu verbinden. Dies bestätigt die Verbindung zwischen Smart Grid und Smart Mobility: Offensichtlich müssen diese Domänen zusammenarbeiten. Auch auf der Strasse muss das verbundene Fahrzeug mit anderen Fahrzeugen, Ampeln und dem Rest kommunizieren können. Auch hier müssen verschiedene Domänen zusammenarbeiten. Bezogen auf das RAMI 4.0-Modell wird das Fahrzeug mit speziellen Fertigungsansätzen produziert, aber RAMI 4.0 gibt in den anderen Bereichen keine Normen vor (Industrial Internet Consortium; Plattform Industrie 4.0, 2016).

4.1.3.2 Stärken/Schwächen IIRA

Das IIRA-Modell hat seinen Ansatz in allen Domänen des industriellen Internets. Das Modell stellt eine einheitliche Sprache für die industrielle Internet of Things-Entwicklung bereit und hat in diesem Bereich einen Plan zur Normenerstellung. Im Gegensatz zum RAMI 4.0 bezieht sich IIRA auf die gesamte Internet of Things-Landschaft. Die Einsatzmöglichkeiten sind breit gefächert und reichen vom produzierenden Gewerbe, der Agrarwirtschaft oder der Ressourcengewinnung über Krankenhäuser und Einrichtungen für die Gesundheitsvorsorge bis hin zu Vertriebs- und Logistikunternehmen. In Bezug auf das Fahrzeug beispielsweise liefert das IIRA-Modell also Normen bezüglich der Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und den Ampeln und auch für die Herstellung des Fahrzeugs selbst. Das IIRA definiert in seiner Architektur wichtige Systemmerkmale, deren Sicherheit sowie die Querschnittsfunktionen.

4.1.3.3 Positionierung RAMI 4.0 und IIRA

Die Industrie 4.0 legt den Fokus auf die Fertigung oder Smart Factory, während sich der IIC auf die domänenübergreifende Integration und Interoperabilität zwischen den verschiedenen Internet of Things-Themen fokussiert. Dadurch ist das RAMI 4.0-Modell detaillierter in Bezug auf die Fertigung. Die beiden Modelle überschneiden sich in einigen Bereichen: So hat eine gemeinsame Arbeitsgruppe (Industrial Internet Consortium; Plattform Industrie 4.0, 2016) festgestellt, dass

einige Bezeichnungen bei beiden Modellen gleich oder ähnlich sind. Abbildung 9 zeigt die unterschiedliche Positionierung innerhalb der Industrie Internet of Things-Themen.

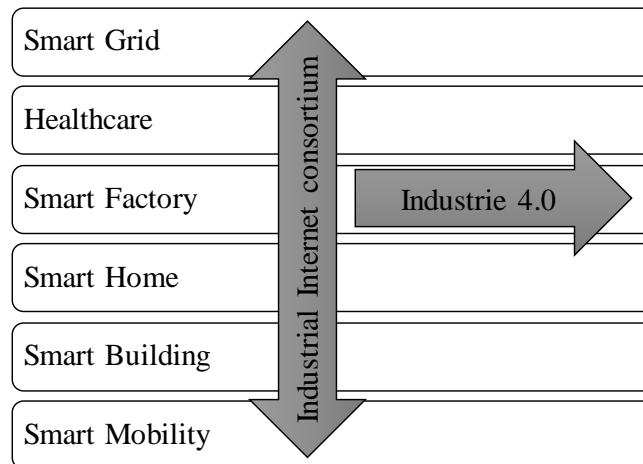


Abbildung 9 Positionierung von IIC und I4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Robert Bosch GmbH, 2017)).

4.1.3.4 Organisationsformen in den Modellen

Sowohl das RAMI 4.0-Modell als auch das IIRA-Modell sind technisch orientierte Frameworks, die es ermöglichen, einen Gegenstand in einen Bereich einzuordnen und Auskunft über geltende Normen geben. Organisationsformen für ein Unternehmen, das Industrie 4.0 einführen möchte, konnten in den Modellen nicht gefunden werden. Im RAMI 4.0 könnten die Organisationsformen der industriellen Fertigung in einem zusätzlichen Layer „Organisation“ ergänzt werden. Alternativ können die Organisationsformen als Ziel im Layer „Business“ integriert werden, in diesem werden bisher Geschäftsprozesse und nur organisatorische Rahmenbedingungen definiert. Im IIRA-Modell könnten die Organisationsformen als „Crosscutting Function“ erweitert werden. In der Literatur konnten für eine Erweiterung der Referenzarchitekturmodelle um Organisationsformen keine Hinweise gefunden werden.

4.2 Wandel zur Industrie 4.0

Dieses Kapitel beschreibt die cyber-physischen Systeme (CPS) und es legt dar, weshalb diese eine zentrale Rolle beim Wandel von der dritten zur vierten industriellen Revolution einnehmen. Anhand der Automatisierungspyramide sieht man, wie bestehende starre Strukturen durch die neue vernetzte Welt der Industrie 4.0 verändert werden. Es werden deren Auswirkungen auf die Unternehmen beschrieben.

4.2.1 Cyber-physische Systeme

Die (VDI/VDE-Gesellschaft, 2013, S. 2) zitiert die Forschungsagenda der cyber-physischen Systeme (acatech, 2012) und definiert den Begriff CPS folgendermassen: „Cyber-Physical Systems (CPS) sind gekennzeichnet durch eine Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze.“ Die Vernetzung der Objekte und Prozesse über offene und globale Informationsnetze findet oft über das Internet statt.

Die Vernetzung von Informationen über globale Informationsnetze und Speicherung von Informationen in Clouds verändert die bekannte Automation erheblich. Es wird möglich, dass Systeme von der starren Struktur beliebig entkoppelt sind und die Verbindungen während der Betriebszeit verändert, beendet und neu aufgebaut werden können. Informationen von Objekten und Prozessen können an beliebiger Stelle bereitgestellt werden. Im Bereich der Industrie sind dies Informationen über Produktionsprozesse (VDI/VDE-Gesellschaft, 2013, S. 2).

4.2.2 Cyber-physische Produktionssysteme

Bei Industrie 4.0 wird in der Produktion aus den cyber-physischen Systemen der Begriff cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) eingeführt. Durch die Vorteile von CPS (hoher Vernetzungsgrad, allgegenwärtige Verfügbarkeit von Daten und Diensten) entstehen für die Automation neue Perspektiven. Adaptive, sich selbst konfigurierende und teilweise selbst organisierende, flexible Produktionsanlagen führen zu einer kostengünstigeren und effizienteren Produktion. In CPPS werden Daten, Dienste und Funktionen dort gespeichert und verwaltet, wo es im Sinne einer flexiblen und effizienten Produktion den grössten Vorteil bringt (VDI/VDE-Gesellschaft, 2013, S. 3-4).

4.2.3 Veränderte Automationspyramide

Die Vernetzung von Industrie 4.0 mit CPS und CPPS geschieht nicht länger auf Basis der klassischen Automatisierungspyramide. Prozessdaten wurden bisher durch Sensoren auf der Feldebene gewonnen und die Daten den Informationssystemen auf der Steuerungsebene zur Verfügung gestellt. Neu können Dienste, Daten und Hardwarekomponenten auf beliebigen Knoten des Automatisierungssystems verteilt werden und bilden vernetzte, dezentral organisierte, funktionale Module (VDI/VDE-Gesellschaft, 2013, S. 4). Abbildung 10 zeigt links die klassische Automatisierungspyramide und rechts die neue Welt der vernetzten, dezentral organisierten Industrie.

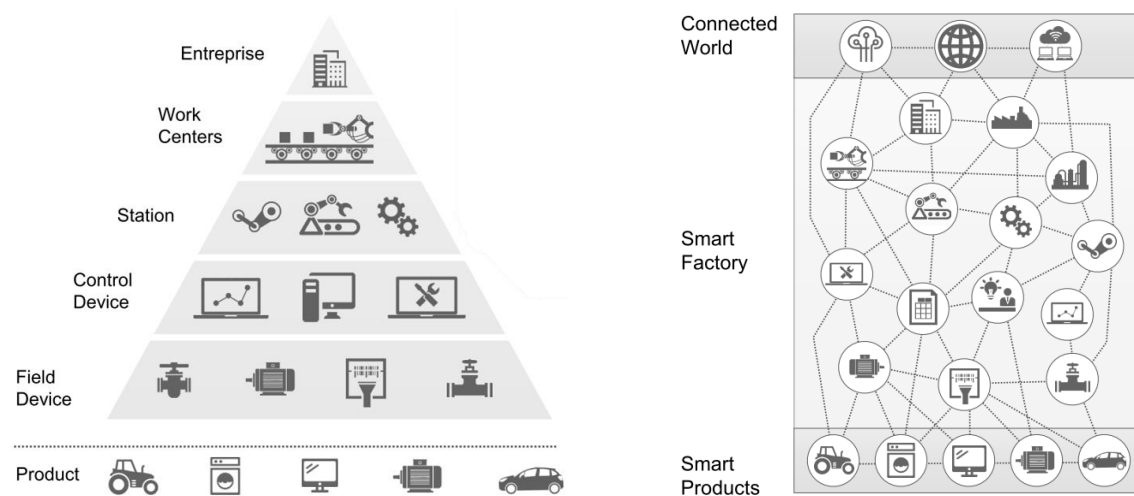


Abbildung 10 Alte und neue Sicht der Industrie (Plattform Industrie 4.0; ZVEI, 2015) (designed by freepik, Anna Salari).

Die neue Welt bietet diverse Herausforderungen und Chancen für Unternehmen. Die Publikation von der Bitkom (Arbeitskreis Industrie 4.0 Markt & Strategie, 2016, S. 16-17) zeigt die neuen Herausforderungen an die Fachbereiche der Organisation infolge der Digitalisierung.

- **Speed und Time-to-Market:** Es verkürzen sich die Entwicklungszyklen von klassischen Produkten. IT soll im Sinne von Industrie 4.0 ein Produktionsfaktor sein, der die Entwicklungszyklen weiter verkürzt und dadurch die Chance auf eine kürzere Time-to-Market bietet. Die IT als Produktionsfaktor organisatorisch und prozessual zu implementieren, ist dabei die grosse Herausforderung.
- **Individualisierung:** Die Produkte haben durch neue Produktionstechnologien wie 3D-Druck einen höheren Individualisierungsgrad. Dadurch können Marktanteile gewonnen werden. Die Herausforderung liegt im Beherrschen der Komplexität mittels IT.
- **Mehrwert aus Daten:** Die IT generiert enorme Datenmengen aus der Produktion. Diese können mit Unternehmens- und Kundendaten angereichert werden, um damit neues Wissen zu generieren. Die Herausforderung liegt im Herstellen der Beziehungen zwischen

den Daten und darin, daraus mittels Algorithmen Auswertungen und Rückschlüsse zu generieren.

- **Intelligente Frühwarnsysteme:** Anstelle von Auswertungen der Vergangenheit sollen neue Analysemethoden eine Vorausschau auf das Kommende geben. Die Herausforderung liegt in der Beherrschung der Analysesysteme und im Schaffen von Vertrauen in die IT-Systeme.
- **Kosteneffizienz:** Durch die Vernetzung, Integration und Wertgenerierung aus Daten stehen neue Möglichkeiten der Fabrikorganisation zur Verfügung. Dadurch kann die Produktion noch kosteneffizienter arbeiten. Die Herausforderung liegt in einer ausgewogenen Vorgehensweise zwischen dem Interesse des Gesamtunternehmens und den notwendigen Investitionen in Infrastruktur, Integration, Hard- und Software.

4.2.4 Sozio-technisches System

Betrachtet man Veränderungen in der Industrie, ist die technische Sicht nur ein Teil davon. Der Blickwinkel des sozio-technischen Systems verweist in der Industrie 4.0 darauf, dass Automation keineswegs nur einzelne auf Arbeitsplätzen, Tätigkeiten und Qualifikationen individueller Personen beruht, sondern Konsequenzen für das gesamte organisatorisch-soziale Gefüge eines Produktionssystems hat. Die Grundannahme des „sozio-technischen Systems bringt (Clegg, 2000, S. 464) folgendermassen auf den Punkt: „Sociotechnical theory has at its core the notion that the design and performance of new systems can be improved, and indeed can only work satisfactorily, if the ‘social’ and the ‘technical’ are brought together and treated as interdependent aspects of a work system.“

Im Konzept des sozio-technischen Systems gibt es drei Dimensionen des Wandels von Produktionsarbeit im Kontext autonomer Produktionssysteme (Hirsch-Kreinsen & Weyer, 2014, S. 13):

- unmittelbare Mensch-Maschine-Interaktion und die damit zusammenhängenden Qualifikationsanforderungen
- Aufgabenstrukturen und die Tätigkeiten der unmittelbar im System Beschäftigten
- Arbeitsorganisation als die arbeitsteilige Strukturierung von Aufgaben und Tätigkeiten in horizontaler und hierarchischer Hinsicht und damit verbundene Gestaltung von Kooperation und Kommunikation zwischen den im und am System Beschäftigten

Die Abbildung 11 zeigt die Industrie 4.0 als sozio-technisches System, bei dem das gesamte System mit übergeordneten strategischen und normativen Vorgaben verknüpft ist.

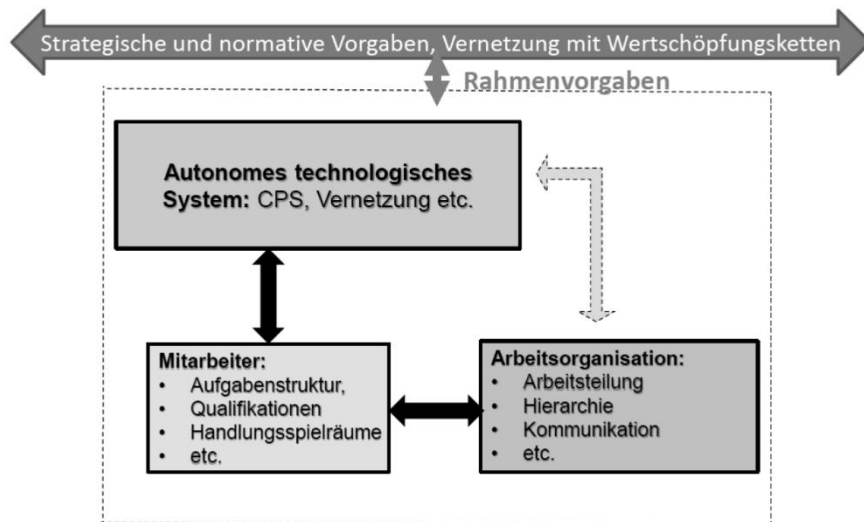


Abbildung 11 Industrie 4.0 als sozio-technisches System (Hirsch-Kreinsen & Weyer, 2014, S. 12).

4.3 Assistenzsysteme – Informationssysteme

Innerhalb der Industrie 4.0 nehmen Assistenzsysteme, zumeist als Informationssysteme bezeichnet, eine entscheidende Rolle ein. Dieses Kapitel beschreibt die wichtigsten Informationssysteme und deren Aufgabenteilung.

4.3.1 ERP-System

Als Enterprise Resource Planning (ERP) versteht man die unternehmerische Aufgabe, alle vorhandenen Ressourcen eines Unternehmens für den betrieblichen Ablauf möglichst effizient einzuplanen. Softwarelösungen, die den ERP-Prozess abbilden, nennt man ERP-Systeme. Als ERP-System bezeichnet man hierbei zentrale, integrierte Informationssysteme, welche die produktionsbezogenen Funktionalitäten der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) abbilden. Typische unternehmensinterne Funktionsbereiche von ERP-Systemen sind Materialwirtschaft, Produktion, Finanz- und Rechnungswesen, Controlling, Forschung und Entwicklung, Verkauf und Marketing, Personalwirtschaft und Stammdatenverwaltung. An den Unternehmensgrenzen unterstützen ERP-Systeme auch die digitale Anbindung von Lieferanten und Kunden (Albert & Fuchs, 2007, S. 3-5).

4.3.2 APS-System

Die Advanced Planning & Scheduling (APS)-Systeme sind modular strukturierte Softwaresysteme zur integrierten Planung und Steuerung unternehmensübergreifender Geschäftsprozesse über die gesamte Wertschöpfungskette hinweg. APS-Systeme werden dabei als Add-Ons mit bestehenden ERP-Systemen verbunden und ersetzen deren PPS-Module. Über die Schnittstellen werden dem APS-System die nötigen Daten für die Planung zur Verfügung gestellt. Nach erfolgreicher Planung, Optimierung oder Simulation im APS-System werden die Ergebnisse zur Ausführung zurück in das ERP-System gespielt (Albert & Fuchs, 2007, S. 6-7).

4.3.3 MES-System

Manufacturing Execution-Systeme (MES) bilden das Bindeglied zwischen Planung und anschließender Fertigung. Die Funktionen eines MES-Systems sind:

- Ist-Betrachtung von Maschinen, Schichten, Bedienern und Produkten
- Bündelung von Informationen der Produktion in übersichtlichen Auswertungen
- Transparenz i. d. Fertigung – Stillstandsursachen. Wo läuft welcher Auftrag in welcher Qualität?
- Schnelle Reaktion auf Ereignisse im Produktionsprozess (reaktive Feinplanung)

Ein MES stellt durch die vertikale Integration die Verbindung zwischen ERP-System (Planungs- und Steuerungsebene) und der Betriebs- und Maschinendatenerfassung (BDE/MDE) der Fertigungsebene her. Während ERP-Systeme über eine breite Funktionsvielfalt verfügen (Planungshorizont: Eine Schicht bis mehrere Wochen), besteht die Aufgabe von MES-Software darin, schnell auf Ereignisse im Produktionsprozess zu reagieren und gegenzusteuern sowie kurzfristige Änderungen im Sinne einer reaktiven Feinplanung durchzuführen (Planungshorizont: Minuten bis einige Tage). Technische Einflussgrößen aus der Fertigung (Maschinenausfälle, längere/kürzere Bearbeitungszeiten als geplant, Personalverfügbarkeit...) können über Schnittstellen zum Maschinenpark erfasst werden. Die meisten Unternehmen koppeln an ihr ERP-System entweder ein MES- oder ein APS-System an. Viele MES-Systeme haben die Funktionalitäten eines APS-Systems integriert. Abbildung 12 zeigt die Abhängigkeit zwischen den APS-, ERP- und MES-Systemen (Albert & Fuchs, 2007, S. 8-9).

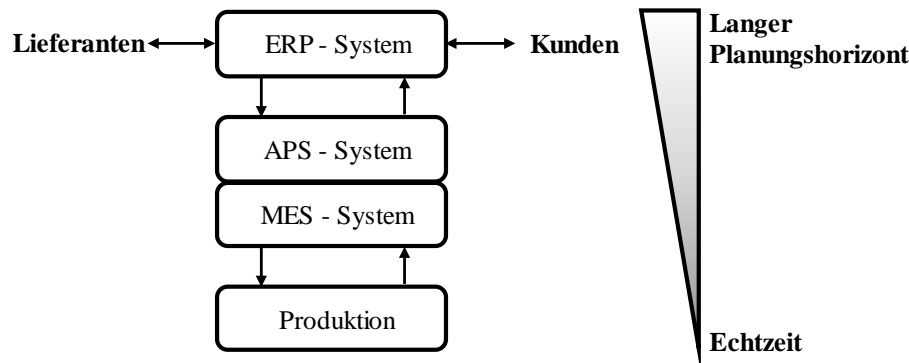


Abbildung 12 Abhängigkeit der Systeme (eigene Darstellung in Anlehnung an (Albert & Fuchs, 2007)).

Das MES stellt für die Industrie 4.0 ein wichtiges Bindeglied zwischen IT und Produktion dar. Auch der beschriebene Funktionsumfang von (Albert & Fuchs, 2007) wurde weiterentwickelt. Die internationale Organisation MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association) beschreibt MES als prozessnah operierende Fertigungsmanagementsysteme, die eine direkte Kopplung zur Steuerungsebene besitzen und auch steuernd in die Produktion eingreifen können. Unverändert bleibt die Positionierung im Hinblick auf die Abhängigkeit der ERP-Systeme und der Produktion. Die MES werden als Datendrehscheibe in der Fabrik der Zukunft gesehen. Durch Industrie 4.0, speziell mit dem RAMI 4.0 Framework, soll die Entwicklung des Datenaustausches zwischen MES und Produktion weiter standardisiert werden. Aktuell gibt es eine grosse Anzahl unterschiedlicher Schnittstellen. Durch die Standardisierung sollen die kommunizierten Daten zwischen Maschinensteuerung und Informationssystem strukturiert vorliegen und die Bedeutung der Inhalte, bezogen auf den Kontext, klar definiert sein. Nur dann spricht man von semantischer Interoperabilität (Schleipen, 2013).

Mit den erfassten Daten aus MES sollen Produktionsabläufe mit Hilfe von Kennzahlen entlang der gesamten Prozesskette optimiert werden; bisher wurde dies nur auf einzelne Anlagen und Flaschenhälse angewandt. Es stehen einem MES-System mit einem Auftragsnetz, einer Engpasssicht und einem Wartungsplan aus allen Bereichen der Produktion Daten zur Verfügung. Mit standardisierten Kennzahlen, wie dies im VDMA-Einheitsblatt 66412 „MES-Kennzahlen“ definiert ist, können sich Betreiber von Kennzahlensystemen auf die Extraktion und Interpretation der Ergebnisse konzentrieren. Dies wird auch einen detaillierteren Vergleich zwischen mehreren Firmen zulassen. MES-Systeme schaffen eine bisher unerreichte Transparenz in der Fertigung, denn für jede Abweichung sind im MES Zusatzinformationen hinterlegt, die sich im Hinblick auf Ursachen untersuchen lassen. Eine bereichsübergreifende Kennzahl lässt sich gezielt auf eine Abteilung, einen Arbeitsplatz bis hin zu einer einzelnen Meldung herunterbrechen (Birkmann, 2013).

5 Spannungsfelder in der Industrie 4.0

Dieses Kapitel beschreibt Spannungsfelder auf Basis der Literatur und dem Kapitel 4 *Einleitung Industrie 4.0*, die auftreten, wenn ein Produktionsbetrieb der dritten industriellen Revolution seine Produktion im Hinblick auf Industrie 4.0 mit cyber-physischen-Systemen umstellt. Die Spannungsfelder werden als Dilemmata beschrieben, welche sich auf die organisatorischen Herausforderungen beziehen. Für eine Einführung der Industrie 4.0 müssen Lösungen für die Dilemmata gefunden werden, denn einerseits sind sie zur Einführung der Industrie 4.0 erforderlich, andererseits wird dadurch eine schnelle Einführung verhindert, und es entstehen Spannungen in den Produktionsunternehmen. Aus jedem Spannungsfeld werden in den Kapiteln mit dem Titel *Fazit* Anforderungen an das neue Organisationsmodell festgehalten.

5.1 Flexibilitätsdilemma

5.1.1 Lean-Management

Das Prinzip des Lean-Managements stammt aus dem Konzept des Toyota Production-Systems (TPS). Der zentrale Gedanke der schlanken Fertigung besteht darin, einen stromlinienförmigen Prozessablauf zu schaffen, der die fertigen Produkte im erforderlichen Tempo der Kunden mit wenig oder gar keinem Abfall produziert (Shah & Ward, *Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance*, 2003). Shah und Ward haben herausgefunden, dass es zehn verschiedene Faktoren gibt, um das Lean-Konzept zu definieren und den Erfolg zu messen. Die 10 Faktoren von (Shah & Ward, *Defining and developing measures of lean production*, 2007) werden den vier Gruppen Lieferanten-, Kunden-, Prozessfaktor und Kontrolle & menschlicher Faktor des sozio-technischen Systems zugeordnet.

Lieferantenfaktoren

- Lieferanten-Feedback: Kritik und Leistungen, die Kunden über Produkte äussern, werden periodisch und effektiv an die Lieferanten weitergeleitet.
- Just-In-Time (JIT)-Lieferung durch Lieferanten: Richtige Menge an Produkten wird zur richtigen Zeit und am richtigen Ort geliefert.
- Lieferantenentwicklung: Lieferanten werden zusammen mit dem Hersteller entwickelt, um Inkonsistenzen oder Missverhältnisse in Kompetenzniveaus zu vermeiden.

Kundenfaktoren

- Kundenbeteiligung: Kunden sind die Hauptbetreiber eines Unternehmens, ihre Bedürfnisse und Erwartungen haben hohe Priorität.

Prozessfaktoren

- Pull-Produktion, auch als JIT-Produktion bekannt: Interne Kanban-Regelkreise steuern den Produktionsbedarf.
- Kontinuierlicher Fluss: Innerhalb der Produktion gibt es keine Stillstände oder liegendes Material.
- Rüstzeitreduktion: Die Dauer, um Ressourcen für andere Produktvariationen umzurüsten, sollte möglichst gering sein.

Kontrolle & menschliche Faktoren

- Vorbeugende Instandhaltung: Das Versagen von Maschinen und Geräten sollte durch regelmässige Wartungen vermieden werden. Die Störungsdauer sollte so gering wie möglich sein.
- Statistische Prozesskontrolle: Die Qualität der Produkte hat oberste Priorität. Kein Defekt darf an den nachfolgenden Prozess weitergegeben werden.
- Mitarbeiterbeteiligung: Durch Motivation und Prozessverständnis sollen die Mitarbeiter den Gesamtbeitrag für das Unternehmen sehen.

Zu jedem der zehn Faktoren des Lean-Managements zeigen (Sanders, Elangeswaran, & Wulfsberg, 2016) auf, welche Probleme bei der Implementierung aus Integrationsperspektive entstehen und wie diese mit Technologien und Konzepten von Industrie 4.0 gelöst werden. Zur Integration an die neuen integrierten Informations- und Kommunikationssysteme braucht es die Adaption einiger der Lean-Management-Ansätze.

Die Lean-Management-Ansätze sind auf eine nachhaltige Effizienzsteigerung und eine Erhöhung des Steuerungspotentials von Prozessen ausgelegt. Die Gruppe Prozessfaktoren fordert einen kontinuierlichen Fluss, gesteuert mittels Pull-Produktion in einer vorgegebenen Produktionsstrasse. Jeder Prozessschritt ist getaktet und auf den vorherigen und nächsten abgestimmt, um Materialliegezeiten zu vermeiden. Assistenzsysteme werden die Transparenz in den Prozessen mittels Echtzeitdaten erhöhen, dadurch sind weitere Prozessoptimierungen in einem starren System möglich. Die Industrie 4.0 fordert aber eine flexible Prozessgestaltung, die sich selber mittels vernetzten CPS-Systemen organisiert. Die starren Prozessstrukturen aus dem Lean-Management müssen gelöst werden.

Die Lieferanten- und Kundenfaktoren unterstützen sowohl das Lean-Management als auch den Ansatz der Industrie 4.0. Bei Industrie 4.0 wird es noch wichtiger, das Material am richtigen Ort zu haben, da bei flexibler, dezentral organisierter Fertigung der Anlieferort häufig variiert. Die digitale Anbindung der Lieferanten und Spediteure wird unverzichtbar.

5.1.2 Additive Fertigungstechnologien

Flexibilität ist neben Qualität, Zuverlässigkeit und Kosten eine der vier operativen Fähigkeiten eines Unternehmens. Bei deutschen Produktionsfirmen besitzt die Qualität oberste Priorität. Die jüngsten Entwicklungen in der Produktionstechnologie mit Industrie 4.0 legen den Fokus vermehrt auf die Flexibilität. Denn im Vergleich zum traditionellen Produktlebenszyklus, der aus den Phasen Entwicklung, Einführung, Wachstum, Reife und Abnahme besteht, beinhaltet ein iterativer Entwicklungsprozess eine Evaluierungsphase mit der Möglichkeit, sich mit Kunden zu integrieren und damit Felddaten zu sammeln. Die additiven Fertigungstechnologien, wie Rapid Prototyping, sind die Grundlage für den iterativen Ansatz und reduzieren die Kosten für die Herstellung eines minimal lebensfähigen Produktes, das im Markt zur Datengewinnung eingesetzt wird und dadurch die Entwicklungseffizienz erhöht (Friederichsen et al., 2015).

Im Bereich der Produktherstellung hat sich Rapid Prototyping zum Rapid Manufacturing weiterentwickelt. Diese Fertigungstechniken und iterative Entwicklungsprozesse sind Enabler, um Fertigungsflexibilität sowohl hinsichtlich reaktiver als auch hinsichtlich proaktiver Fertigungsstrategien innerhalb von Industrie 4.0 einzusetzen. Unternehmen können eine hohe Produktvielfalt zu sehr geringen Grenzkosten entwickeln und herstellen, dadurch ergeben sich ein kürzerer Lebenszyklus und eine höhere Kundenorientierung mit individualisierten Produkten (Friederichsen et al., 2015).

Die Studie der Industrie 4.0 von (Anderl et al., 2015, S. 3-4) nennt als Kernpunkt von Industrie 4.0 eine signifikante Erhöhung der Wertschöpfung. Die in der Studie untersuchten Beispiele und ausgewerteten Experteninterviews im Kontext von Industrie 4.0 zeigen Anpassung und Verbesserung unternehmerischer Kernprozesse wie Entwicklung, Produktionsplanung und Disposition, Produktionsdurchführung, Logistik und Vertrieb. Das grösste Potenzial wird in der Steigerung der Prozesseffizienz zur Verbesserung der unternehmerischen Zielgrössen Herstellungskosten, Qualität, Geschwindigkeit und Wandelbarkeit gesehen. Drei der vier Eigenschaften, und zwar Kosten, Qualität und Flexibilität (entspricht Wandelbarkeit), sieht auch (Friederichsen et al., 2015) als operative Fähigkeiten an.

5.1.3 Fazit

Die Lean Manufacturing-Ansätze sind weit verbreitete Methodiken, um die Produktivität zu verbessern und Kosten in der Herstellungsorganisation zu senken. Die starre Prozessorganisation der Lean-Fertigung und die dedizierten Automatisierungslösungen hindern Unternehmen daran, das technologische Prinzip der dezentralen automatisierten Selbstorganisation der Industrie 4.0 umzusetzen. Die Digitalisierung der Produktionsprozesse schafft Transparenz und unterstützt das

Lean-Management auch in einer starren Organisation, um Verschwendungen zu erkennen, diese zu reduzieren und dadurch die Effizienz zu steigern. Die Industrie 4.0 macht die Fabriken durch die Vernetzung von fortgeschrittenen Informations- und Kommunikationssystemen intelligent. Die Industrie 4.0 fordert eine flexible Prozessgestaltung, adaptive Fertigungstechnologien und iterative Entwicklungsprozesse, um die Vorteile der neuen vernetzten Welt mit cyber-physischen Produktionssystemen zu nutzen. Das Spannungsfeld Flexibilitätsdilemma beschreibt das Aufeinandertreffen der neuen Welt der flexiblen Prozessgestaltung auf die starre Prozessorganisation und die Prinzipien der Lean-Management-Ansätze.

Anforderungen an das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0:

- Unterstützung von adaptiven Fertigungstechnologien
- Vernetzung von CPS-Systemen
- Auflösung der starren Prozessorganisation aus der Lean-Fertigung
- Nutzen der Transparenz von Informationssystemen zur Unterstützung der Lean-Ansätze
- Verbesserungsvorschläge, die Algorithmen aus Prozess- und Produktionsdaten generieren, fließen in den Prozess ein
- Flexible Ersttypenfertigung bei iterativen Entwicklungsprozessen

5.2 Kompetenzdilemma

5.2.1 Automatisierungsdilemma

In diesem Kapitel wird das Dilemma der Benutzerakzeptanz in Bezug auf die Industrie 4.0 beschrieben. In der Automatisierung gibt es ein Problem, das bereits 1983 von Lisanne Bainbridge (Bainbridge, 1983) erkannt wurde und bis heute nicht gelöst ist. Das von ihr beschriebene „Ironies of Automation – Automatisierungsdilemmata“ fasst E.A. Hartmann wie folgt zusammen:

„Die Automatisierung von Prozessen führt häufig dazu, dass Menschen diese automatisch ablaufenden Prozesse nur noch überwachen. In seltenen Fällen ist das automatische System allerdings überfordert, und der Mensch muss eingreifen. Das Problem besteht nun darin, dass der menschliche Operateur aus mehreren Gründen schlecht in der Lage ist, diese Situationen zu bewältigen. Dies liegt zunächst am besonderen Anforderungsgehalt der Situation: Der Automat wird tendenziell dann die Situation nicht mehr beherrschen, wenn die Situation besonders anspruchsvoll ist. Zweitens ist der Mensch, weil er die Situation nicht selbst herbeigeführt hat, kaum ‚aktuell im Bilde‘ und wenig in der Lage, die Situation schnell zu analysieren und Handlungsoptionen abzuleiten. Drittens wird auch

die grundsätzliche Fähigkeit des Menschen, das automatisierte System und die Umgebung insgesamt zu verstehen, mit der Zeit abnehmen, je weniger er aktiv in die Systemsteuerung eingreifen muss. Es entsteht eine ‚ironische‘ Problemlage: Der menschliche ‚Überwacher‘ ist gerade wegen der Automatisierung zunehmend weniger in der Lage, seiner Überwachungstätigkeit gegenüber dem automatisierten System nachzugehen.“ (Hartmann, 2015, S. 18)

Cyber-physische Systeme können das beschriebene Automatisierungsdilemma von Bainbridge lösen, indem neue Möglichkeiten der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Prozessdaten genutzt werden, die es dem Nutzer ermöglichen im Bilde zu bleiben. (Hartmann, 2015, S. 9-20)

5.2.2 Kompetenzbedarf

Bei der Einführung von Industrie 4.0 in einem Unternehmen stellt sich die Frage nach dem richtigen Kompetenzbedarf. Der Artikel von (Spath et al., Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0, 2015) stellt zwei entgegengesetzte Szenarien vor. Unternehmen werden sich zwischen den beiden Extremszenarien positionieren müssen und ihren tatsächlichen Kompetenzbedarf wählen. Auf der einen Seite findet sich das Automatisierungsszenario, dabei wird die Arbeit in CPS durch die Technik bestimmt, dies schränkt die Autonomie von Fachkräften ein. Auf der anderen Seite findet sich das Spezialisierungsszenario, dabei ist Industrie 4.0 die zentrale Domäne der Fachkräfte, deren Fachkompetenz bei jedem Auftrag benötigt wird. In der Tabelle 4 werden die beiden Szenarien in Bezug auf die Entscheidungskompetenzen und Aufgaben der verschiedenen Qualifikationsebenen gegenübergestellt.

Merkmale	Automatisierungsszenario	Spezialisierungsszenario
Grundsatz CPS	CPS lenken die Fachkräfte	Die Fachkräfte lenken das CPS
Entscheidungen	Entscheidungen werden durch Technik getroffen, dies schränkt den Raum für autonome menschliche Entscheidungen und Handlungsalternativen ein.	Technik unterstützt menschliche Entscheidungen
Eingreifen durch Menschen	Nur im Störfall	Prozessoptimierungen Problemlösungen Eingriffe bei Störungen
Untere Qualifikationsebene – An- und Ungelernte	Keine Entscheidungen Kein Eingreifen in die Technik im Störfall	Keine Entscheidungen Kein Eingreifen in die Technik im Störfall

Mittlere Qualifikationsebene – Berufsausbildung – Fortbildungen (Meister, Techniker)	Keine Entscheidungen Kein Eingreifen in die Technik im Störfall	Treffen Entscheidungen Können im Störfall in die Technik eingreifen
Obere Qualifikationsebene – Hochschulabschluss	Treffen Entscheidungen Können im Störfall in die Technik eingreifen	Treffen Entscheidungen Können im Störfall in die Technik eingreifen

Tabelle 4 Merkmale Automatisierungs- und Spezialisierungsszenario (eigene Darstellung).

Durch Industrie 4.0 wird der Anteil der Hochqualifizierten im Automatisierungsszenario stärker steigen als im Spezialisierungsszenario. Der Anteil der Werker sinkt in beiden Szenarien. Im Spezialisierungsszenario ist es für die mittlere Ebene entscheidend, dass die Daten der Industrie 4.0 am richtigen Ort, zur richtigen Zeit und richtig aufbereitet als Entscheidungsunterstützung zur Verfügung stehen. Für die Fachkräfte der mittleren Ebene kommt es zu einer horizontalen Erweiterung des Tätigkeitsprofils, zum Beispiel bei der Terminplanung, Arbeitsvorbereitung und Qualitätsprüfung.

Unternehmen, die eher dem Automatisierungsszenario folgen, werden von dem technischen Teil des sozio-technischen Systems übernommen. Veränderungen können nur von der oberen Qualifikationsebene aus durchgeführt werden. Im Spezialisierungsszenario kann neben den oberen auch die mittlere Qualifikationsebene mit der Technik interagieren. Die Digitalisierung der Prozesse ist noch gut nachvollziehbar.

Weder das eine noch das andere Szenario ist für die Industrie 4.0-Technologie zwingend. Unternehmen wählen aufgrund unterschiedlicher Markt- und Produktionsanforderungen verschiedene Kombinationen aus Arbeitsorganisations- und Technologieoptionen (Spath et al., Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0, 2015).

5.2.3 Unterstützende Assistenzsysteme

Unternehmen werden durch die Innovationen der cyber-physischen Produktionssysteme vor neue Herausforderungen gestellt und benötigen zur Komplexitätsbeherrschung Assistenzsysteme. In CPPS arbeiten Mensch und Maschine eng verzahnt miteinander und bilden ein sozio-technisches System. Daher dürfen die technologischen Innovationen nicht isoliert betrachtet werden, sondern immer im Zusammenhang mit organisationalen und personellen Aspekten. So beschreibt (Kreimeier et al., 2014), dass derart komplexe Systeme, die die Industrie 4.0 bringt, nur von hoch-

qualifizierten Mitarbeitern bedient werden können. Dies zieht einen rasanten Anstieg des Informationsbedarfs sowie des notwendigen beruflichen Kompetenz- und Experteniveaus des Produktionspersonals nach sich. Durch den damit gleichzeitig einhergehenden Rückgang von Personal (demographischer Wandel, der zu einer Verknappung des Arbeitskräfteangebots führt (Kay, 2012)) und dem damit verbundenen Wissensabfluss entsteht ein Befähigungsdefizit im Hinblick auf die Beherrschung der Komplexität. Diese Erkenntnis impliziert die Notwendigkeit innovativer Assistenzsysteme zur Unterstützung von Mitarbeitern.

In technischer Hinsicht müssen Assistenzsysteme in der Industrie Analysen von vorhandenen Technologien durchführen. Dies geschieht unter Zuhilfenahme von Enterprise Resource Planning (ERP), Produktionsplanung & -steuerung (PPS) oder Manufacturing Execution (MES)-Systemen.

Aus organisatorischer und personeller Sicht müssen die Mitarbeiter der Zukunft qualifiziert, gut ausgebildet und praktisch versiert sein. Die Herausforderung im Hinblick auf Assistenzsysteme besteht darin, zusätzliche Kompetenzen eines Mitarbeiters zur Erfüllung komplexerer Tätigkeiten durch eine Assistenzumgebung zu ersetzen und den Umgang mit diesen Systemen bei dem Mitarbeiter sukzessive auszubilden (Kreimeier et al., 2014).

Lernfabriken können Mitarbeitern helfen, neue Technologien zu verstehen, und sie bereiten diese auf das geänderte Berufsprofil vor. Die Herausforderung bei Industrie 4.0 besteht darin, die Daten zusammenzufassen, vorzubereiten und zu interpretieren. Ausserdem kann davon ausgegangen werden, dass früher getrennte Aufgaben und Kompetenzen zusammengeführt werden und die Komplexität der Arbeit erhöht wird. Produktionsplaner und Produktionscontroller müssen an neuen komplexen Systemen ausgebildet werden. In Bezug auf die menschliche Rolle in der Industrie 4.0 werden vor allem die Anforderungen an die beruflichen, sozialen, methodischen und persönlichen Kompetenzen erhöht. (Prinz et al., 2016) nennt die folgenden vier Lernziele, die Mitarbeiter erwerben müssen:

- Umgang mit hohen Daten- und Informationsmengen.
- Benutzen von neuen Methoden und Technologien, die die Industrie 4.0 mitbringt.
- Verstehen von neuen Formen der Organisationsstrukturen in Bezug auf Prozesse und Personalfragen.
- Angewöhnung der neuen menschlichen Rolle im Produktionsprozess.

5.2.4 Fazit

Durch die Verknüpfung von cyber-physikalischen Systemen in der Industrie 4.0 ist die Echtzeitdarstellung aller Prozesse in einer Fabrik möglich. Indem neue Möglichkeiten der Erfassung, Aufbereitung und Visualisierung von Prozessdaten genutzt werden, die es dem Nutzer ermöglichen,

im Bilde zu bleiben, können die Automatisierungsdilemmata von Bainbridge gelöst werden. Es müssen neue Kompetenzen entstehen, die es den Mitarbeiter ermöglichen, mit der grösseren Menge an Informationen und Daten umzugehen. Unternehmen, die in die Industrie 4.0 wechseln, brauchen einen grösseren Anteil an mittleren und oberen qualifizierten Arbeitern, unabhängig davon, ob sie sich eher im Hinblick auf das Automatisierungs- oder das Spezialisierungsszenario positionieren. Die fehlenden Kompetenzen bei Mitarbeitern bremsen die Einführung von Industrie 4.0, da diese erst aufgebaut werden müssen. Dies stellt das Spannungsfeld Kompetenzdilemma dar.

Anforderungen an das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0:

- Verarbeitung von hohen Datenmengen durch Assistenzsysteme
- Verteilung der Kompetenzen auf mehrere Mitarbeiter
- Aufbau fehlender Kompetenzen bei Mitarbeitern
- Einsatz von Mitarbeitern unterschiedlicher Qualifikationsebenen

5.3 Benutzerakzeptanzdilemma

5.3.1 Zentrale /dezentrale Assistenzsystemorganisation

Die Studie des Fraunhofer-Instituts für Arbeitswirtschaft und Organisation (Spath et al., Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0, 2013, S. 95-98) konkretisiert den Bedarf von Assistenzsystemen in Bezug auf die Planung. Die konventionelle Form der deterministischen zentralen Planung, in der ERP-Systeme eine optimierte Produktionsplanung im Voraus berechnen, gelingt nur in den seltensten Fällen gut. Die Systeme sehen keine Flexibilität vor, alle Aufgaben für alle Produktionsressourcen werden zentral festgelegt und exakt terminiert. Im Gegensatz dazu sieht die dezentrale Steuerung eine lokale Optimierung der Aufgaben unter Verwendung der verfügbaren Produktionsressourcen vor. Dadurch werden die Planungsbereiche überschaubarer und es kann kurzfristig und flexibel auf wechselnde Anforderungen reagiert werden. Die personellen Kapazitäten bringen sich in die Planung und Steuerung der dezentralen Bereiche mit ein.

Professor Wahlster ist Experte für künstliche Intelligenz und erklärt: „...die notwendige Komplexitätsreduktion wird durch dezentrale Steuerungen grösser.“ Gewisse Informationen müssen auch bei einem dezentralen Planungsansatz zentral verwaltet werden. In diesem Kontext konstatiert Professor Dieter Spath:

„Vollständig dezentral wird die Datenhaltung nicht sein können. Wir benötigen durchaus zentral gehaltene Daten wie Stammdaten etc., sodass es eine Verknüpfung von beiden Welten geben wird. Die zentralen Systeme werden Datenlieferant für die dezentralen Systeme sein, weil die ja Input-Daten aus dem wirtschaftlichen Umfeld brauchen. [...] Wir werden also beides bekommen und das ist genau der Knackpunkt: wie viel Zentralismus, wie viel Dezentralismus verträgt ein System und wie elastisch wird das System sein.“
(Spath et al., Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0, 2013, S. 95-98)

Bezüglich der Benutzerakzeptanz von digitalen Assistenzsystemen erklärt Dr. Jochen Rode, Leiter der digitalen Produktion bei SAP AG: „Ähnlich wie bei genetischen Algorithmen bei der Planung ist die Nachvollziehbarkeit der Steuerung wichtig. Produktionsleiter möchten wissen, was passiert und wünschen Kontrolle über die Abläufe. Mit heute bereits technisch machbaren, agentenbasierten Systemen, die Lösungen unter sich aushandeln, haben wir schlechte Erfahrungen hinsichtlich der Benutzerakzeptanz“. Menschen brauchen noch eine Weile, um sich an nicht nachvollziehende Planungsvorgänge zu gewöhnen. Nach der Einschätzung von Professor Manfred Broy, Professor für Informatik an der Technischen Universität München, werden Autonomie und Selbstorganisation nur für Teilsysteme in Fabriken zum Einsatz kommen, wobei das Verhalten von geschlossenen Planungssystemen informationstechnisch noch nachvollziehbar ist. Es braucht in Bezug auf die Benutzerakzeptanz sowohl zentralistische Systeme wie auch Elemente von Selbstorganisation (Spath et al., Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0, 2013, S. 99-100).

5.3.2 Fazit

Mitarbeiter lehnen Assistenzsysteme ab, bei denen sie die Planungsschritte nicht nachvollziehen können. Die Industrie 4.0 unterstützt einen dezentralen Planungsansatz, dennoch müssen gemeinsam genutzte Informationen in einem zentralen System verwaltet werden. Zur Planung sind die verschiedenen dezentralen Systeme untereinander vernetzt und ermitteln die optimale Lösung. Je komplexer die Planungsalgorithmen der Assistenzsysteme sind, desto weniger können die Mitarbeiter die Planung nachvollziehen und lehnen das System ab. Mitarbeiter benötigen einige Zeit, um Vertrauen in die Assistenzsysteme zu gewinnen, dadurch wird vorerst die Einführung von komplexen Planungsalgorithmen verhindert. Dies ist das Spannungsfeld Benutzerakzeptanzdilemma, welches die Entwicklung von Industrie 4.0 ausbremst.

Anforderungen an das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0:

- Verhindern von wenig nachvollziehbaren Planungsalgorithmen

- Unterstützung des dezentralen Planungsansatzes der Produktion
- Prozess- und Produktdaten stehen überall in der Wertschöpfungskette zur Verfügung und werden zentral verwaltet.

5.4 Organisationsdilemma

5.4.1 Mensch-Maschinen-Annäherung

Eine saubere Trennung mit Sicherheitszäunen zwischen robotischen und menschlichen Arbeitsplätzen symbolisiert das Paradigma aus der Zeit der industriellen Automation (dritte industrielle Revolution). Der Arbeiter besetzt die Automatisierungslücken, welche aufgrund der Komplexität oder Variantenvielfalt wirtschaftlich nicht zu automatisieren sind. (Wischmann, 2015, S. 149-160) zeigt anhand eines Beispiels bei Toyota auf, dass bei einem zu hohen Automatisierungsgrad Qualitätsprobleme entstehen können, wenn der Mensch die maschinellen Arbeitsschritte nicht mehr kennt und auch nicht überwachen kann (Automatisierungsdilemma). Bei Toyota mussten im Jahr 2009 3.8 Mio. und im Jahr 2014 6.4 Mio. Fahrzeuge zurückgerufen werden. Automatisierungslösungen werden durch Industrie 4.0 weiter ausgebaut. Arbeitskräfte sollen aber wieder in die Lage versetzt werden, die Arbeitsschritte der Maschinen zu verstehen, zu verbessern und bei Fehlern einzuschreiten. Dies soll die Trennung zwischen Mensch und Maschine abbauen, so dass Roboter und Arbeiter nebeneinander koexistieren und durch neue Technologien auch physisch miteinander kooperieren.

5.4.2 Organisationsphilosophie

Der Mensch bleibt ein unverzichtbarer Bestandteil der Produktionswelt der Zukunft, denn er ist der flexibelste und intelligenteste Teil der heutigen und auch der künftigen Fabrik. Mit der Industrie 4.0 wandern Mensch und Technik noch enger zusammen.

Ebenso wie bei den Assistenzsystemen stellt sich auch bei der Organisation die Frage nach einem eher zentralen oder dezentralen Ansatz. Die Tabelle 5 stellt anhand einiger Merkmale aus (Kärcher, 2015) die beiden Organisationsphilosophien gegenüber.

Merkmale	zentrale Organisationsphilosophie	dezentrale Organisationsphilosophie
Entscheidungen	Auf höherer Ebene getroffen	Vor Ort getroffen
Transparenz der Vorgänge	bis in höchste Entscheidungsstufe transparent	dezentrale Handlungen und Entscheidungen als ‚Black Box‘ betrachten
Produktionsressource	Mitarbeiter werden gesteuert und kontrolliert, Menschen sind Bediener	Mitarbeiter als kompetent handelnd, Menschen nutzen Technik
Informationen	Informationen über Menschen erzeugt, verarbeitet	Informationen für die Menschen erzeugt, verarbeitet
Fähigkeiten	menschliche Fähigkeiten werden ersetzt	menschliche Fähigkeiten werden unterstützt, verstärkt

Tabelle 5 Merkmale zentraler und dezentraler Organisationsphilosophie (eigene Darstellung).

Die zentrale Organisationsphilosophie geht von Mitarbeitern als Bediener aus, die von den Entscheidungen der höheren Ebene bestimmt und durch Informationserhebung kontrolliert werden. Die dezentrale Organisationsphilosophie hat kompetente Mitarbeiter, deren Handlungsfähigkeit durch neue technische Systeme unterstützt werden sollen. Im Rahmen der dritten industriellen Revolution wurde vor allem die Top-Down-Strategie verfolgt. Bei den CPS sieht (Kärcher, 2015) Vorteile in der dezentralen Organisationsphilosophie. Statt einer Kommandobrücke gibt es eher einen Marktplatz, auf dem vernetzte autonome technische Systeme dezentral und vor Ort Lösungen für Produktionsprobleme aushandeln. Deshalb werden Lösungen gebraucht, bei der der Mensch unmittelbar mit der Technik interagieren kann. Die Robotik der Zukunft kooperieren auch physisch durch intelligente Sensorik mit den Menschen. Bei Industrie 4.0 soll die Gestaltung und Optimierung der Produktionsprozesse dezentral vor Ort geschehen.

5.4.3 Kapazitätsflexibilität der Mitarbeiter

Die Vernetzung durch Industrie 4.0 bringt für marktorientiert geführte Produktionsunternehmen den wichtigen Erfolgsfaktor, nämlich eine schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen, mit sich. Die nicht so gut planbaren und starken Schwankungen auf den Märkten müssen mit Agilität und Flexibilität in der Produktion abgefangen werden. Neben einer hohen Anlagenflexibilität ist eine proaktive und systematisch eingesetzte Flexibilität der Mitarbeiter erfolgsentscheidend. Dies wird auch als Kapazitätsflexibilität bezeichnet. Die Absatzvolatilität setzt sich bei produzierenden Unternehmen aus kurzfristigen unternehmensspezifischen Effekten, saisonalen Schwankungen, dem Produktlebenszyklus und der konjunkturellen Marktvolatilität zusammen. In Zukunft werden diese Schwankungen weiter zunehmen, da der Markt „on Demand“ befriedigt werden muss und

internationale Schwankungen stärker werden. Unternehmen müssen sich zukünftig auf kurzfristige Schwankungen von Tag zu Tag einstellen. Die bekannten flexiblen Arbeitszeitmodelle reichen heute zwar, aber diese können in der Zukunft an ihre Grenzen stossen. Neue Modelle, wie das Verleihen von Arbeitskräften innerhalb der Unternehmung oder auch unternehmensübergreifend, können eine Lösung sein (Spath et al., Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0, 2013, S. 67-88).

Durch die Echtzeitplanung der Produktion wird auch der Personaleinsatz flexibler geplant. Der Koordinationsaufwand, um Mitarbeiter flexibel einzusetzen, kann reduziert werden, wenn die Mitarbeiter auch hier selbst die Steuerung übernehmen und sich in Gruppen untereinander abstimmen (Spath et al., Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0, 2013, S. 67-88).

5.4.4 Fazit

Mensch und Maschinen nähern sich in der Industrie 4.0 an und die physische Trennung zwischen Roboter und Arbeiter aus der dritten industriellen Revolution verschwindet. Durch die Abschaffung der Grenzen mit der Technik kann durch eine dezentrale Organisationsphilosophie mit kompetenten Mitarbeitern ein Marktplatz entstehen, auf dem technische Systeme vor Ort Lösungen für Produktionsprobleme aushandeln. Die Vernetzung durch Industrie 4.0 bringt den wichtigen Erfolgsfaktor, eine schnelle Reaktion auf Kundenanforderungen, mit sich. Die schlecht planbaren und starken Schwankungen auf den Märkten müssen mit Agilität und Flexibilität in der Produktion abgefangen werden. Durch die Echtzeitplanung der Produktion wird auch die Planung des Personaleinsatzes flexibler. Der Koordinationsaufwand, um Mitarbeiter flexibel einzusetzen, kann reduziert werden, wenn die Mitarbeiter die Steuerung übernehmen und sich innerhalb flexibler Arbeitsmodelle selbst organisieren. Die Umstellung von einer zentralen zu einer dezentralen Organisationsphilosophie ist das Spannungsfeld Organisationsdilemma.

Anforderungen an das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0:

- Dezentrale Organisationsphilosophie der Mitarbeiter
- Mitarbeiter organisieren sich selbständig
- Unterstützung von flexiblen Arbeitsmodellen

6 Organisationsmodelle

In diesem Kapitel wird das Viable System Model von Stafford Beer anhand der Literatur von Fredmund Malik „Strategie des Managements komplexer Systeme“ vorgestellt und die Relevanz aufgezeigt. Danach werden wissenschaftliche Publikationen des VSM aus dem Bereich der fertigen Industrie erläutert und die erarbeiteten Modelle daraus dokumentiert. Zuletzt wird das Organisationsmodell Holakratie von Brian Robertson vorgestellt, da dieses Modell in das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 einfließt.

6.1 Viable System Model

Das Viable System Model (VSM) oder auf Deutsch „Modell des lebensfähigen Systems“ ist ein kybernetisches Managementmodell. Kybernetisches Management bedeutet (Malik, 2015, S. X) zufolge: „Organisiere ein komplexes System so, dass es sich selbst organisieren kann.“ Norbert Wiener (Wiener, 1952) beschreibt Kybernetik als die Wissenschaft der Steuerung und Regelung von Maschinen, lebenden Organismen und sozialen Organisationen und wird auch mit der Formel „die Kunst des Steuerns“ beschrieben.

Eine Organisation kann auch als eine nicht-triviale Maschine angesehen werden. Die Theorie über eine triviale und nicht-triviale Maschine wird im Buch von (von Foerster, Sicht und Einsicht. Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie, 1985, S. 12-13) beschrieben. Eine triviale Maschine hat eine eindeutige Beziehung zwischen Input (Ursache) und Output (Wirkung). Auf den gleichen Input folgt auch immer der gleiche Output und sie ist ein deterministisches System. Bei der nicht-trivialen Maschine ist die Input-Output-Beziehung von den zuvor erzeugten Outputs abhängig. Auf den gleichen Input kann immer ein anderer Output folgen. Das Interessante an nicht-trivialen Maschinen wird in (von Foerster, Principles of self-organization - in a socio-managerial context, 1984) beschrieben: Es bildet sich ein stabiler Wert heraus, wenn der Output einer nichttrivialen Maschine immer wieder als Input verwendet wird. Wenn sowohl der Mensch als auch die Organisation eine nicht-triviale Maschine darstellt, bedeutet dies, übertragen auf das Management, dass sich eine Organisation nach einer gewissen Dauer selbst stabilisiert.

Das VSM gibt der Unternehmung eine Organisationsstruktur vor, die Komplexität bewältigen kann, sodass sich die Organisation auf eine vorhersehbare Weise selbst stabilisiert. Das VSM wird anhand des Buches von Fredmund Malik „Strategie des Managements komplexer Systeme“ (Malik, 2015) beschrieben, das auf zwei Jahrzehnten kybernetischer Forschung von Stafford Beer aufbaut.

6.1.1 Management-Kybernetik

Stafford Beer hat die eigentlichen Kernmechanismen des Managements untersucht und in einer Theorie als Viable System Model beschrieben. Die Organisation ist das entscheidende Mittel, um mit zunehmender Komplexität fertig zu werden, aber nicht jede Organisation hat das Potenzial zur Komplexitätsbewältigung. Das VSM zeigt die Struktur eines jeden Systems, das in der Lage ist, in einer dynamischen, sich ständig unvorhersehbarerweise ändernden Umwelt zu bestehen. Im Zentrum des Interesses stehen die Probleme wie Anpassungsfähigkeit, Flexibilität, Lernfähigkeit, Evolution, Selbstregulierung und Selbstorganisation. Um diese Probleme zu lösen, umfasst das VSM die Resultate bio- und neurokybernetischer Forschungen, die auf die Managementlehre und das Invarianztheorem der Humanwissenschaften übertragen werden. Das Invarianztheorem besagt im Wesentlichen, dass alle komplexen Systeme isomorphe Lenkungsstrukturen aufwiesen und dass nur diejenigen Systeme, die diese Struktur aufwiesen, lebensfähig seien. Die am höchsten entwickelte Lenkungsstruktur ist das menschliche Zentralnervensystem, einschliesslich des menschlichen Gehirns. Das menschliche Zentralnervensystem ist der Ausgangspunkt zur Beschreibung des Viable System Models (Malik, 2015, S. 70-73).

6.1.2 Modell des lebensfähigen Systems

Das Management-Äquivalent zum kybernetischen Paradigma ist die kleine Unternehmung, bei welcher der Pionier-Unternehmer alles unter Kontrolle hat. Er kennt seine Kunden, die Stärken und Schwächen seiner Produkte und übt mehr oder weniger alle Funktionen selbst aus. Mit zunehmender Grösse einer Unternehmung und mit wachsender Komplexität der inneren und äusseren Situation ist die ungeteilte Führung nicht mehr möglich. Es entsteht das Probleme der Delegation und dadurch auch der Aufteilung von Funktionen auf mehrere Personen sowie das Problem der Arbeits- und Wissensteilung. Beim Übergang von der kleinen zur grossen Unternehmung wird eine Komplexitätsbarriere überschritten. Unterhalb dieser Barriere besteht keine Notwendigkeit zur Anwendung kybernetischer Vorstellungen. Jenseits dieser Barriere wird Führung und Organisation zu einem entscheidenden Problem, erst dann erfordert das Management Erfahrung und Fingerspitzengefühl und das Management wird zu einer expliziten Anwendung kybernetischer Gesetzmässigkeiten (Malik, 2015, S. 74-76).

Komplexität im Management-Kontext bedeutet, dass die formalen Führungsorgane einer Unternehmung niemals über ausreichend Informationen, Wissen und Kenntnisse verfügen können, um eine grosse Unternehmung im Detail zu steuern und zu gestalten. Die formalen Führungsorgane können durch Entscheidungen und durch das Setzen von Regeln dem Unternehmen eine generelle Verhaltensrichtung geben. Aus Sicht der formalen Führungsorgane ist der Grossteil der Unternehmung aber selbst regulierend und selbst steuernd. Das VSM soll die Lenkungsstruktur eines

derartigen Systems herausarbeiten und es soll aufzeigen, wie die Organisation und Lenkung eines sich grundsätzlich selbst organisierenden und selbst regulierenden System vor sich geht (Malik, 2015, S. 76).

Die Abbildung 13 zeigt die abstrahierte Struktur des Zentralnervensystems und dient als Darstellungsmittel des Viable System Models. Es werden genau fünf verschiedene Strukturelemente oder Subsysteme unterschieden, die als Systeme 1, 2, 3, 4 und 5 bezeichnet werden. Jedes lebensfähige System hat gewisse operative Aktivitäten auszuüben, die mit A, B, C bezeichnet sind. Jede einzelne Aktivität und System 4 hat Kontakt zur jeweiligen relevanten Umwelt. Diese Umwelten können miteinander verknüpft sein (Malik, 2015, S. 77-78).

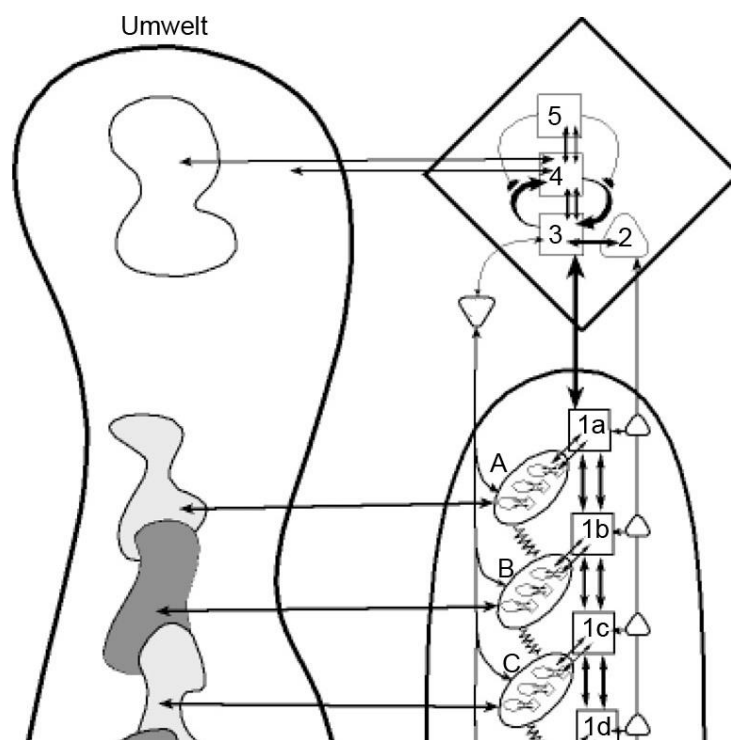


Abbildung 13 Lenkungszusammenhänge des VSM (Espinosa & Walker, 2013, S. 123); leicht modifiziert in Anlehnung an (Beer, The Heart of Enterprise, 1979, S. 319).

6.1.3 System 1 – Hauptaktivitäten

Die Systeme 1a, 1b, 1c, etc. sind die Lenkungsinstanzen für die durch die Kreise A, B, C, etc. repräsentierten Hauptaktivitäten, Subsysteme oder Bereiche des lebensfähigen Systems. Im Unternehmen repräsentieren die Kreise quasiautonome Bereiche oder Divisionen, bei denen die Systeme 1a, 1b, 1c jeweils die Divisionsführung darstellen. Für das System 1 gelten in einem lebensfähigen System zwei Prinzipien.

Das erste ist das Prinzip der Lebensfähigkeit, dies bedeutet, dass das System in solche Bereiche gegliedert werden muss, die selbst wieder lebensfähig sind. Da jedes lebensfähige System die gleiche Struktur oder Organisation besitzt, folgt daraus, dass jeder Bereich oder jedes Subsystem wiederum alle fünf Systeme aufweisen muss. Dies ist der Hauptinhalt des zweiten Prinzips der Rekursion. Jedes lebensfähige Subsystem ist eine strukturelle Kopie des übergeordneten Systems. Das bedeutet, dass alle Bereiche A bis C mit ihren Systemen 1a bis 1c genauso organisiert sind wie das Gesamtsystem (Malik, 2015, S. 78-79).

6.1.4 System 2 – Koordination

Jedes System 1 hat im Prinzip völlige Verhaltensfreiheit, ist aber auch Teil eines umfassenderen Systems, deshalb muss der Verhaltensspielraum eingeschränkt werden. System 2 übt eine Koordinationsfunktion aus, die darin besteht, die Dysfunktionalitäten und Oszillationen zwischen den Systemen 1 auszugleichen. Jede Division (System 1) operiert innerhalb der für sie relevanten Umwelt und hat eigene spezifische Probleme. Die Probleme hängen von drei Faktoren ab:

- Von der Komplexität der für die Division relevanten Umwelt
- Von der Intensität der gegenseitigen Abhängigkeiten der Divisionen untereinander
- Von der Qualität des divisionalen Managements, dies entspricht der Güte des Lenkungsmechanismus‘ von System 1

Aufgabe von System 2 ist es, diese Störungen durch interdivisionale Koordination so gut wie möglich auszugleichen. Die Leistungen der einzelnen Divisionen zu erreichen, sind divisionale Aufgaben, während die Koordination der Divisionen und die dadurch zu erreichenden Synergieeffekte eine Aufgabe der Gesamtunternehmung sind (Malik, 2015, S. 79-81).

6.1.5 System 3 – Kontrolle

Die Aufgabe von System 3 ist es, sicherzustellen, dass die koordinierten Systeme 1 zusammen einen grösseren oder besseren Effekt erzielen als die Summe der Einzelaktivitäten. System 3 schränkt durch Vorgaben und Richtlinien, die das Gesamtsystem betreffen, die Verhaltensfreiheit der Divisionen ein. Die Erarbeitung des operativen Gesamtplans wird von System 3 unter Einbezug von Informationen aus den Systemen 1, 2, 4, 5 vorgenommen. System 3 dient also zur Optimierung von Ressourcen und deren Zuteilung an die Divisionen sowie zur Überwachung der planmässigen Verwendung dieser Ressourcen. Dem System 3 stehen drei Kommunikationsverbindungen zur Verfügung (Malik, 2015, S. 81-82):

- Die zentrale vertikale Befehlsachse, die zu den divisionalen Führungssystemen der einzelnen Systeme 1 läuft
- Ein Kanal zu System 2, über den System 3 Informationen zu den Koordinationsbemühungen von System 2 erhält
- Ein Kanal, der direkt mit den Divisionen verbunden ist und auch als System 3* bezeichnet wird. Dieser Kanal vermittelt System 3 direkte Informationen über die Geschehnisse in den Divisionen. In diesem direkten Kanal werden insbesondere Informationen ausgetauscht, die in den offiziellen Plänen nicht enthalten sind, beispielsweise Stress, Belastung und neuartige Entwicklungen.

6.1.6 System 4 – Vernetzung

Die Aufgabe von System 4 besteht in dem Aufnehmen, Verarbeiten und Weiterleiten von Umweltinformationen. Auch die einzelnen Divisionen eines Konzerns nehmen Informationen aus der Umwelt auf; es gilt beim System 4 jedoch zu unterscheiden, dass dort nur Umweltinformationen aufgenommen werden, welche die Gesamtunternehmung betreffen. Die Weiterleitung der Informationen erfolgt an das übergeordnete System 5 sowie an System 3 (Malik, 2015, S. 82-83).

6.1.7 System 5 – Normen und Regeln

System 5 repräsentiert die oberste Entscheidungsinstanz des Gesamtsystems im Hinblick auf die grundlegenden Normen und Regeln. In diesem Rahmen bewegen sich alle anderen Systeme. System 5 legt die Unternehmenspolitik mittels Interaktionen zu System 3 und 4 fest. System 3 und 4 besitzen die jeweiligen Informationen über die internen und externen Gegebenheiten und Entwicklungsaussichten. Es gibt also keine autoritären und einsamen Entscheidungen des Topmanagements. Aus Sicht von System 5 können die anderen Systeme folgendermassen charakterisiert werden (Malik, 2015, S. 83):

- System 1: Was geschieht jetzt und hier?
- System 2: Kein Charakter, da es das System 1 koordiniert.
- System 3: Was wird demnächst und im Rahmen der nicht änderbaren Gegebenheiten passieren?
- System 4: Was könnte unter Einbezug erkennbarer Entwicklungstendenzen und bei Beseitigung interner Engpässe geschehen?
- System 5: Was sollte unter Einbezug all dieser Überlegungen geschehen?

6.1.8 Rekursion und Lebensfähigkeit

Bei der Beschreibung des Systems 1 wurden zwei Prinzipien erwähnt: das Prinzip der Lebensfähigkeit und das Prinzip der Rekursion. Beide Prinzipien werden im kybernetischen Theorem gebraucht, das besagt, dass alle komplexen Organisationen zueinander isomorph sind, also eine gleiche Struktur aufweisen müssen, und dass die Lenkungsstruktur die Eigenschaften von lebensfähigen Systemen haben muss. Im kybernetischen Modell des lebensfähigen Systems sind genau die Strukturen und Mechanismen enthalten, die tatsächlich für die Lebens- und Funktionsfähigkeit einer Organisation relevant sind. Das Rekursionsprinzip besagt, dass auf jeder Ebene die genau gleichen Strukturen und Mechanismen vorkommen (Malik, 2015, S. 84-86).

6.1.9 Relevanz

Die Theorie des Viable System Models gibt es seit über 50 Jahren und der Anspruch an die Theorie, die notwendigen Voraussetzungen für die Lebensfähigkeit einer Organisation festzulegen, ist enorm. Die VSM-Theorie wurde durch eine quantitative Analyse empirisch getestet, als Grundlage dienten diverse einzelne Fallstudien. Das VSM ist demnach eine zuverlässige Orientierungsvorrichtung für die Diagnose und Gestaltung von Organisationen, um ihre Vitalität, ihre Widerstandsfähigkeit und ihr Entwicklungspotential zu stärken. Die Lebensfähigkeit aller Systeme 1 bis 5 ist stark von deren Entwicklungslevel abhängig. Das bedeutet, je stärker die Systeme ausgeprägt sind, desto lebensfähiger ist die Organisation. Als Ausnahme gilt System 3, dem operativen Management der Organisation als Ganzes: Dieses hat vermutlich neue Strukturösungen entwickelt als im VSM vorgeschlagen sind. Es muss potenziell vorteilhaft sein, die Diagnose und Gestaltung von Organisationen jeglicher Art, gross oder klein, auf das VSM-Modell zu stützen (Schwaninger & Scheef, A Test of the Viable System Model: Theoretical Claim vs. Empirical Evidence, 2016).

6.1.10 Vergleich zum St. Galler Management-Modell

Das St. Galler Management-Modell der vierten Generation (Rüegg-Stürm & Grand, 2014) folgt zwecks Sicherstellung einer ganzheitlichen, gesellschaftlich verantwortungsvollen und erfolgreichen Unternehmensführung drei Forschungssträngen: dem systemorientierten Ansatz aus der Managementforschung, dem Practice-Turn aus der Sozialtheorie und dem Process-Turn aus der Organisations-, Management- und Strategieforschung. In Bezug auf die Organisationsstruktur ist das St. Galler Management-Modell weniger detailliert als das VSM mit den fünf Systemen. Dafür

sind im St. Galler Management-Modell die Bereiche Strategie, Kultur und Unternehmungsentwicklung deutlich stärker ausgeprägt. Das Ziel des VSM ist ein Diagnose- und Gestaltungsmodell für lebensfähige Organisationen, während das St. Galler Management-Modell die Vermittlung der Managementgrundlagen und die Zusammenhänge zwischen Organisation und Umwelt zum Ziel hat.

6.1.11 Vergleich zur Living Systems Theory

Die Living Systems Theory – LST – (Miller, 1978) ist eine allgemeine Theorie über die Existenz aller lebenden Systeme und deren Struktur, Interaktion, Verhalten und Entwicklung. Die Theorie vom LST besagt, dass ein lebendes System zum Überleben unabhängig von seiner Komplexität von denselben wesentlichen zwanzig Subsystemen (Prozessen) abhängt. Diese Subsysteme finden sich wiederum auf allen sieben hierarchischen Ebenen (Zelle, Organ, Organismus, Gruppe, Organisation, Gesellschaft, supranationale Systeme). Jede Ebene entspricht einem offenen System. Das heisst, dass jedes System alle 20 Subsysteme selber besitzt oder aber durch Vereinigung mit anderen Systemen Zugang zu den Lebensprozessen hat. Die Living Systems Theory wird vor allem von Technikern und Naturwissenschaftlern eingesetzt, weshalb bei lebenden Systemen auch von der Zelle bis zum supranationalen System gesprochen wird. Das Viable System Model findet mehr Anwendung im General Management und in der Beratung von Organisationen und Gesellschaften (Schwaninger & Adam, Lebensfähigkeit sozialer Systeme: Ein Theorievergleich, 2004).

6.2 VSM bei Unternehmen

In diesem Kapitel werden aktuelle Forschungen in Bezug auf das Viable System Model von Stafford Beer beschrieben, die in einem Zusammenhang mit fertigenden Industrien oder Assistenzsystemen stehen.

6.2.1 VSM der Konzernorganisation

Ein Referenzmodell zur Implementierung der Entwicklungsstrategie in einem Unternehmen der verarbeitenden Industrie basiert auf systemtheoretischen Prinzipien und dem Viable System Model. Der komplexitätsbasierte Ansatz hilft Entscheidungsträgern, massgeschneiderte Produktionsverbesserungsprogramme zu verwalten und die Dynamik sowie die organisatorischen Barrieren

bei der Umsetzung zu verstehen. Die Tabelle 6 zeigt die erarbeiteten Rekursionsstufen eines grossen Unternehmens am Beispiel der Organisation strategischer Fertigungsinitiativen in Anlehnung an (Taisch, Stahl, & May, 2015).

Rekursionsebene	Systembeschreibung	Einheit von System 1
Rekursion A	System repräsentiert die gesamte Organisation	Verschiedene strategische Geschäftseinheiten
Rekursion B	System repräsentiert die strategische Geschäftseinheit	Die lebensfähigen Funktionsstrategien einer strategischen Geschäftseinheit, zum Beispiel Fertigung, Marketing, Finanzstrategie
Rekursion 1	System stellt die Fertigungsfunktion dar	strategische Fertigungsinitiativen oder Fertigungsverbesserungsprogramme
Rekursion 2	System stellt eine spezifische strategische Produktionsinitiative dar	wichtige Projektaufgaben oder Aktivitäten innerhalb eines Programms

Tabelle 6 Rekursionsstufen eines Grossunternehmens (eigene Darstellung).

Die Rekursion A und B können auf eine rekursive Ebene zusammengeführt werden, wenn das Unternehmen keine unterschiedlichen Geschäftseinheiten besitzt, sondern nach seinen funktionalen Merkmalen organisiert ist. Während Rekursion A und B vor allem für multinationale Unternehmen gelten, wird eine kombinierte Rekursion A und B für kleine und mittlere Unternehmen bevorzugt.

Die Rekursionen 1 und 2 sind die elementaren Ebenen. Die in diesem Beispiel genannte System 1-Einheit als strategische Fertigungsinitiative kann auch andere Hauptaktivitäten, Subsysteme oder Bereiche des lebensfähigen Systems repräsentieren, je nach Verwendungszweck. Für eine detailliertere Sicht auf die entsprechenden Subsysteme dient die Rekursion 2.

Dieser Ansatz eignet sich besonders für international tätige Firmen mit mehr als einem Produktionszentrum. Das Viable System Model ist ein sehr komplexes Werkzeug, das ein weitgehendes Verständnis erfordert, um speziell im sich schnell wandelnden industriellen Umfeld eingesetzt zu werden (Taisch, Stahl, & May, 2015).

6.2.2 VSM der virtuellen Fabrik

Die Idee der virtuellen Fabrik oder Organisation besteht darin, ein Netzwerk kooperierender Unternehmungen so zu organisieren und zu steuern, dass es zu höherer Flexibilität befähigt wird. Durch diese Fähigkeit sollen nicht nur technische, sondern auch Human- und Wissensressourcen im Hinblick auf jede mögliche Situation flexibel kombiniert werden. Damit wird die potenzielle Varietät, die das Verhaltensrepertoire einer Organisation ausdrückt, erhöht. Virtuelle Organisationen zeichnen sich dadurch aus, ihr Potenzial in unterschiedlichsten Varianten zu materialisieren. Konkret bedeutet dies, dass sich aus den verfügbaren Ressourcen – je nach Aufgabe – massgeschneiderte Projektteams in den verschiedenartigsten Formationen bilden können. Dabei wird Verfügbarkeit zu einem beliebig dehnbaren Begriff, denn was „inhouse“ nicht vorhanden ist, kann durch Kooperationen und Partnerschaften beschafft werden (Bleicher, 2011, S. 210-211). Viele Einzelunternehmungen schaffen einen virtuellen Teil, um ihre Produktion besser auszulasten. Der virtuelle Teil der jeweiligen Einzelunternehmungen erhöht einerseits deren Varietät und dämpft andererseits auch die Umwelteinflüsse. Dadurch wird Komplexität absorbiert und der Verhaltensspielraum der einzelnen Unternehmung erhöht. Das VSM diene zur produktionsübergreifenden Planung und Koordination der einzelnen Firmen. Die Systeme der VSM-Struktur sind in Tabelle 7 dargestellt (Bleicher, 2011, S. 217-227).

Strukturelemente	Beschreibung
Hauptaktivitäten	Partnerunternehmungen, Produktionsbetriebe oder Teile von solchen
System 1	Leitungen der beteiligten Unternehmungen oder Unternehmungseinheiten
System 2	Spielregeln, Broker, Leistungsmanager, Auftragsmanager, Netzwerk-Coach (nach der Aufbauphase), Qualitätsstandards, Budgetierungs- und Informationssysteme, Technologiedatenbank
System 3	Leistungsmanager, Executive Committee (Führung mit Zielen, Führung nach dem Ausnahmeprinzip), Auditor, spezielle Untersuchungen
System 4	Executive Committee, Innovationsarbeitskreise, Netzwerk-Coach (in der Aufbauphase), strategische Planung und Kontrolle
System 5	Virtuelle Fabrik, Vollversammlung, Statuten, Leitbild, (Diskurs über) Identität, oberste Normen und gemeinsame Werte

Tabelle 7 VSM-Struktur der virtuellen Fabrik (Bleicher, 2011, S. 222); leicht modifiziert.

6.2.3 VSM des Product-Driven-Systems

Müsste man in einer konventionellen Fertigung das Produktionssystem nach dem Rekursionsprinzip des Viable System Models zersetzen, dann könnte eine Gliederung nach Produktionshallen, Produktionszellen, Produktionslinien und Maschinen ausfallen. In diesem Fall wären die Maschinen die kleinsten Einheiten des Systems auf dem niedrigsten Rekursionsniveau. Ein produktgesteuertes System – PDS – geht davon aus, dass das Produkt das Grundelement des Produktionsprozesses ist und damit auch für die Arbeitsaufgaben und Ressourcenplanung verantwortlich ist. Das Produkt hat neben der physikalischen auch eine informationsbasierte Darstellung im System. Die beiden Welten können durch die RFID-Technologie miteinander verbunden werden. Die primären Funktionen des intelligenten Produkts sind Datenerfassung und Interaktionen, dies ermöglicht es, Informationen zwischen Produkten auszutauschen und mit ihrer Umgebung zu interagieren. Die Systemmodellierung des VSM ermöglicht es, komplexe Planungs- und Steuerungsfunktionen zu bewältigen und die Aspekte Effizienz, Flexibilität, Anpassungsfähigkeit, Skalierbarkeit und Wiederverwendbarkeit zu berücksichtigen. Zur Modellierung von produktgesteuerten Systemen wurde daher der theoretische Rahmen des VSM gewählt. Die Tabelle 8 beschreibt die erste Rekursionsebene der VSM-Systeme eines produktgesteuerten Systems nach (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011).

Strukturelemente	Beschreibung
System 1	Datenerfassung, Umweltinteraktionen
System 2	Kommunikation zwischen Datenerhebung und Interaktionsaktivitäten
System 3	Interne Aktivitätsregulierung durch Koordination und Überwachung Auto-Organisation und Evaluation Kooperativer Algorithmus (Interaktion mit anderen Produkten)
System 4	Interne und externe Kenntnisse, Antizipation
System 5	Lokale Ziele und globale Einschränkungen
Umwelt	Ereignisse, die zu fehlender Verfügbarkeit, Störungen, Einschränkungen führen. Zum Beispiel Maschine, automatisierte Förderanlagen, Teamarbeiter.

Tabelle 8 VSM-Struktur des PDS (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011); leicht modifiziert.

Insgesamt besteht das Modell aus vier Rekursionsebenen: Produkte, Los, Fertigungsauftrag und Familie. Die drei oberen Ebenen werden unter Verwendung der Informationen aktualisiert, sodass von der untersten Ebene Produkte bereitgestellt werden. Auf jeder Ebene können eine oder mehrere Entscheidungsprobleme identifiziert werden.

Das Ziel ist es, auf externe Variationen (wie Bedarfsänderungen) zentral und auf interne Störungen (wie Kapazitätsänderungen) dezentral zu reagieren. Wenn es nicht möglich ist auf interne Störungen Lösungen auf der gleichen Ebene zu finden, so steigt das Problem auf die nächste obere Ebene (Bottom-up-Prozess). Für externe Störungen modelliert das zentrale System globale Ziele, die eine Anpassung (Top-down) von untergeordneten Entscheidungen bewirken und neue realisierbare Ziele auf jeder Ebene definieren. Auf operativer Ebene soll ausreichend Flexibilität vorhanden sein, um Anpassungen an Störungen zu ermöglichen und die Kohärenz mit den auf den anderen Ebenen definierten Zielen zu gewährleisten. Das Auftreten von häufigen Entscheidungsänderungen kann anderenfalls zu einer beträchtlichen Systeminstabilität führen, die sowohl Effizienz als auch Produktivität verschlechtern (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011).

6.2.4 VSM als Self-optimising Production System

Mit dem Self-optimising Production System – dem selbst optimierenden Produktionssystem – können sich Hersteller schneller den zahlreichen Herausforderungen von wachsender Produktkomplexität, verkürzten Lieferzeiten und verbundenen Lieferketten anpassen. Die Selbstoptimierung dient als Grundprinzip, um Komplexität und unvorhergesehene Störungen in Lieferketten, Maschinen und Prozessen zu bewältigen. Das Framework Self-Optimizing Production System (Permin et al., 2016) beschreibt die Selbstoptimierung im Rahmen von Produktionssystemen. Das Framework betrachtet verbundene Produktionsanlagen als komplexe, sozio-technische Systeme. Die Struktur baut auf vier Ebenen, Prozess, Maschine, Zelle und Segment, auf. Auf der Prozessebene wird die Architektur der automatischen Steuerungssysteme repräsentiert. Auf den drei Ebenen darüber basiert der Anpassungsprozess auf „kognitiven Kontrollen“ auf einem abstrakteren Level. Ihr Entscheidungsprozess basiert auf dem aktuellen Systemzustand in Verbindung mit dem verfolgten Ziel (Permin et al., 2016).

Die Management-Ebene wird im Framework vernachlässigt, was zur Optimierung von Teilproblemen, aber nicht des Gesamtsystems führt. Dies führt zu falschen Entscheidungen in den Planungsprozessen, die durch eine schlechte Kommunikation und konventionelle Lösungsansätze auf der Grundlage zentraler Planungsmethoden verursacht werden. Eine langsamere und unflexiblere Reaktion von Unternehmen auf interne und externe Störungen ist die Folge. Deswegen werden anhand der VSM-Struktur die notwendigen Planungs- und Steuerungsaufgaben sowie die erforderlichen Informationskanäle definiert. Das Viable System Model bietet eine adäquate Struktur für eine konsequente Integration von transdisziplinären Regelkreisen und deren Ausrichtung auf ein übergeordnetes Zielsystem. Es dient als regulatorischer Rahmen, um die Planungs- und Entscheidungsmodelle innerhalb des gesamten Produktionsmanagementkontextes zuzuordnen (Permin et al., 2016).

6.2.5 VSM mit MES

Bei der Planung und Steuerung von Produktionsprozessen ist das zugrunde liegende Optimierungsproblem mehrdimensional. MES-Systeme, die nach dem VSM-Ansatz aufgebaut sind, optimieren die Produktionsplanung selbständig unter Berücksichtigung der von externen Planern festgelegten Ziele. Diese Softwarelösung kombiniert die zentrale und dezentralisierte Planung durch MES mit dem Viable System Model. Daraus entsteht das Viable MES (VMES). Das VMES soll die Einführungsphase von neuen Produkten bis zu deren Serientauglichkeit reduzieren. Während traditionelle MES-Systeme auf der Produktionsebene eingesetzt werden, kann das VMES (wegen des Rekursionsprinzips) auch die Zellen und Stationen der untergeordneten Ebenen abbilden (Brecher, Müller, Breitbach, & Lohse, 2013).

Tabelle 9 beschreibt die VSM-Systeme des VMES-Ansatzes am Beispiel der Ebenen Produktion und Produktionszelle.

	Rekursion Produktion	Rekursion Produktionszelle
System 5 – Richtlinie	Richtlinie zur Optimierung der gesamten Produktion. Einhaltung der Produktionstermine ist das wichtigste Kriterium.	Die Richtlinie definiert, in welchen Fällen ein menschlicher Bediener für die Montage berücksichtigt wird.
System 4 – Planung	Durchlaufzeiten der einzelnen Aufträge werden ermittelt. Engpässe werden erkannt.	Das Planungssystem akzeptiert Informationen über neue Produkte aus dem Produktions-VSM, um die Montageaufträge zu koordinieren.
System 3 – Kontrolle	Kontrollsystem setzt Parameter für die untergeordneten Produktionszellen.	Das Kontrollsystem berechnet die nächsten Schritte auf der Grundlage von Informationen über Ziel und Umgebung.
System 3* – Audit	Das Audit-System analysiert Ausfälle von unteren Ebenen, die den gesamten Produktionsprozess beeinflussen.	Beim Audit werden die Montageprozesse durch geeignete Messgeräte überprüft.
System 2 – Koordination	Das System koordiniert die Interaktionen zwischen den Zellen.	Das Koordinationssystem ist das Framework für den Austausch von Informationen zwischen allen Prozessen
System 1 – Prozess	Jede Zelle ist ein Prozess in diesem System.	Jeder Prozess kann aus mehreren sozio-technischen Komponenten bestehen.

Tabelle 9 VSM-Systeme bei VMES-Software (eigene Darstellung in Anlehnung an (Brecher, Müller, Breitbach, & Lohse, 2013)).

6.3 Managementsystem Holakratie

6.3.1 Paradigma und Prinzipien

Holakratie ist ein neues Paradigma des Organisierens und wendet Prinzipien und Mechanismen der Selbstorganisation in Organisationen an. Es liefert einen Entscheidungsprozess, der hilft, diese Entscheidungen an die Oberfläche zu bringen und effizient in sinnvolle Ergebnisse für die Organisation zu überführen. (Koestler, 1968) definiert den Begriff Holon als „ein Ganzes, das Teil eines grösseren Ganzen ist“ und eine Holarchie als „die Verbindung zwischen Holons“. Ein Holon entspricht jeder Zelle in einem Körper. Diese Zelle ist ein Teil eines Organs, das wiederum ein Teil eines Organismus‘ ist. Die Struktur von Zelle zu Organismus ist ein Beispiel für eine Holarchie. Auf jeder Ebene halten die Holarchien die Autonomie aufrecht und ermöglichen Selbstorganisation. Diese Form ist die Grundlage der Holakratie. Der Begriff setzt sich aus Herrschaft oder Führung (-kratie) und aus einer Holarchie der Organisation (Holo-) zusammen (Robertson, 2016, S. 36).

In der Holakratie ist es nicht mehr die Aufgabe der Manager, alle Probleme zu lösen und die Verantwortung für alles zu übernehmen. Die Mitarbeiter erhalten die Verantwortung und Autorität, mit ihren eigenen Spannungen umzugehen. Dies ermöglicht den Wandel weg von einer Eltern-Kind-Dynamik in der Organisation hin zu einem autonomen, selbst führenden, erwachsenen Mitarbeiter. Von den Mitarbeitern hat jeder die Macht, in seiner Rolle zu „führen“, um den Sinn und die Aufgabe der Organisation zu unterstützen. Zudem wird es niemandem erlaubt, die Macht anderer zu vereinnahmen (Robertson, 2016, S. 20-22).

Dies erfordert eine Reihe von Kernprinzipien, die sich von denen in herkömmlich geführten Organisationen unterscheiden. Die Holakratie umfasst die folgenden Elemente (Robertson, 2016, S. 11-12):

- eine Verfassung, die die „Spielregeln“ bestimmt und die Autorität neu verteilt (Governance-Prozess),
- eine neue Form von Organisationsstruktur, in der Rollen und Autoritätsbereiche der Mitarbeiter definiert werden,
- einen besonderen Prozess zur Entscheidungsfindung, durch den diese Rollen und Autoritäten ein Update erhalten können,
- einen Meeting-Prozess, damit die Teams in Übereinstimmung bleiben und die Arbeit gemeinsam erledigen können.

6.3.2 Governance-Prozess

Die Governance bei Holakratie ist ein fortlaufender Prozess, der von jedem Team in spezifischen Governance-Meetings gestaltet wird. Dieser Governance-Prozess verteilt die Autorität und klärt Erwartungen innerhalb der Organisation, indem er von Mitarbeitern gestaltet wird, während diese ihre Arbeit erledigen und auf Spannungen stossen. Die in der Rolle auftretenden Spannungen, welche als Herausforderungen oder Möglichkeiten wahrgenommen werden, können entweder durch Tactical-Meetings als „Arbeiten im Team“ oder durch Governance-Meetings als „Arbeiten am Team“ reduziert werden. Bei letzterem wird die Rollenstruktur geklärt und verbessert. Die Governance beantwortet folgende Fragen (Robertson, 2016, S. 25-30):

- Auf welche fortlaufenden Aktivitäten müssen wir achten und wer ist verantwortlich?
- Welche angemessenen Erwartungen kann ich an andere haben – und umgekehrt?
- Wer trifft welche Entscheidungen und in welchen Grenzen?
- Welche Entscheidungen kann ich treffen und welche Handlungen kann ich ausführen, ohne eine Besprechung einzuberufen?
- Welche Regeln und Beschränkungen wollen wir bei unserer Arbeit beachten?

6.3.3 Organisationsstruktur

In Organisationen werden drei unterschiedliche Organisationsstrukturen wahrgenommen. Die formelle Organisationsstruktur entspricht derjenigen vom Organigramm, diese ist aber von realen alltäglichen Ereignissen und Bedürfnisse weit entfernt, ebenso wie deren Stellen- oder Rollenbeschreibungen. Deshalb gibt es eine tatsächliche Struktur, welche die Menschen selbst definieren, die wirksam ist, aber die durch persönliche Beziehungen geformt wird. Die erforderliche Struktur wäre eigentlich diejenige, welche für die Arbeit und den Sinn der Organisation am natürlichsten und am angemessensten wäre. In der Holakratie werden diese drei Strukturen zu ein und demselben. Um dies zu erreichen, müssen sich die Strukturen ständig weiterentwickeln. Da die Rollen die grundlegenden Bausteine in der Struktur der Holakratie sind, müssen sich vor allem die einzelnen Rollen entwickeln können. Es werden zum Beispiel Autorität und Verantwortung an Rollen verteilt, die dann Mitarbeiter ausführen. Wenn die Verantwortungen nicht mehr von einem Mitarbeiter übernommen werden können, dann muss die Rolle in mehrere Rollen aufgeteilt werden und es wird ein „Kreis“ gebildet. Ein Mitarbeiter kann mehrere Rollen einnehmen, und er kann dies überall in der Struktur der Organisation tun. Die Holakratie organisiert Arbeit und nicht Menschen, dadurch entsteht die Möglichkeit, dass Menschen sich selbst organisieren (Robertson, 2016, S. 33-41).

Um klare und konkrete Rollendefinitionen zu finden, wird jede Rolle mit einer Aufgabe, mehreren Bereichen und mehreren Verantwortlichkeiten beschrieben (Robertson, 2016, S. 41-43).

- Aufgabe – Warum gibt es diese Rolle?
- Bereiche – Wofür hat diese Rolle die ausschliessliche Autorität der Kontrolle (Eigentum der Rolle)?
- Verantwortlichkeit – Die Rolle hat die Autorität, eine fortlaufende Aktivität auszuführen.

Abbildung 14 zeigt die Organisationsstruktur der Holokratie mit den Kreisen und Rollen.

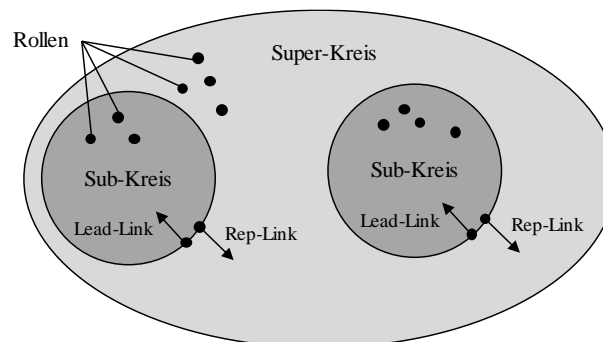


Abbildung 14 Organisationsstruktur Holokratie (eigene Darstellung in Anlehnung an (Robertson, 2016, S. 47)).

Die Rollen werden in einer Organisationsstruktur gruppiert und integriert. Die Holarchie-Struktur sieht wie eine Reihe ineinandergreifender Kreise aus. Die Rollen sind in Kreisen gruppiert, die wiederum in grösseren Kreisen gruppiert sind, bis hin zum umfassendsten Kreis (Anker-Kreis), der die gesamte Organisation repräsentiert. Jeder Kreis und jede Rolle sind den darüber liegenden Kreisen nicht untergeordnet, sondern behalten echte Autonomie, individuelle Autorität und reale Verantwortlichkeiten. Die Kreise haben einzuhaltende Verantwortlichkeiten und Begrenzungen und agieren, trotz der grundlegenden Autonomie, nicht völlig unabhängig von anderen Kreisen. Im Prozess der Selbstorganisation müssen die Bedürfnisse anderer Kreise berücksichtigt werden. Jeweils der kleinere Kreis wird als Sub-Kreis bezeichnet und der grössere, welcher die Sub-Kreise beinhaltet, wird als Super-Kreis bezeichnet. Immer wenn ein Kreis Sub-Kreise enthält, werden der Super-Kreis und jeder Sub-Kreis durch die Rollen Lead-Links und Rep-Links miteinander verknüpft. Der Lead-Link wird durch den Super-Kreis eingesetzt, um seine Anliegen bezüglich Perspektive, Funktionen und Strategie im Sub-Kreis geltend zu machen. Der Rep-Link repräsentiert den Sub-Kreis innerhalb seines Super-Kreises und trägt dazu bei, dass wichtige Perspektiven des Sub-Kreises in die Governance und das operative Geschäft des Super-Kreises gebracht werden. Die dritte Form der Verbindung ist der Cross-Link, der Kreise miteinander verbindet, die in der Struktur weit auseinanderliegen können. Der Cross-Link zwischen zwei Kreisen ermöglicht einen direkten Kanal, um Spannungen in einem Kreis zu bearbeiten, die in einem anderen Kreis wahrgenommen wurden (Robertson, 2016, S. 43-55).

7 Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0

In diesem Kapitel wird das Selbstorganisationsmodell für die Industrie 4.0 schrittweise ausgearbeitet und die Systematik erläutert. In das Modell fliessen zum einen die Erkenntnisse über die Industrie 4.0 aus Kapitel 4 ein und zum anderen sollen möglichst alle Anforderungen der Spannungsfelder aus Kapitel 5 durch das neue Modell reduziert werden. Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 baut auf dem im Kapitel 6.1 vorgestellten Viable System Model sowie auf Kapitel 6.2 der aktuellen Literatur auf. Das Organisationsmodell wird mit der Organisationsstruktur Holakratie aus Kapitel 6.3 ergänzt, da mit dem VSM-Ansatz einige Anforderungen der Spannungsfelder nicht abgedeckt wurden.

7.1 Neues Organisationsmodell durch VSM

7.1.1 Prinzip

Im Zentrum des neuen Organisationsmodells steht die Selbstoptimierung der Produktionssysteme. Die Produktionssysteme werden in der Industrie 4.0 zu cyber-physischen Systemen, welche physische mit virtuellen Objekten und Prozessen verbindet. Das Organisationsmodell muss zugleich physische Objekte, wie Maschinen und Produkte, und virtuelle Objekte, wie Daten- und Informationsaustausch, abbilden. Aus den Anforderungen der Spannungsfelder heraus soll das Selbstorganisationsmodell unter anderem dazu beitragen, dass die starre Prozessorganisation aufgelöst wird, dass sie die Vernetzung der CPS-Systeme zulässt und dass die dezentralen Planungsansätze unterstützt werden.

Um eine flexible Prozessorganisation aufzubauen, wird die Idee der virtuellen Fabrik, bei der die Wertschöpfungsketten wie über mehrere Fabriken und Partner hinweg im Verbund betrachtet werden, von (Bleicher, 2011, S. 210-227) aufgegriffen. Diese Fähigkeit verspricht nicht nur technische, sondern auch Human- und Wissensressourcen im Hinblick auf jede mögliche Situation flexibel zu kombinieren. Je nach Produkt werden die verfügbaren Ressourcen zu einem Prozessablauf zusammengestellt.

Im Gegensatz dazu stellt der Product-Driven-System-Ansatz von (Herrera, Thomas, Belmokhtar, & Pannequin, 2011) das Produkt als Grundelement des Produktionsprozesses ins Zentrum. Dabei würde das Selbstorganisationssystem um die Produkte aufgebaut werden und die Rekursionsebene entsprechen dem Produkte, Los, Fertigungsauftrag und Familie. Die Produktionsprozesse werden nicht abgebildet.

Der Ansatz von (Bleicher, 2011) ist für die Industrie 4.0 vielversprechender und wird weiter ausgearbeitet. Während die virtuelle Fabrik versuchte, mehrere Firmen im Zusammenschluss zu optimieren, wird beim Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 davon ausgegangen, dass die unterschiedlichen Teile eines Produktionsbetriebes innerhalb desselben Konzerns zusammengeschlossen werden.

7.1.2 Rekursion

In der fertigen Industrie gehören nach (Porter, 1986) zu den Primäraktivitäten die Bereiche Eingangslogistik, Produktion, Ausgangslogistik, Marketing & Vertrieb und Kundendienst. In dem Selbstorganisationsmodell der Industrie 4.0 wird der Fokus auf die mit dem Produkt in Berührung kommenden Bereiche Eingangslogistik, Produktion und Ausgangslogistik gelegt. Die Komponenten dieser Bereiche, ein Fertigungsobjekt, bildet die unterste Rekursionsebene des Viable System Models, diese wird Rekursionsebene 2 genannt. In der Ebene darüber, der Rekursionsebene 1, werden ähnliche Fertigungsobjekte, unabhängig von deren Standort, zusammengefasst. Das heisst, die Rekursionsebene 1 ist in Fertigungstypen unterteilt. Zu den Fertigungstypen zählen Produktionstypen und logistische Prozesse. Die Produktionstypen (Dyckhoff, 2000, S. 353-362) bringen mit unterschiedlichen Technologien (Spritzguss, Extrudieren, Stanzen, Montageanlage, Oberflächenbehandlung etc.) bestimmte Output-Objekte hervor. Die logistischen Prozesse (Gleissner & Femerling, 2008, S. 14-16) bestehen aus Beschaffungs-, Produktions-, Distributions- und Entsorgungslogistik. Die Definition der Rekursionsebene 1 entspricht dem Ansatz der virtuellen Fabrik von (Bleicher, 2011, S. 217-227).

Der Rekursionsebene 1 übergeordnet sind, wie von (Taisch, Stahl, & May, 2015) beschrieben, die Rekursionsebenen B und A. Diese Struktur eignet sich besonders für international tätige Konzerne mit verschiedenen Produktionsstandorten. Die Rekursionsebene B folgt über der Rekursionsebene 1 und repräsentiert die Abteilung der weltweiten Lieferkette. Bei dem Selbstorganisationsmodell wird nur eine grosse weltweite Lieferkette als Rekursion B in einer Unternehmung angenommen. Die Rekursion A entspricht der gesamten Organisation. Wenn mehr als eine Rekursion B als weltweite Lieferkette existiert, können die gleichen Fertigungstypen im selben Unternehmen parallel existieren und Synergien gingen verloren. Im Weiteren wird davon ausgegangen, dass nur eine Rekursion B als weltweite Lieferkette existiert. Die Tabelle 10 zeigt eine Übersicht der Rekursionsebenen des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0.

Rekursionsebene	Systembeschreibung	Einheit von System 1
Rekursion A	System repräsentiert die gesamte Organisation	Ist eine Abteilung im Konzern
Rekursion B	System repräsentiert die Abteilung der weltweiten Lieferkette	Ist ein Fertigungstyp, entweder ein Produktionstyp oder ein logistischer Prozess
Rekursion 1	System repräsentiert die Fertigungstypen	Ist ein spezifisches Fertigungsobjekt, zum Beispiel eine Fertigungsanlage, eine Produktionsanlage, ein Förderband, ein Transporter
Rekursion 2	System repräsentiert ein Fertigungsobjekt	Sind die einzelnen Subsysteme des Fertigungsobjektes, zum Beispiel eine Komponente einer Anlage.

Tabelle 10 Rekursionsstufen Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 (eigene Darstellung).

7.1.3 Systeme

Die Abbildung 15 zeigt das Viable System Model mit drei Rekursionsebenen, die jeweils in einem 45°-Winkel zueinander gedreht sind, um jede Rekursion isomorph darzustellen (Beer, The Heart of Enterprise, 1979, S. 318-324). Die erste Rekursion ist senkrecht dargestellt und repräsentiert Rekursion B, die weltweite Lieferkette, bei der jedes System 1 ein anderer Fertigungstyp ist. Die zweite Rekursion ist die Rekursion 1, und sie ist diagonal in Abbildung 15 dargestellt. Diese Rekursion repräsentiert die Fertigungstypen und das System 1 ist ein Fertigungsobjekt. Rekursion 2 ist waagrecht angedeutet und dient vor allem der Vollständigkeit. Für die Beschreibung des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0 werden die Rekursionsebenen B und 1 betrachtet. Auf die Darstellung der Rekursionsebene A wird verzichtet.

Ein zentraler Punkt der Industrie 4.0 ist, dass die Produkte und Produktionsmittel miteinander kommunizieren und die Produktion durch die Produkte dezentral gesteuert wird. Damit die Produktinformationen überall während der Produktion zur Verfügung stehen und auch Daten während des Herstellprozesses selbst zu den Produkten hinzugefügt werden, sind die Produktdaten und -informationen in der Umwelt platziert. Die Umwelt hat einen Bezug zu allen Systemen 4 und zu allen Divisionen. Dadurch stehen die Produktionsinformationen auf jeder Rekursion im richtigen Detaillierungsgrad zur Verfügung. In der Umwelt sind auch die Lieferantendaten, Kundendaten, spezielle Kundenanforderungen, Bestellinformationen, diverse Störungen und Supportfunktionen enthalten. IT-Systeme, Assistenzsysteme kommen in allen Systemen zum Einsatz, vor allem werden sie in den Systemen 2, 3 und 4 der Rekursion B und 1 verwendet.

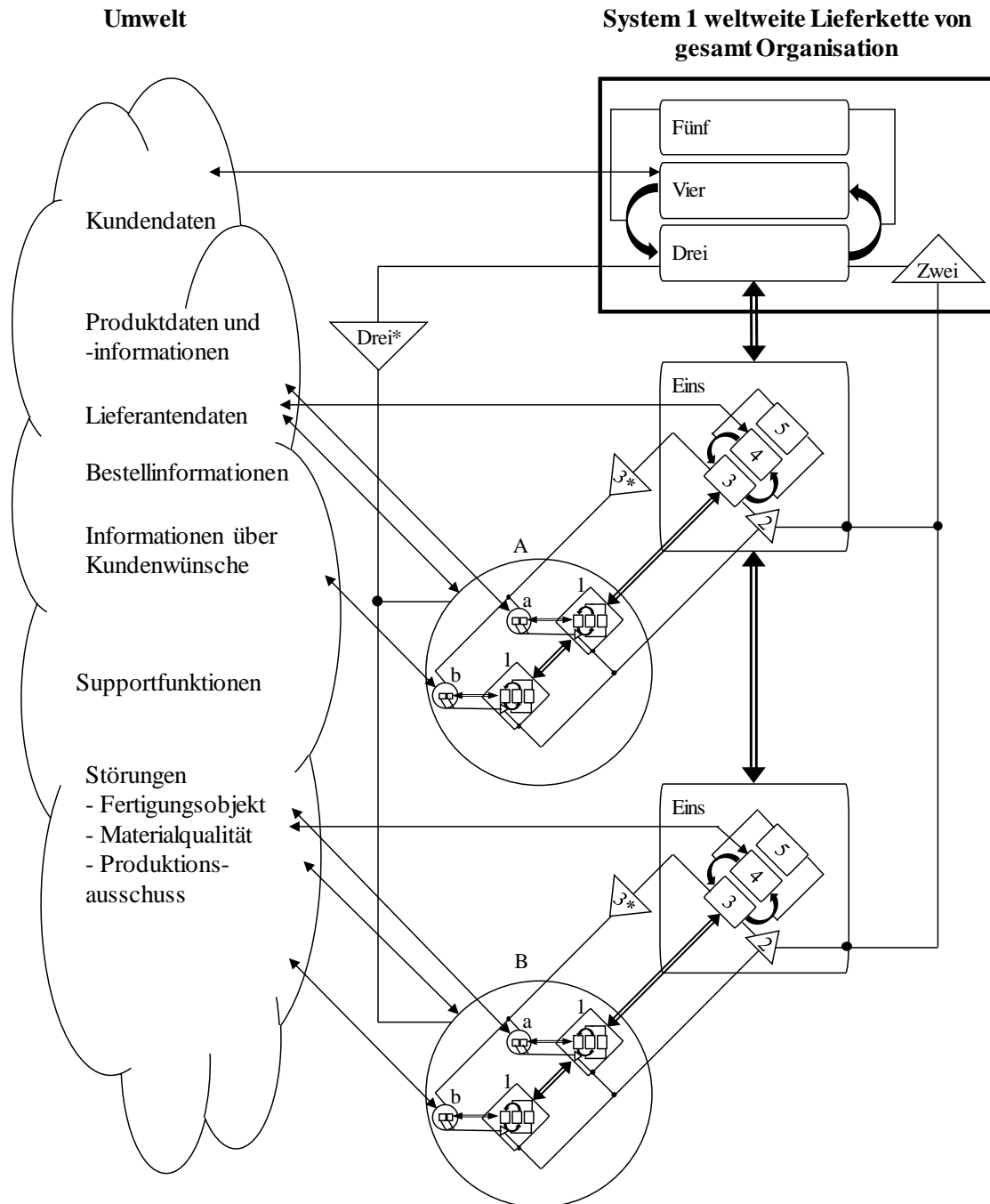


Abbildung 15 VSM vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 (eigene Darstellung in Anlehnung an (Beer, The Heart of Enterprise, 1979, S. 321)).

Die Tabelle 11 beschreibt die Systeme Eins, Zwei, Drei, Vier und Fünf der Rekursion B und Tabelle 12 beschreibt die Systeme 1, 2, 3, 4, 5 der Rekursion 1 vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0. Die Rekursionsebene 2 wird nicht genauer beschrieben, deren Systeme würden die Steuerung der Fertigungsobjekte mit den einzelnen Fertigungskomponenten beschreiben.

Strukturelemente	Beschreibung
System Fünf	Legt die allgemeinen Regeln und Normen der weltweiten Lieferkette fest. Es werden Systemgrenzen festgelegt und die strategischen Ziele der weltweiten Lieferkette definiert.
System Vier	Sammelt Informationen aus der Umwelt über Änderungen oder Trends in Produkttypen, Produktionstypen und logistischen Prozessen. Leitet die Informationen an System Fünf und System Drei weiter.
System Drei	<p>Koordiniert die verschiedenen Fertigungstypen der Systeme Eins.</p> <p>Das System erarbeitet einen operativen Gesamtplan für die Produktions- und Logistikprozesse.</p> <p>Es wird kontrolliert, dass die Produkte bei den richtigen Fertigungstypen hergestellt werden und dass den Fertigungstypen ausreichend Ressourcen (Produktions- und Logistikkapazitäten) zur Verfügung stehen. Dafür wird die Auslastung der Fertigungstypen über die Assistenzsysteme überwacht.</p> <p>Das System kontrolliert die Arbeitsweise der Assistenzsysteme von System Zwei und greift verbessernd ein.</p> <p>Das System legt neue Fertigungstypen an oder löst bestehende auf.</p>
System Drei*	In Form von Audits werden die Produktions- und Logistikprozesse (Divisionen) durch Spezialisten kontrolliert.
System Zwei	Das System koordiniert über Assistenzsysteme (ERP und MES) die Übertragung von Produkten von einem zum anderen Fertigungstyp entlang der Wertschöpfungskette. Dies gilt beispielsweise, wenn ein Produkt nach dem ersten Herstellungsschritt (Fertigungstyp 1) einen Transport (Fertigungstyp 2) zu einem weiteren Herstellungsschritt (Fertigungstyp 3) benötigt.
System Eins	Das System übernimmt die Lenkung der Division des Fertigungstyps und koordiniert sich auch mit anderen Divisionen. Das System verwaltet den Zugang und Abgang von Material und Informationen, die von anderen Divisionen stammen.
Division A, B	Darin enthalten sind die spezifischen Fertigungsobjekte, die einen Zugang zur Umwelt haben. Aus der Umwelt können Störungen eines Fertigungsobjektes oder Ausfälle von Materiallieferungen auftreten.

Tabelle 11 Systeme der Rekursion A (eigene Darstellung).

Strukturelemente	Beschreibung
System 5	<p>Legt die allgemeinen Regeln und Normen des Fertigungstyps fest.</p> <p>Es definiert die Anforderungen an neue Fertigungsobjekte und Ziele im Hinblick auf dessen Effizienz- und Qualitätsstandard.</p>
System 4	<p>Es werden Produktinformationen zur Planung der Herstellung (Mengen, Qualitätsansprüche, kundenspezifische Designs, Liefertermin) abgefragt.</p> <p>Erhält von Lieferanten Informationen über Materiallieferungen und -verfügbarkeit.</p> <p>Leitet die Informationen an System 5 und System 3 weiter.</p>
System 3	<p>Koordiniert die verschiedenen Fertigungsobjekte der Systeme 1 und erarbeitet einen detaillierten, operativen Produktionsplan. Dabei werden die Produkte aus System 4 auf die einzelnen Fertigungsobjekte unter Berücksichtigung der notwendigen Produktionsparameter eingeplant.</p> <p>Es wird kontrolliert, dass die Produkte bei den richtigen Fertigungsobjekten mit der richtigen Qualität hergestellt oder transportiert werden und dass genügend Ressourcen (Material und Mitarbeiter) zur Verfügung stehen.</p> <p>Es wird die Effizienz der Fertigungsobjekte über die Assistenzsysteme überwacht</p> <p>Das System erweitert und reduziert die Anzahl der Fertigungsobjekte</p>
System 3*	<p>In Form von Audits werden die Fertigungsobjekte überprüft und die Produktionsqualität und die Prozesszuverlässigkeit werden kontrolliert.</p>
System 2	<p>Überwachung und Steuerung der Fertigungsobjekte oder der logistischen Prozesse durch Assistenzsystem (MES, APS). Das System koordiniert die Auslastung und passt die Feinplanung an.</p> <p>Es werden Prozesskennzahlen für System 3 aufbereitet und zur Verfügung gestellt</p>
System 1	<p>Das System übernimmt die Lenkung der Division des Fertigungsobjektes und koordiniert sich auch mit anderen Divisionen. Kundenanforderungen, die von System 3 kommen, werden in Prozessparameter umgewandelt und auf das Fertigungsobjekt (Maschine) übertragen. Das System verwaltet den Zugang und Abgang von Material und Informationen, die von anderen Divisionen stammen.</p>
Division a, b	<p>In der Division sind alle Komponenten des Fertigungsobjektes enthalten und diese stehen in Kontakt zur Umwelt. Die Komponenten rufen (kunden-) spezifische Details zur Herstellung des Produktes ab. Gesammelte Produktionsinformationen während des Herstellungsprozesses (Herstelldatum, verwendete Prozessparameter, Qualitätsmerkmale) werden in die Umwelt hochgeladen.</p> <p>Auftretende Störungen beim Material (Engpass, qualitativ) oder bei Prozesskomponenten (Ausfall und Maschinenstörung) führen zu Verzögerungen im Prozess.</p>

Tabelle 12 Systeme der Rekursion A (eigene Darstellung).

7.2 Erweiterung Organisationsmodell durch Holakratie

Durch den Ansatz des Viable System Models konnten einige Anforderungen der Spannungsfelder nicht erfüllt werden. Die Holakratie ist eine anpassungsfähige Organisationsstruktur, weil das Rollenverständnis bei auftretenden internen oder externen Spannungen angepasst wird. Die Mitarbeiter der Industrie 4.0 werden auf jeder Ebene der Organisation mit komplexen Aufgabenstellungen und vielen Daten aus Informationssystemen konfrontiert. Sie müssen nach der dezentralen Organisationsphilosophie Entscheidungen treffen können. Das erfordert in jedem System eigene Rollen, bei denen die Aufgabe, Bereiche und Verantwortlichkeiten definiert sind. Dadurch muss sich die Organisationsstruktur der Holakratie mit dem bisherigen Systemaufbau des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0 decken.

7.2.1 Struktur der Holakratie als Viable System Model

Bei der Holakratie werden die Rollen in Kreisen gruppiert und mehrere Kreise auf derselben Ebene werden durch einen grösseren Kreis gruppiert. Angewandt auf das Viable System Model sind dessen Systeme 1-5 eine Rekursion auf der gleichen Ebene. Jedes System auf jeder Rekursionsebene wird in einem Sub-Kreis zusammengefasst, in dem es unterschiedliche Rollen gibt. Die Beschreibung der Systeme des VSM dient als Grundlage der Holakratie Governance der Kreise. Die Sub-Kreise einer Rekursion bestehen aus den Systemen 1-5 und werden durch einen grösseren Super-Kreis einer Rekursion umfasst. Da es vom System 1 innerhalb einer Rekursion beliebig viele Systeme geben kann, gibt es auch mehrere Sub-Kreise mit dem System 1 innerhalb eines Super-Kreises. Die Abbildung 16 zeigt eine Rekursionsebene des Viable System Models, dargestellt mit der Organisationsstruktur der Holakratie.

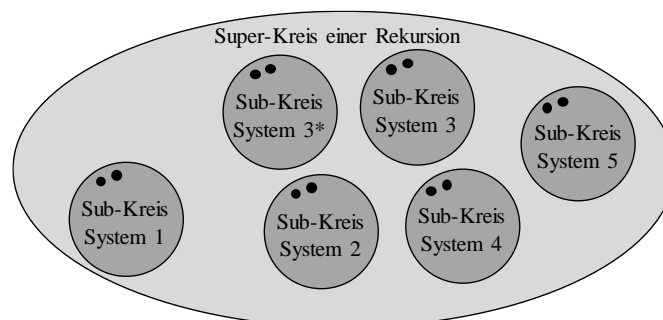


Abbildung 16 Holakratie-Kreise einer Rekursion von VSM (eigene Darstellung).

Dieses allgemeine Modell wird nun auf das VSM vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 angewendet. Dieses besteht aus vier Rekursionsebenen 2, 1, A und B. Genau wie im vorherigen Modell liegt der Fokus auf der Betrachtung der Rekursionsebenen 1 und B. Die Rekursionsebene

2 repräsentiert ein Fertigungsobjekt, eine Maschine und weist in ihren Systemen keine menschlichen Rollen auf. Rekursionsebene A repräsentiert die gesamte Organisation, der Fokus liegt in der Organisation der weltweiten Lieferkette. Die Abbildung 17 zeigt die Holakratie-Kreise vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 mit einem Super-Kreis der Rekursion B und zwei Super-Kreisen der Rekursion 1, und zwar so, wie das Modell in Kapitel 7.1.3 vorgestellt wurde. Es gibt pro Fertigungstyp innerhalb der Super-Kreise der Rekursion B einen eigenen Super-Kreis der Rekursion 1. Diese Super-Kreise der Rekursion 1 entsprechen als Ganzes dem System 1 der übergeordneten Rekursionsebene B. Innerhalb des Super-Kreises der Rekursion 1 kommen alle Systeme als Sub-Kreise vor, dies verlangt das Prinzip der Lebensfähigkeit von Systemen. Innerhalb des Super-Kreises der Rekursion 1 gibt es nur einen Sub-Kreis des Systems 1, es könnten hier mehrere Systeme 1 erwartet werden. Da aber die Aufgabe des Systems 1 das Interagieren mit ähnlichen Fertigungsobjekten ist, entspricht die Rolle dem Bedienen von Fertigungsobjekten und alle diese Rollen werden in einem Sub-Kreis zusammengefasst.

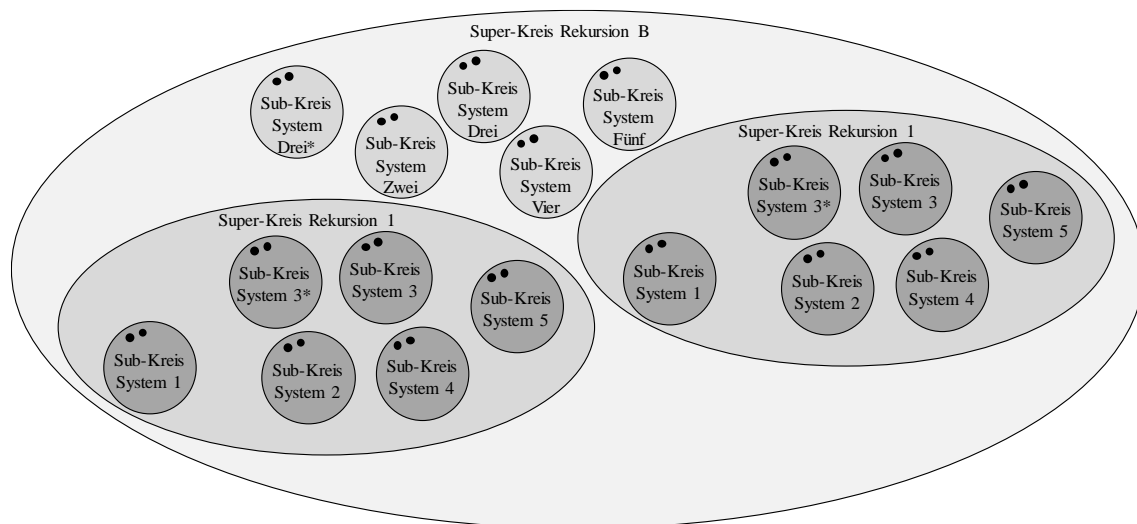


Abbildung 17 Holakratie-Kreise vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 (eigene Darstellung).

7.2.2 Rollen im Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0

Das Viable System Model zeigt die Struktur des Informationsflusses der Systeme untereinander, und es verdeutlicht, welche Aufgaben die einzelnen Systeme erfüllen müssen. Die Systeme des Viable System Models geben den Rahmen der Aufgaben der einzelnen Rollen vor. Jede Rolle erhält eine eigene Aufgabe, einen Bereich und die entsprechende Verantwortung, um die Aufgabe zu erfüllen. Bei der Industrie 4.0 werden viele Kompetenzen benötigt, die auf unterschiedliche Rollen aufgeteilt werden müssen, um eine einzelne Rolle nicht zu überfordern. Dies führt zu Spannungen zwischen den Rollen. Die Holakratie-Organisationsstruktur reduziert auftretende Spannungen zwischen verschiedenen Rollen aus demselben oder unterschiedlichen Kreisen durch

die Tactical-Meetings und die drei Verbindungen Rep-Link, Lead-Link und Cross-Link. Die Partizipationsmöglichkeiten der einzelnen Rollen auf allen Ebenen lässt den Mitarbeitern den nötigen Spielraum, sich selbst zu organisieren und in ihrer Rolle Entscheidungen zu treffen. Durch die Weiterentwicklung der Rollen und durch die Anpassungen der Governance-Regeln in einem fortlaufenden Prozess passt sich die Organisationsstruktur ständig an die veränderte Umwelt an.

7.3 Auswertung der Spannungsfelder

Es wird überprüft, welche Anforderungen der Spannungsfelder durch das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 durch die Anwendung des Viable System Models aus Kapitel 7.1 reduziert werden und welche Anforderungen durch die Anwendung der Holakratie aus Kapitel 7.2 reduziert werden. Pro Spannungsfeld wird in einer Tabelle für jede Anforderung aus Kapitel 5 geschaut, mit welchem Organisationsmodell (VSM oder Holakratie) und mit welcher Begründung das jeweilige Organisationsmodell zur Erfüllung der Anforderung beiträgt. Die Aufteilung nach den Organisationsmodellen wird zur Beantwortung der Forschungsfrage benötigt. In den Tabellen wird das neue Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 nur als „das Modell“ bezeichnet.

Tabelle 13 zeigt, dass die Anforderungen aus dem Spannungsfeld Flexibilitätsdilemma durch das Organisationsmodell Viable System Model erfüllt werden können.

Anforderung	Organisationsmodell	Begründung
Unterstützung von adaptiven Fertigungstechnologien	VSM	Die Einheit von System 1 der Rekursion B als Fertigungstyp ermöglicht es, jede Art von Fertigungstechnologien in das Modell zu integrieren. Die Organisation aller Systeme 3, 2 und 1 sorgen für die Verknüpfung zwischen Fertigungstypen und Fertigungsobjekten.
Vernetzung von CPS-Systemen	VSM	Das VSM unterstützt die Verknüpfung von realen und virtuellen CPS-Systemen. Die realen CPS oder Fertigungsobjekte sind miteinander als Einheit von System 1 verbunden. Jedes Fertigungsobjekt hat über das System 4 und die Division eine Verbindung zur Umwelt und zu den dort vorhandenen Daten. Die virtuellen Objekte oder Informationssysteme sind jeweils über die Systeme 1 und 2 mit den Systemen 3, 4 und 5 verbunden.
Auflösung der starren Prozessorganisation aus der Lean-Fertigung	VSM	Die starre Prozessorganisation wird durch die Aufteilung der Anlagen in Fertigungstypen im Modell aufgelöst. Es gibt keine fixen Prozessabläufe oder Zuteilungen auf ein Fertigungsobjekt mehr. Die Fertigungsobjekte werden innerhalb der Fertigungstypen bei der Produktionsplanung neu zugeteilt. Dedizierte Automatisierungslösungen werden auch im Modell unterstützt.

Nutzen der Transparenz von Informationssystemen zur Unterstützung der Lean-Ansätze in einer flexiblen Prozessorganisation	VSM	Die Informationssysteme sammeln und verarbeiten Prozessdaten in den Systemen 2, Zwei, 3 und Drei. Die Transparenz anhand von Echtzeitdaten wird zur nachhaltigen Effizienzsteigerung von Prozessen mit flexibler Prozessgestaltung benötigt. Prozessfaktor und Kontrolle sowie der menschliche Faktor aus den vier Lean-Faktoren werden damit im Modell unterstützt. Die beiden Lean-Faktoren Lieferanten- und Kundenfaktoren befinden sich in der Umwelt und werden über System 4 berücksichtigt.
Verbesserungsvorschläge, die Algorithmen aus Prozess- und Produktionsdaten generieren, fließen in den Prozess ein	VSM	Verbesserungsvorschläge der Informationssysteme werden im Modell auf der Rekursion 1 von System 3 an die Systeme 1 weitergegeben. Die Kontrolle der Prozesse erfolgt über das Audit des Systems 3*.
Flexible Ersttypenfertigung bei iterativen Entwicklungsprozessen	VSM	Die Ersttypenfertigung im Modell wird über die Umwelt als neues Produkt über das System Vier der Rekursion B angestossen. Die Systeme der weltweiten Lieferkette planen die Ersttypenfertigung im Hinblick auf neue oder vorhandene Fertigungstypen.

Tabelle 13 Reduktion des Spannungsfeldes Flexibilitätsdilemma (eigene Darstellung).

Tabelle 14 zeigt, dass von den vier Anforderungen aus dem Spannungsfeld Kompetenzdilemma zwei durch das Organisationsmodell Viable System Model erfüllt werden können. Eine Anforderung wird durch die Holakratie erfüllt und die Anforderung des Aufbaus fehlender Kompetenzen bei Mitarbeitern kann keines der beiden Organisationsmodelle erfüllen.

Anforderung	Organisationsmodell	Begründung
Verarbeitung von hohen Datenmengen durch Assistenzsysteme	VSM	Jedes System verarbeitet und benötigt bestimmte Informationen von den Assistenzsystemen. Die Informationsflut wird auf mehrere Systeme verteilt.
Verteilung der Kompetenzen auf mehrere Mitarbeiter	Holakratie	Die benötigten Kompetenzen können auf verschiedene Rollen aufgeteilt werden; falls zu viel Kompetenzen in einer Rolle verpackt sind, kann eine neue Rolle geschaffen werden.
Aufbau fehlender Kompetenzen bei Mitarbeiter	-	Initial fehlende Kompetenzen bei Mitarbeitern werden durch externe Ausbildungen erworben. Das Modell unterstützt diesen Prozess nicht.
Einsatz von Mitarbeitern unterschiedlicher Qualifikationsebenen	VSM	Die Rekursionsebenen ermöglichen es, weniger, mittlere und hochqualifizierte Mitarbeiter in dem Modell zu berücksichtigen. Je höher die Rekursionsebene, desto komplexer und anspruchsvoller wird die Arbeit.

Tabelle 14 Reduktion des Spannungsfeldes Kompetenzdilemma (eigene Darstellung).

Tabelle 15 zeigt, dass alle Anforderungen aus dem Spannungsfeld Benutzerakzeptanzdilemma durch das Organisationsmodell Viable System Model erfüllt werden können.

Anforderung	Organisationsmodell	Begründung
Verhindern von wenig nachvollziehbaren Planungsalgorithmen	VSM	Die Planungsalgorithmen werden in ein zentrales und in viele dezentrale Planungssysteme aufgeteilt. Die grobe zentrale Planung findet in System Drei der Rekursion B statt. Die dezentrale Planung pro Fertigungstyp findet im System 3 der Rekursion 1 statt. Die Aufteilung der Planung macht die Planungsalgorithmen übersichtlicher und wird von den Benutzern verstanden.
Unterstützung des dezentralen Planungsansatzes der Produktion	VSM	Die dezentrale Planung wird in der Rekursion 1 vom System 3 vorgenommen und plant pro Fertigungstyp.
Prozess- und Produktdaten stehen überall in der Wertschöpfungskette zur Verfügung und werden zentral verwaltet	VSM	Die Produktdaten sind in der Umwelt und dadurch jedem System 4, Vier sowie den Divisionen zugänglich. Die Prozessdaten werden durch die Divisionen in die Umwelt hochgeladen und sind durch die Systeme 1 auch für die Systeme 2 und 3 zugänglich.

Tabelle 15 Reduktion des Spannungsfeldes Benutzerakzeptanzdilemma (eigene Darstellung).

Tabelle 16 zeigt, dass die Anforderungen aus dem Spannungsfeld Organisationsdilemma vor allem durch das Organisationsmodell Holakratie erfüllt werden. Die Anforderung der dezentralen Organisationsphilosophie wird von beiden Organisationsmodellen unterstützt.

Anforderung	Organisationsmodell	Begründung
Dezentrale Organisationsphilosophie der Mitarbeiter	VSM / Holakratie	Jedes der VSM-Systeme in jeder Rekursion ist in der Lage, in seinem Tätigkeitsbereich Probleme zu lösen. Die Holakratie beschreibt, wie die Anpassung der Organisation in den VSM-Systemen funktioniert. Die Teams bestimmen in den Governance-Meetings die Spielregeln der unabhängigen Kreise.
Mitarbeiter organisieren sich selbständig	Holakratie	Zwischen den Rollen auftretende Spannungen können mit den Tactical-Meetings innerhalb des Teams reduziert werden. Dadurch können sich die Mitarbeiter eines Kreises selbst organisieren.
Unterstützung von flexiblen Arbeitsmodellen	Holakratie	Das Arbeitsmodell wird in der Governance festgehalten und kann durch das Team angepasst werden. Flexible Arbeitsmodelle erfordern koordinativen Aufwand der Mitarbeiter bezüglich ihrer Präsenz und Bereitschaft. Diese Koordination findet innerhalb des Meeting-Prozesses statt.

Tabelle 16 Reduktion des Spannungsfeldes Organisationsdilemma (eigene Darstellung).

7.4 Verifizierungsinterviews

Zur ersten Verifizierung des Selbstorganisationsmodells Industrie 4.0 wurden drei Experteninterviews zur Plausibilisierung wissenschaftlicher Untersuchungsergebnisse geführt. Das Interview fand mit drei Experten aus der Firma Feller AG by Schneider Electric statt. Die Interviewpartner sind die Leiter aus den Departements Industrialisierung, Methodenteam und Produktion. Der Interviewleitfaden ist im Anhang A, die Protokolle der Interviews in den Anhängen B, C und D zu finden. Dieses Kapitel fasst die Resultate der Experteninterviews zusammen.

Teil VSM vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0

Der Teil VSM vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 macht laut den Experten im Ganzen Sinn. Es fehlen noch die Supportfunktionen, welche den Betrieb der Fertigungsobjekte und der Assistenzsysteme gewährleisten. Das Modell ist sehr komplex und muss für eine bessere Verständlichkeit in einzelne Umsetzungsschritte aufgeteilt werden. Bei der Einführung von komplexen Assistenzsystemen wird es besonders bei den älteren Mitarbeitern zu Problemen kommen, da diese mit den technischen Systemen nicht klarkommen. Aus technischer Sicht sind erst die neusten Fertigungsobjekte bereit, vernetzt zu werden. Bei einem weltweiten Zusammenschluss der Informationen müssen die Infrastruktur und die Informationssysteme ausgebaut werden.

Teil Holakratie-Kreise vom Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0

Im Hinblick auf dieses Thema gehen die Expertenmeinungen auseinander. Zum einen gibt es die Meinung, dass die meisten Menschen unabhängig von ihrem Qualifizierungsniveau geführt werden wollten und die Eltern-Kind-Dynamik schätzten. Besonders die Produktionsmitarbeiter beabsichtigten nicht, Verantwortung zu übernehmen. Zum anderen gibt es die Meinung, dass besonders junge Mitarbeiter mit viel Eigendynamik das Modell gerne mitmachten und dann in ihren verschiedenen Rollen auch produktiver wären. Es braucht auf jeden Fall einen Generationenwechsel, denn die ältere Generation der Produktionsmitarbeiter wäre überfordert.

Die Einführung der Holakratie funktioniert bei Personen mit hohem sozialen Verständnis und grossem Verantwortungsbewusstsein, denn es ist nicht leicht, die Einhaltung der Spielregeln zu kontrollieren. Schwierig findet ein Experte die Einführung bei den älteren Abteilungsleitern der Produktion, da diese mit einem Machtverlust nicht umgehen könnten. Eine Chance der Holakratie ist es, das Spannungsfeld der gegensätzlichen Leistungskennzahlen zu reduzieren, indem es durch Cross-Link eine Annäherung an einen Mittelwert gäbe.

Gesamtes Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0

Wenn das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 in einem Unternehmen der Zukunft eingesetzt werden soll, muss ein Unternehmen das Modell verstehen. Dazu muss es die Abstraktheit verlassen. Fallbeispiele können behilflich sein. Es wird zur Umsetzung der Holakratie zeitlich erst einen Generationenwechsel benötigen und in dieser Zeit werden Fortschritte in der Technologie hinsichtlich der Umsetzung des VSM gemacht.

7.5 Beantwortung der Forschungsfrage

In der Ausgangslage wurde die folgende Forschungsfrage gestellt:

Können die Spannungsfelder zwischen Organisation und Technik im Kontext der Industrie 4.0 gelöst werden, wenn ein Selbstorganisationsmodell nach dem Viable System Model-Ansatz verwendet wird?

Die Auswertung der Anforderungen aus den Spannungsfeldern zeigt, dass die beiden Spannungsfelder Flexibilitätsdilemma und Benutzerakzeptanzdilemma durch das Organisationsmodell VSM gelöst werden können. Der Ansatz des Viable System Models alleine reicht nicht aus, um alle Spannungsfelder zwischen Organisation und Technik der Industrie 4.0 zu lösen. Für die beiden Spannungsfelder Kompetenzdilemma und Organisationsdilemma braucht es sowohl das VSM als auch das Organisationsmodell Holakratie, um die Anforderungen zu erfüllen. Nur die Anforderung „Aufbau fehlender Kompetenzen bei Mitarbeitern“ kann durch die Organisationsmodelle nicht erfüllt werden.

Das Viable System Model gibt durch die fünf Systeme und Rekursionen eine Struktur vor, die in der Lage ist, sich anzupassen und den Informationsfluss der Prozess- und Produktdaten zwischen den Organisationsebenen darzustellen. Die Aufteilung der Kompetenzen unter Mitarbeitern und die Selbstorganisation durch Mitarbeiter sind in der Industrie 4.0 wichtige Eigenschaften und können mit dem VSM-Ansatz nicht reduziert werden. Diese Anforderungen werden durch die Organisationsstruktur Holakratie erfüllt. Der auf Rollen basierende Ansatz kann mit dem VSM existieren. Die Antwort auf die Forschungsfrage lautet daher:

Die Spannungsfelder zwischen Organisation und Technik im Kontext der Industrie 4.0 können fast alle gelöst werden, wenn ein Selbstorganisationsmodell nach dem Viable System Model und dem Holakratie-Ansatz verwendet wird.

7.6 Fazit

Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 besteht aus dem kybernetischen Managementmodell Viable System Model und der Organisationsstruktur der Holakratie. Der Teil des Viable System Model zeigt die Managementfunktionen auf allen Organisationsebenen und den Informationsfluss innerhalb der Systeme und zwischen den Organisationsebenen. Der Teil der Holakratie zeigt die Organisationsstruktur als Rollen und Kreise in Bezug zum VSM und dass die Arbeit durch die Rollen organisiert wird. Dies gibt eine agile Organisationsstruktur, bei der sich Menschen selbst organisieren.

Das VSM deckt 12 der 16 Anforderungen aus den Spannungsfelder ab. Die Holakratie deckt drei weitere Anforderungen ab und eine Anforderung wird gemeinsam von der Holakratie und dem VSM erfüllt. Mit der Anwendung von beiden Modellen können 15 von insgesamt 16 Anforderungen aus den Spannungsfelder erfüllt werden.

Die Idee des Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 besteht darin, die weltweite Lieferkette einer Unternehmung so zu organisieren und zu steuern, dass es eine höhere Prozessflexibilität zulässt und auf Umwelteinflüsse rasch reagieren kann. Durch diese Fähigkeit können technische und personelle Ressourcen auf jede mögliche Situation flexibel kombiniert werden. Die kundenspezifischen Produktinformationen befinden sich in der Umwelt des Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 und werden bei einer Bestellung von den Fertigungsobjekten abgefragt. Die Prozessabläufe werden pro Produktionsauftrag flexibel kombiniert. Das bedeutet, dass das gleiche Produkt zwar dieselben Fertigungstypen durchläuft, aber auf unterschiedlichen Fertigungsobjekte eingeplant und produziert wird. Die flexible Prozessorganisation ermöglicht den optimalen Einsatz von Ressourcen bei höherer Auslastung.

Im Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 ist die grobe Planung der Auslastung zentralisiert und die Feinplanung dezentralisiert. Die Zentralisierung ermöglicht es dem Produktionsnetzwerk flexibel auf veränderten Bedarf zu reagieren. Fertigungsobjekte oder Fertigungstypen können erweitert oder reduziert werden. Mit der Dezentralisierung der Feinplanung kann flexibel auf Störungen aus der Umwelt reagiert werden. Eine Störung kann der Ausfall von einzelnen Fertigungsobjekten sein oder dass materielle oder menschliche Ressourcen nicht ausreichend zur Verfügung stehen.

Die Fertigungsobjekte können beim Produzieren die kundenspezifischen Details aus der Umwelt abrufen. Die anfallenden Prozessdaten wie Produktionsfortschritt, -qualität und -datum werden den vorhandenen Produktinformationen in der Umwelt hinzugefügt. Dadurch sind alle Produktinformationen über den gesamten Lebenszyklus hinweg in der Umwelt gespeichert und für alle Akteure verfügbar.

Die IT-Systeme des Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 verbinden die verschiedenen Organisationsebenen, Fertigungstypen und Fertigungsobjekten miteinander und mit der Umwelt. Die

Assistenzsysteme wie ERP, MES und APS überwachen die Fertigungsobjekte und liefern den höheren Organisationsebenen die aggregierten, aufbereiteten Prozessdaten. Damit können die Produktionsprozesse überwacht und Wartungen frühzeitig geplant werden, um Störungen zu vermeiden.

Die Verifizierung mittels Experteninterview hat gezeigt, dass das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 in einem Unternehmen der Zukunft eingesetzt werden kann. Das Modell ist sehr abstrakt gehalten und muss zur Umsetzung mittels Anschauungsbeispielen verdeutlicht werden. Für die Umsetzung des Teils Viable System Models muss die Interoperabilität der Fertigungsobjekte verbessert und die Assistenzsysteme weiterentwickelt werden. Der Teil der Holakratie benötigt einen Generationenwechsel, denn besonders die älteren Produktionsmitarbeiter möchten keine Verantwortung übernehmen und sind mit komplexen digitalen Systemen überfordert.

8 Schlussbetrachtung

In dieser Master-Thesis wurde aufgrund von Anforderungen aus aktuellen Spannungsfelder zwischen Organisation und Technik in der Industrie 4.0 ein abstraktes Selbstorganisationsmodell für die Industrie 4.0 entwickelt und durch Experteninterviews grob verifiziert. Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 basiert auf den beiden Ansätzen des kybernetischen Managementmodells Viable System Model und der Organisationsstruktur der Holakratie. Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 zeigt die verschiedenen Organisationsebenen und die Organisationsstruktur einer Unternehmung mit weltweiter Lieferkette und cyber-physischen Systemen. Unternehmen, die nach dem Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 organisiert sind, haben eine flexible und selbstoptimierte Prozessorganisation. Sie können sich schneller den zahlreichen Herausforderungen wachsender Produktkomplexität, der Einführung neuer agilen Herstellprozessen, verkürzte Lieferzeiten, flexible Arbeitsmodelle und global verbundene Lieferketten anpassen. Bei der Erarbeitung des Modells wurden die drei Dimensionen des sozio-technischen System im Wandel von Produktionsarbeit berücksichtigt.

Damit das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 in Unternehmen umgesetzt werden kann, müssen die an der Robust Manufacturing Conference identifizierten Industrie 4.0 Enabler IT-Globalisierung, single source of truth, Automation und Kooperation erfüllt werden. Für die single source of truth befinden sich die Daten im Selbstorganisationmodell Industrie 4.0 in der Umwelt, da können sie von allen Akteuren innerhalb und ausserhalb des Unternehmens verwendet werden. Die Fertigungsobjekte müssen sich zu automatisierten CPS-Akteuren wandeln, die zusammen über globale IT-Systeme kommunizieren und kooperieren. Neue IT-Systemkonzepte wie das VMES ermöglichen es Herstellungssystemen auch mehrdimensionale Ziele mit weniger Planungsbemühungen zu erreichen. Die Planungsalgorithmen der IT-Systeme werden umfangreicher und komplexer.

Aus den Verifizierungsinterviews konnten weitere organisatorische und technische Anforderungen an Unternehmen herausgearbeitet werden. Aus technischer Sicht muss die Interoperabilität zur Anbindung der Fertigungsobjekte an die globalen IT-Systeme verbessert werden. Die technischen Schnittstellen werden im Referenzarchitekturmodell 4.0 beschrieben, die Standardisierungen aber noch nicht konsequent umgesetzt. Aus organisatorischer Sicht sind die älteren Mitarbeiter mit komplexen Assistenzsystemen überfordert. Auserwählte Produktionsmitarbeiter mit viel Eigendynamik könnten bereits heute mehr Verantwortung übernehmen und sich in flexiblen Arbeitsmodellen integrieren. Die meisten Produktionsmitarbeiter möchten geführt werden und lehnen Verantwortung ab. Es wird einen Generationenwechsel brauchen, um die flexible Organisationsstruktur der Holakratie in der Produktionsumgebung umzusetzen.

Die Forschungslücke hat gezeigt, dass es kein Organisationsmodell für Unternehmen der Industrie 4.0 gibt. Diese Master-These trägt zur Schliessung dieser Lücke bei und nutzte bestehende Organisationsmodelle um ein Selbstorganisationmodell Industrie 4.0 zu entwickeln, das von Spannungsfelder abgeleitete Anforderungen erfüllt. Als Methodenframework ist nach dem Information System Research Framework vorgegangen. Zur Sicherstellung der Rigorosität wurde eine Literaturanalyse der Industrie 4.0 und des Organisationsmodells Viable System Model durchgeführt. Daraus wurde das Artefakt, ein abstraktes Selbstorganisationmodell Industrie 4.0 entwickelt und mit drei Experteninterviews grob verifiziert. Die nächsten Schritte der Forschung gemäss dem Methodenframework ist es die Relevanz in der realen Welt zu testen und die Ergebnisse in das Artefakt zu integrieren. Durch mehrmaliges Testen wird das Artefakt in iterativen Schritten verfeinert. Das Ziel muss es sein, die technischen und organisatorischen Hindernisse, die bei der Einführung des Selbstorganisationmodell Industrie 4.0 auftreten, zu reduzieren. In der Master-These sind die beiden Organisationsmodelle Viable System Models und Holakratie im Artefakt kombiniert worden. Weitere Forschungen können die Schnittstellen zwischen den beiden Organisationsmodellen im Detail ausarbeiten und die daraus entstehenden Vor- und Nachteile erforschen.

Literaturverzeichnis

- acatech. (2011). Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. Berlin.
- acatech. (2012). Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Heidelberg: Springer.
- Albert, C., & Fuchs, C. (2007). Durchblick im Begriffsdschungel der Business-Software . Lehrstuhl für BWL und Wirtschaftsinformatik. Würzburg : Universität Würzburg. Von <http://www.verkehrsrundschau.de/fm/3576/Durchblick%20Business%20Software.pdf> abgerufen
- Anderl et al. (2015). Industrie 4.0 - Potentiale, Nutzen und Good-Practice-Beispiele für die hessische Industrie. ResearchGate. Bamberg: Meisenbach. Abgerufen am 12. 11 2016 von <https://www.researchgate.net/publication/283784447>
- Arbeitskreis Industrie 4.0 Markt & Strategie. (2016). Industrie 4.0 – Die neue Rolle der IT. (T. u. Bitkom - Bundesverband Informationswirtschaft, Hrsg.) Abgerufen am 18. 10 2016 von <https://www.bitkom.org/Publikationen/2016/Leitfaden/Industrie-40-Die-neue-Rolle-der-IT/160421-LF-Industrie-40-Die-neue-Rolle-der-IT.pdf>
- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779.
- Beer, S. (1959). *Cybernetics and Management*. London: The English Universities Press.
- Beer, S. (1972). *Brain of the Firm*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Beer, S. (1979). *The Heart of Enterprise*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Beer, S. (1984). The Viable System Model: its provenance, development, methodology and pathology. *Journal of the Operational Research Society* 35:7, 7-25.
- Birkmann, S. (2013). Kennzahlen aus dem MES. *Digital Manufacturing - Aufbau und Optimierung IT-Gestützter Produktionsprozesse*, 10-11. Abgerufen am 31. 10 2016 von http://www.digitalbusiness-cloud.de/sites/default/files/magazine-pdf/dm_2013-06_archiv.pdf
- Bleicher, K. (2011). Zur Lebensfähigkeit virtueller Organisationen. In C. Abegglen (Hrsg.), *Managementsysteme: Meilensteine der Entwicklung eines Integrierten Managements 4* (S. 209-230). Künzelsau: Swiridoff.
- Bothhof, A., & Hartmann, E. (2015). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin: Springer Vieweg.
- Brecher, C., Müller, S., Breitbach, T., & Lohse, W. (2013). Viable System Model for Manufacturing Execution Systems. *Procedia CIRP* 7, (S. 461-466).
- Clegg, C. (2000). Sociotechnical principles for system design. *Applied Ergonomics*, 31, 463-477.
- Cooper, H. (1988). Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. *Knowledge in Society*, 104–126.
- Dyckhoff, H. (2000). *Grundzüge der Produktionswirtschaft*. Berlin: Springer.
- Espinosa, A., & Walker, J. (2013). Complexity management in practice. *European Journal of Operational Research*, 118-129. Abgerufen am 16. 10 2016 von <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0377221712006790>
- Florida Atlantic University Libraries. (2016). *Guide to Science Information Resources: Backward & Forward Reference Searching*. Abgerufen am 19. 11 2016 von http://libguides.fau.edu/science_resources
- Friederichsen et al. (2015). The relevance of manufacturing flexibility in the context of Industrie 4.0. *Procedia CIRP* 41, (S. 105-110).

- Gläser, J., & Grit, L. (2006). Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse als Instrument rekonstruierender Untersuchungen. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Gleissner, H., & Femerling, C. (2008). Grundlagen der Logistik. Wiesbaden: Gabler.
- Hankel, M. (2015). Industrie 4.0: Das Referenzarchitekturmodell (RAMI 4.0). Von ZVEI - Die Elektroindustrie: http://www.zvei.org/Downloads/Automation/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4_0-RAMI-4_0.pdf abgerufen
- Hartmann, E. A. (2015). Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In A. Botthof, & E. A. Hartmann, Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 (S. 9-20). Berlin: Springer Vieweg.
- Herrera, C., Thomas, A., Belmokhtar, S., & Pannequin, R. (2011). A viable system model for product-driven systems. International Conference on Industrial Engineering and Systems Management. Metz, France. doi:hal-00607682
- Hevner et al. (2004). Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly Vol. 8 No. 1, 25-105. Von <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.110.8133&rep=rep1&type=pdf> abgerufen
- Hirsch-Kreinsen, H., & Weyer, J. (2014). Wandel von Produktionsarbeit – Industrie 4.0. Wirtschafts- und Sozialwissenschaftliche Fakultät. Soziologisches Arbeitspapier TU Dortmund, Nr. 38/2014. Abgerufen am 12. 11 2016 von http://www.wiso.tu-dortmund.de/wiso/ts/de/forschung/veroeff/soz_arbeitspapiere/AP-SOZ-38.pdf
- Hunziker, A. (2015). Spass am wissenschaftlichen Arbeiten. Zürich: SKV AG.
- Industrial Internet Consortium. (04. Juni 2015). www.iiconsortium.org. Abgerufen am 05. 03 2017 von <https://www.iiconsortium.org/IIRA-1-7-ajs.pdf>
- Industrial Internet Consortium. (31. Januar 2017). www.iiconsortium.org. Abgerufen am 05. 03 2017 von https://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf
- Industrial Internet Consortium; Plattform Industrie 4.0. (03. Februar 2016). Cooperation Among Two Key Leaders in the Industrial Internet. Abgerufen am 05. 03 2017 von <http://blog.iiconsortium.org/2016/03/the-industrial-internet-is-important-new-technologies-and-new-business-opportunities-will-disrupt-industries-on-many-level.html>
- Kagermann, H., Lukas, W.-D., & Wahlster, W. (01. April 2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. VDI-Nachrichten. Abgerufen am 15. 11 2016 von <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-Mit-Internet-Dinge-Weg-4-industriellen-Revolution>
- Kaiser, R. (2014). Qualitative Experteninterviews. Wiesbaden: Springer VS.
- Kärcher, B. (2015). Alternative Wege in die Industrie 4.0 – Möglichkeiten und Grenzen. In A. Botthof, & E. A. Hartmann, Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0 (S. 47-58). Berlin: Springer Vieweg.
- Kay, R. (2012). Demographischer Wandel: personalpolitische Herausforderungen, Problembewusstsein und Anpassungsstrategien von KMU. In Charta der Vielfalt. Berlin: JUNG – ALT – BUNT Diversity und der demographische Wandel.
- Koestler, A. (1968). Das Gespenst in der Maschine. Molden.
- Kreimeier et al. (2014). Intelligente Wissensdienste in Cyber-Physischen Systemen - Soziotechnische Herausforderungen im Kontext von Industrie 4.0. Industrie Management (6/14), S. 25-29.
- Latour, B. (1996). On Actor-Network Theory. A Few Clarifications. Soziale Welt, 47, 369-381.

- Malik, F. (2015). Strategie des Managements komplexer Systeme - Ein Beitrag zur Management-Kybernetik evolutionärer Systeme (11. Aufl.). Bern: Haupt.
- Miller, J. (1978). Living Systems. New York: McGraw-Hill.
- Müller, G. (18. Oktober 2016). Industrie 4.0 in der Praxis: Digitalisierung (über)fordert die Unternehmen. Neue Zürcher Zeitung. Von <http://www.nzz.ch/wirtschaft/unternehmen/industrie-40-in-der-praxis-digitalisierung-ueberfordert-die-unternehmen-ld.122518> abgerufen
- Permin et al. (2016). Self-optimizing production systems. *Procedia CIRP* 41, (S. 417-422).
- Plattform Industrie 4.0. (2016). Abgerufen am 23. 10 2016 von <http://www.plattform-i40.de>
- Plattform Industrie 4.0; ZVEI. (2015). Abgerufen am 04. 03 2017 von <http://www.zvei.org/SiteCollectionImages/Themen/Industrie-40/RAMI-Referenzarchitekturmodell-Industrie-4-0.jpg>
- Porter, M. E. (1986). Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten. Frankfurt am Main: Campus Verlag.
- Prinz et al. (2016). Learning Factory modules for smart factories in Industrie 4.0. *Procedia CIRP* 54, (S. 113-118).
- Robert Bosch GmbH. (06. 03 2017). Von <http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Bilder/Presse/pm-iic-kooperation.jpg> abgerufen
- Robertson, B. J. (2016). Holacracy: Ein revolutionäres Management-System für eine volatile Welt. München: Vahlen.
- Rowley, J., & Slack, F. (2004). Conducting a literature review. *Management Research News*, 27 (6), 31-39.
- Rüegg-Stürm, J., & Grand, S. (2014). Das St. Galler Management-Modell - 4. Generation - Einführung. Bern: Haupt.
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, Vol 9, No 3, S. 811-833.
- Schewe, F. (11. April 2016). [computer-automation.de](http://www.computer-automation.de). Abgerufen am 27. 02 2017 von Was hinter der Referenzarchitektur RAMI 4.0 steckt: <http://www.computer-automation.de/steuerungsebene/steuern-regeln/artikel/129204/>
- Schleipen, M. (2013). Wenn die Systeme sich verstehen. Digital Manufacturing - Aufbau und Optimierung IT-Gestützter Produktionsprozesse, 6-8. Abgerufen am 31. 10 2016 von http://www.digitalbusiness-cloud.de/sites/default/files/magazine-pdf/dm_2013-06_archiv.pdf
- Schwaninger, M., & Adam, M. (2004). Lebensfähigkeit sozialer Systeme: Ein Theorievergleich. In T. Fischer, *Kybernetik und Wissensgesellschaft* (S. 453-468). Berlin: Duncker & Humblot.
- Schwaninger, M., & Scheef, C. (2016). A Test of the Viable System Model: Theoretical Claim vs. Empirical Evidence. *Cybernetics and Systems: An International Journal*. doi:10.1080/01969722.2016.1209375
- Shah, R., & Ward, P. (2003). Lean manufacturing: context, practice bundles, and performance. *Journal of operations management*, 21(2), 129-149. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963\(02\)00108-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-6963(02)00108-0)
- Shah, R., & Ward, P. (2007). Defining and developing measures of lean production. *Journal of operations management*, 25(4), 785-805. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>

- Siemens AG. (2012). Siemens entwickelt europäisches Architekturmodell für Smart Grids. Abgerufen am 04. 03 2017 von <http://www.siemens.com/press/pool/de/pressemitteilungen/2012/infrastructure-cities/smart-grid/ICSG201205018d.pdf>
- Spath et al. (2013). Produktionsarbeit der Zukunft – industrie 4.0. Stuttgart: Fraunhofer Verlag. Von http://www.produktionsarbeit.de/content/dam/produktionsarbeit/de/documents/Fraunhofer-IAO-Studie_Produktionsarbeit_der_Zukunft-Industrie_4_0.pdf abgerufen
- Spath et al. (2015). Kompetenzentwicklung in der Industrie 4.0. In H. Meier, Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt (S. 113-124). Berlin: GITO Verlag.
- Taisch, M., Stahl, B., & May, G. (2015). Sustainability in Manufacturing Strategy Deployment. *Procedia CIRP* 26, (S. 635-640).
- VDI/VDE-Gesellschaft. (2013). Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation. Von https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/Stellungnahme_CP_PS_2013-03-28_final.pdf abgerufen
- VDI/VDE-Gesellschaft. (2015). Statusreport: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Abgerufen am 18. 10 2016 von https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf
- Vogel, B. (1995). Wenn der Eisberg zu schmelzen beginnt.... In C. Brinkmann, A. Deeke, & B. Völkel, Experteninterviews in der Arbeitsmarktforschung (S. 73-83). Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit.
- vom Brocke et al. (2009). Reconstruction the giant: On the importance of rigour in documenting the literature. *European Conference on Information Systems*. Paper 161. Von <http://aisel.aisnet.org/ecis2009/161> abgerufen
- von Foerster, H. (1984). Principles of self-organization - in a socio-managerial context. In H. Ulrich, & G. J. Probst, *Self-organization and management of social systems: Insights, promises, doubts, and questions* (S. 2-24). Berlin: Springer.
- von Foerster, H. (1985). *Sicht und Einsicht. Versuche zu einer operativen Erkenntnistheorie*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.
- Weber et al. (2014). Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. *Procedia CIRP* 19, (S. 51-56).
- Wiener, N. (1952). *Mensch und Menschmaschine. Kybernetik und Gesellschaft*. Frankfurt am Main: Alfred Metzner Verlag.
- Wischmann, S. (2015). Arbeitssystemgestaltung im Spannungsfeld zwischen Organisation und Mensch–Technik-Interaktion. In A. Botthof, & E. A. Hartmann, *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (S. 149-160). Berlin: Springer Vieweg.

Anhang

A Interviewleitfaden

Einleitung (5 Minuten)	<ul style="list-style-type: none"> • Begrüssung • Aufzeichnung des Interviews, das Interview fliesst anonym in die Masterarbeit ein. • Es geht um die Verifizierung der erarbeiteten Forschungsobjekte • Die Arbeit wird in Etappen vorgestellt, nach jeder Etappe werden Fragen dazu gestellt. • Industrie 4.0: intelligente, digital vernetzte Systeme, auch als Cyber-physisches System (CPS); Menschen, Maschinen, Anlagen, Logistik und Produkte kommunizieren und kooperieren miteinander. • Unternehmen tun sich schwer, die Industrie 4.0 voll auszuschöpfen und Profit aus der Vernetzung und den angefallenen Daten zu nutzen. • Masterarbeit: Spannungsfelder sind identifiziert, die entstehen, wenn ein Unternehmen von heute auf morgen Industrie 4.0 einführt. Einführen von flexiblen, lebensfähigen, anpassungsfähigen Organisationsmodelle sollen die Spannungsfelder reduzieren. Diese Organisationsmodelle werden anhand des Interviews verifiziert.
Spannungsfeld (5 Minuten)	<p>Flexibilisierungsdilemma</p> <p>Die Lean Manufacturing Ansätze sind weit verbreitete Methodiken, um die Produktivität zu verbessern und Kosten in der Herstellungsorganisation zu senken. Die starre Prozessorganisation der Leanfertigung hindern Unternehmen daran, das Prinzip der dezentralen automatisierten Selbstorganisation der Industrie 4.0 umzusetzen. Flexible Prozessstrukturen und iterative Entwicklungsprozesse sind Vorteile die in der vernetzten Welt mit CPS genutzt werden können. Das Spannungsfeld Flexibilitätsdilemma beschreibt das Aufeinandertreffen der neuen Welt der flexiblen Prozessorganisation auf die starren Organisationen und Prinzipien der Lean-Management Ansätze.</p>

	<p>Kompetenzdilemma</p> <p>Die Rolle auf den verschiedenen Ebenen eines Produktionssystems werden sich durch Industrie 4.0 sowohl in der Produktions- als auch auf der Verwaltungsebene verändern. Die Mitarbeiter werden mit einer höheren Menge an Informationen und Daten konfrontiert. Dies erfordert höhere Kompetenzen. Unternehmen die in die Industrie 4.0 wechseln brauchen einen grösseren Anteil an mittleren und oberen qualifizierten Arbeiter. Die fehlenden Kompetenzen bei Mitarbeiter bremst die Einführung von Industrie 4.0, da diese erst aufgebaut werden müssen.</p> <p>Benutzerakzeptanzdilemma</p> <p>Die Industrie 4.0 unterstützt einen dezentralen Planungsansatz, dennoch müssen gemeinsam genutzte Informationen in einem zentralen System verwaltet werden. Zur Planung sind die verschiedenen Dezentralen Systeme untereinander vernetzt und ermitteln die optimale Lösung. Je komplexer die Planungsalgorithmen der Assistenzsysteme (ERP, MES, APS) sind, desto weniger können die Mitarbeiter die Planung nachvollziehen und lehnen das System ab. Mitarbeiter benötigen einige Zeit, um Vertrauen in die Assistenzsysteme zu gewinnen, dadurch wird vorerst die Einführung von komplexen Planungsalgorithmen verhindert. Dies ist das Spannungsfeld Benutzerakzeptanzdilemma, welches die Entwicklung der Industrie 4.0 ausbremst.</p> <p>Organisationdilemma</p> <p>In der Industrie 4.0 wird eine dezentrale Organisationsphilosophie mit kompetenten Mitarbeiter geben, die mit den technischen Systemen interagieren. Die Ressourcenplanung der Mitarbeiter wird infolge kurzfristigeren Marktschwankungen in Echtzeit erfolgen. Dies forderte eine höhere Abstimmung zwischen den Mitarbeiter und braucht flexiblere Arbeitsmodelle. Die Umstellung von einer zentralen zu einer dezentralen Organisationsphilosophie ist das Spannungsfeld Organisationdilemma.</p>
<p>Viable System Model (10 Minuten)</p>	<p>Das Viable System Model oder Modell des lebensfähigen Systems ist ein kybernetisches Managementmodell das in den fünfziger bis siebziger Jahren entstand. Das VSM gibt der Unternehmung eine Organisationsstruktur vor,</p>

die Komplexität bewältigen kann und sich die Organisation auf eine vorhersehbare Weise selbst stabilisiert.

Das Modell besteht aus dem Prinzip der Lebensfähigkeit und dem Prinzip der Rekursion: Die Lebensfähigkeit wird durch die Organisation von fünf Systemen realisiert und die Rekursion besagt, dass alle Ebenen der Organisation die gleichen Strukturen und Mechanismen aufweisen.

System 5 repräsentiert die oberste Entscheidungsinstanz des Gesamtsystems im Hinblick auf die grundlegenden Normen und Regeln. In diesem Rahmen bewegen sich alle anderen Systeme. System 5 ist mit System 4 und 3 verbunden.

System 4 besteht aus dem Aufnehmen, Verarbeiten und Weiterleiten von Umweltinformationen. Hat Bezug zu System 3 und 5.

System 3 hat die Aufgabe die Systeme 1 zu koordinieren und durch Vorgaben und Richtlinien einzuschränken. Erarbeitet operativen Gesamtplan mit Einbezug von Informationen aus den Systemen 1, 2, 4, 5

System 2 übt eine Koordinationsfunktion aus, die darin besteht Störungen durch interdivisionale Koordination so gut wie möglich auszugleichen.

System 1 sind die Lenkungsinstanzen für die Hauptaktivitäten, Divisionen.

Rekursion B repräsentiert die Abteilung der weltweiten Lieferkette, deren Systeme 1 lenkt Fertigungstypen. Die Rekursion B ist senkrecht dargestellt

Rekursion 1 repräsentiert die Fertigungstypen, deren Systeme 1 lenkt Fertigungsobjekte. Zu den Fertigungstypen zählen zum einen aus dem Bereich Produktion Fertigungsmethoden, unterschiedliche Technologien (Spritzguss, Extrudieren, Stanzen, Montageanlage, Oberflächenbehandlung etc.) und auch logistische Prozesse aus dem Bereich Ein-, Ausgangslogistik (Beschaffung, Materialfluss, Transport, Distribution etc.). Rekursion 1 und ist diagonal Abbildung 15 dargestellt

Rekursion 2 repräsentiert ein Fertigungsobjekt, deren Systeme 1 lenkt alle Komponenten eines Fertigungsobjektes.

System Fünf: Legt die allgemeinen Regeln und Normen der Fertigungstypen fest. Es werden Systemgrenzen festgelegt und die strategischen Ziele der Fertigungstypen definiert.

System Vier: Sammelt Informationen aus der Umwelt über Änderungen in Produkttypen und Fertigungstypen oder -methoden. Leitet die Informationen an System 5 und System 3 weiter.

System Drei: Das System erarbeitet einen operativen Gesamtplan für die Produktions- und Logistikprozesse.

Es wird kontrolliert, dass die Produkte bei den richtigen Fertigungstypen hergestellt werden und dass den Fertigungstypen genügend Ressourcen (Produktionskapazitäten) zur Verfügung stehen. Dafür wird die Auslastung der Fertigungstypen über die Assistenzsysteme überwacht. Das System legt neue Fertigungstypen an oder löst bestehende auf.

Das System kontrolliert die Arbeitsweise der Assistenzsysteme von System 2 und greift verbessernd ein.

System Drei*: Kontrolliert die Produktions- und Logistikprozesse (Divisionen) durch Spezialisten in Form von Audits.

System Zwei: Das System koordiniert über Assistenzsysteme (ERP und MES) die Übertragung von Produkten von einem zum anderen Fertigungstyp entlang der Wertschöpfungskette. Wenn beispielsweise ein Produkt nach dem ersten Herstellungsschritt (Fertigungstyp 1) einen Transport (Fertigungstyp 2) zu einem weiteren Herstellungsschritt (Fertigungstyp 3) benötigt.

System Eins: Das System übernimmt die Lenkung der Division des Fertigungstyps. Es verwaltet den Zugang und Abgang von Material und Informationen, das von anderen Divisionen stammt.

Division A, B: Darin enthalten sind die spezifischen Fertigungsobjekte, welche einen Zugang zur Umwelt haben. Aus der Umwelt können Störungen eines Fertigungsobjektes oder Ausfälle von Materiallieferungen auftreten.

System 5: Legt die allgemeinen Regeln und Normen der Fertigungsobjekte fest. Es definiert die Anforderungen an neue Fertigungsobjekte und Ziele zu dessen Effizienz- und Qualitätsstandard.

System 4: Das Produkt meldet einen Bearbeitungsschritt beim System an und es werden grobe Produktinformationen zur Herstellung (Mengen, Qualitätsansprüche, kundenspezifische Designs) abgefragt. Es erhält von Lieferanten

Informationen über Materiallieferungen und -verfügbarkeit. Leitet die Informationen an System 5 und System 3 weiter.

System 3: Koordiniert die verschiedenen Fertigungsobjekte der Systeme 1 und erarbeitet einen detaillierten, operativen Produktionsplan. Dabei werden die Produkte aus System 4 auf die einzelnen Fertigungsobjekte unter Berücksichtigung der notwendigen Produktionsparameter eingeplant.

Es wird kontrolliert, dass die Produkte bei den richtigen Fertigungsobjekten mit der richtigen Qualität hergestellt werden und dass genügend Ressourcen (Rohmaterial und Mitarbeiter) zur Verfügung stehen.

Es wird die Effizienz der Fertigungsobjekte über die Assistenzsysteme überwacht.

Das System erweitert und reduziert die Anzahl der Fertigungsobjekte.

System 3*: In Form von Audits werden die Fertigungsobjekte überprüft und die Produktionsqualität, Prozesszuverlässigkeit kontrolliert.

System 2: Überwachung und Steuerung der Fertigungsobjekte oder logistischen Prozessen durch Assistenzsystem (MES, APS). Das System koordiniert die Auslastung und passt die Feinplanung an. Es werden Prozesskennzahlen für System 3 aufbereitet und zur Verfügung gestellt

System 1: Das System übernimmt die Lenkung der Division des Fertigungsobjektes und koordiniert sich auch mit anderen Divisionen. Kundenanforderungen, die von System 3 kommen, werden in Prozessparameter umgewandelt und auf das Fertigungsobjekt (Maschine) übertragen. Das System verwaltet den Zugang und Abgang von Material und Informationen, die von anderen Divisionen stammen.

Division a, b: In der Division sind alle Komponenten des Fertigungsobjektes enthalten und diese stehen in Kontakt zu der Umwelt. Die Komponenten rufen (kunden-) spezifische Details zur Herstellungen des Produktes ab. Gesammelte Produktionsinformationen während des Herstellungsprozesses (Herstelldatum, verwendete Prozessparameter, Qualitätsmerkmale) werden an die Umwelt abgegeben.

Auftretende Störungen bei Material (Engpass, Qualitativ) oder Prozesskomponenten (Ausfall und Maschinenstörung) führen zu Verzögerungen im Prozess.

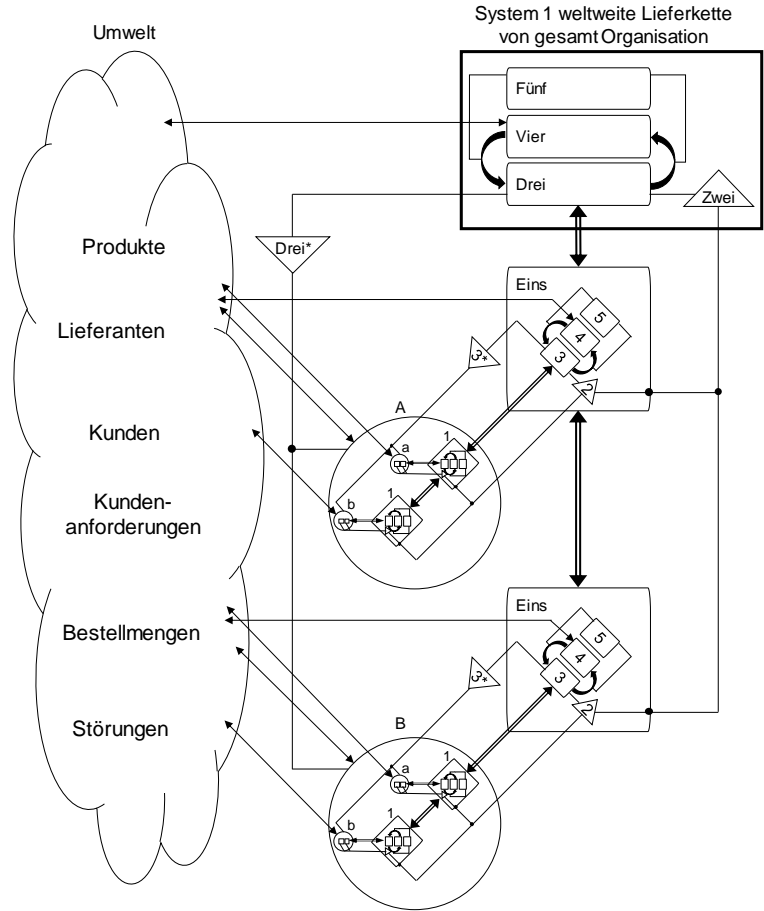
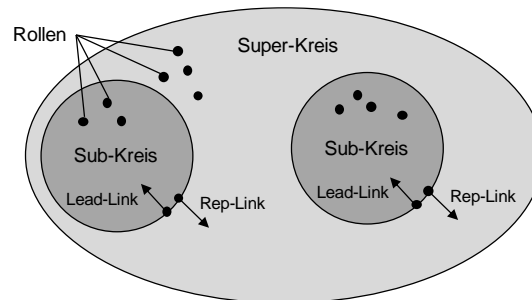
<p>Abbildung: VSM vom Selbst-organi- sations-modell Industrie 4.0</p>	 <p>Gibt es Fragen zum Modell?</p>
<p>Q1 (5 Minuten)</p>	<p>Welche Aspekte, Prozesse der weltweiten Lieferkette fehlen im vorgestellten Modell?</p>
<p>Q2 (5 Minuten)</p>	<p>Welche technischen und organisatorischen Hindernisse kann es bei der Einführung dieses Selbstorganisationmodells geben?</p>
<p>Holakratie (10 Minuten)</p>	<p>Holakratie ist ein neues Paradigma des Organisierens und wendet Prinzipien und Mechanismen der Selbstorganisation in Organisationen an. Die Organisationsstruktur basiert nicht auf Mitarbeiter, sondern auf Rollen, die eine Aufgabe, einen Bereich und Verantwortungen bekommen. Die Rollen werden Mitarbeiter zugewiesen, dabei kann ein Mitarbeiter mehrere Rollen ausüben. Von denen hat jeder die Macht, in seiner Rolle zu „führen“, um den Sinn und die Aufgabe der Organisation zu unterstützen. Dies ermöglicht den Wandel weg von der Eltern-Kind-Dynamik in der Organisation, hin zu autonomen, selbstführenden erwachsenen Mitarbeiter.</p> <p>Dies erfordert eine Reihe von Kernprinzipien, die sich von denen in herkömmlich geführten Organisationen unterscheiden.</p>

Abbildung:
Organisations-
struktur
Holakratie

- eine Verfassung, die die „Spielregeln“ bestimmt und die Autorität neu verteilt, (Governance Prozess)
- eine neue Form von Organisationsstruktur, in der Rollen und Autoritätsbereiche der Mitarbeiter definiert werden,
- einen Meeting-Prozess, damit die Teams in Übereinstimmung bleiben und die Arbeit gemeinsam erledigen können.



Die Governance bei Holakratie ist ein fortlaufender Prozess, der von jedem Team in spezifischen Governance-Meetings gestaltet wird. Dieser Governance-Prozess verteilt die Autorität und klärt Erwartungen innerhalb der Organisation, indem er von Mitarbeiter gestaltet wird. Die in der Rolle auftretenden Spannungen, welche als Herausforderungen oder Möglichkeiten wahrgenommen werden, können entweder durch **Tactical-Meetings** als "Arbeiten im Team" oder durch **Governance-Meetings** als "Arbeiten am Team" reduziert werden.

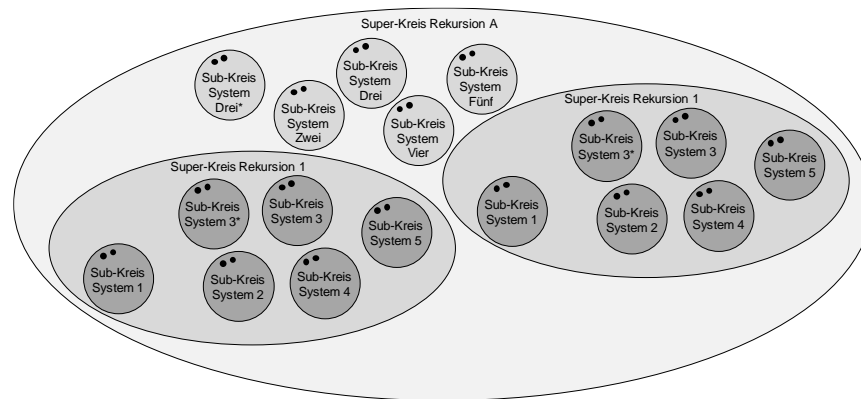
Da die Rollen die grundlegenden Bausteine in der Struktur der Holakratie sind, müssen sich vor allem die einzelnen Rollen entwickeln können. Es werden Aufgaben, Bereiche und Verantwortung an Rollen verteilt, die dann Mitarbeiter ausführen. Wenn die Verantwortungen nicht mehr von einem Mitarbeiter übernommen werden können, dann muss die Rolle in mehrere Rollen aufgeteilt werden und es wird ein "**Kreis**" gebildet.

Die Holarchie-Struktur sieht wie eine Reihe ineinandergreifender Kreise aus. Die **Rollen** sind in **Kreisen** gruppiert, die wiederum in grösseren Kreisen gruppiert sind, bis zum umfassendsten Kreis. Jeder Kreis und jede Rolle sind den darüberliegenden Kreisen nicht untergeordnet, sondern behalten echte Autonomie, individuelle Autorität und reale Verantwortlichkeiten.

Es gibt zusätzliche Verbindungen zwischen den Kreisen. Der **Lead-Link** wird durch den Super-Kreis eingesetzt, um seine Anliegen an Perspektive, Funktionen und Strategie im Sub-Kreis geltend zu machen. Der **Rep-Link** repräsentiert den Sub-Kreis innerhalb seines Super-Kreises und trägt dazu bei, dass wichtige Perspektiven des Sub-Kreises in die Governance und das operative Geschäft des Super-Kreises gebracht werden. Der **Cross-Link** zwischen zwei Kreisen ermöglicht einen direkten Kanal, um Spannungen in einem Kreis zu bearbeiten, die in einem anderen Kreis wahrgenommen wurden.

Angewandt auf des Viable System Model sind dessen Systeme 1-5 einer Rekursion auf der gleichen Ebene. Jedes System auf jeder Rekursionsebene wird in einem Sub-Kreis zusammengefasst, in dem es unterschiedliche Rollen gibt. Die Sub-Kreise einer Rekursion bestehend aus den System 1-5 werden durch einen grösseren Super-Kreis umfasst, den Super-Kreis einer Rekursion. Da es vom System 1 innerhalb einer Rekursion beliebig viele Systeme geben kann, gibt es auch mehrere Sub-Kreise mit dem System 1 innerhalb eines Super-Kreises.

Abbildung:
Holakratie
Kreise vom
Selbst-organisationsmodell
Industrie 4.0



Gibt es Fragen zum Modell?

Q3
(5 Minuten)

Sind die Mitarbeiter einer Produktion bereit, innerhalb von Rollen Aufgaben zu erledigen und die Verantwortung dafür zu tragen?

Q4
(5 Minuten)

Welche (anderen) Hindernisse werden bei der Einführung des Holakratie Modells in einer Produktionsumgebung erwartet?

Q5 (10 Minuten)	Ist das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 als Ganzes ein Ansatz, nach dem ein Unternehmen der Zukunft organisiert wird?
--------------------	---

B Interview mit Leiter Industrialisierung

Protokollnummer: 001

Ort: Horgen, Feller AG

Datum / Zeit: 04.05.2017 / 17:00 Uhr

Dauer: 59 Minuten

Funktion des Gesprächspartners: Leiter Industrialisierung (37) von Feller AG in Horgen

Interviewsituation: Leiter Industrialisierung ist zum Zeitpunkt der Befragung der Vorgesetzte vom Autor. Der Autor und der Experte kennen sich seit 6 Jahren.

Gesprächsatmosphäre: Gute Atmosphäre, offenes Gespräch, leichter Katharsiseffekt

Charakterisierung des Interviewverlaufs: Der Experte hat das VSM zu ca. 80% verstanden. Die Antworten zu Q2 des VSM war ausführlich. Das Konzept Holakratie wurde vollständig verstanden und ausführliche Antwort auf Q4.

Q1: Welche Aspekte, Prozesse der weltweiten Lieferkette fehlen im vorgestellten Modell?

- Das ganze Modell macht Sinn, es ist alles vorhanden.

Q2: Welche technischen und organisatorischen Hindernisse kann es bei der Einführung dieses Selbstorganisationmodells geben?

- Es ist 30 Jahre voraus. Es ist nicht klar, in welchen Schritten das Modell umgesetzt werden kann.
- Das Selbstorganisationmodell ist sehr komplex und schwierig zu verstehen.
- Das Modell könnte durch Funktionen beschrieben werden, welche es einfacher machen dies zu verstehen.
- Damit das System akzeptiert wird, muss es jeder verstehen.

Q3: Sind die Mitarbeiter einer Produktion bereit, innerhalb von Rollen Aufgaben zu erledigen und die Verantwortung dafür zu tragen?

- Die Produktionsmitarbeiter sind nicht bereit dazu, sie brauchen Führung.
- Auch gut ausgebildete Mitarbeiter kommen sich einmal darin verloren vor, weil der Mensch im Familienverbund aufwächst und ein Zugehörigkeitsgefühl hat. Ohne dies fühlt er sich verloren.

- Die Eltern-Kind-Dynamik wird von Mitarbeiter jeder Stufe geschätzt

Q4: Welche (anderen) Hindernisse werden bei der Einführung des Holakratie Modells in einer Produktionsumgebung erwartet?

- Der Erhalt von Kompetenzen ist nicht gesichert.
- Die Einhaltung der Spielregeln kann schwer kontrolliert werden.
- Es funktioniert bei Personen mit hohem sozialem Verständnis und hohem sozialem Verantwortungsbewusstsein.

Q5: Ist das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 als Ganzes ein Ansatz, nach dem ein Unternehmen der Zukunft organisiert wird?

- Ja, aber das Unternehmen muss das Modell verstehen. Es braucht dazu Fallbeispiele.
- Das System muss von der Abstraktheit und in ein verständliches System gebracht werden.

C Interview mit Leiter Produktion

Protokollnummer: 002

Ort: Horgen, Feller AG

Datum / Zeit: 05.05.2017 / 14:10 Uhr

Dauer: 58 Minuten

Funktion des Gesprächspartners: Leiter Produktion (53) von Feller AG in Horgen

Interviewsituation: Der Autor und der Experte kennen sich seit 6 Jahren.

Gesprächsatmosphäre: fröhliche Stimmung, offenes Gespräch

Charakterisierung des Interviewverlaufs: Der Experte hat das VSM nur teilweise verstanden. Die Antworten vielen knapp aus. Die Holakratie wurde vollständig verstanden und es kamen ausführliche Antworten auf die Fragen Q4 und Q5.

Q1: Welche Aspekte, Prozesse der weltweiten Lieferkette fehlen im vorgestellten Modell?

- -

Q2: Welche technischen und organisatorischen Hindernisse kann es bei der Einführung dieses Selbstorganisationmodells geben?

- Je älter die Mitarbeiter sind, desto schwieriger ist es Assistenzsysteme einzusetzen.

Q3: Sind die Mitarbeiter einer Produktion bereit, innerhalb von Rollen Aufgaben zu erledigen und die Verantwortung dafür zu tragen?

- In der Produktion kann es in Anarchie enden.
- Die meisten Produktionsmitarbeiter wollen geführt werden, Sie möchten keine Verantwortung.
- Die wenigen Produktionsmitarbeiter mit viel Eigendynamik machen das Modell mit und wären produktiver.

Q4: Welche (anderen) Hindernisse werden bei der Einführung des Holakratie Modells in einer Produktionsumgebung erwartet?

- Abteilungsleiter haben einen Machtverlust von Führungspositionen.

- Fehlendes Systemverständnis und fehlende Kompetenz bei den Mitarbeitern.

Q5: Ist das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 als Ganzes ein Ansatz, nach dem ein Unternehmen der Zukunft organisiert wird?

- Holakratie kann funktionieren.

D Interview mit Leiter Methodenteam

Protokollnummer: 003

Ort: Horgen, Feller AG

Datum / Zeit: 05.05.2017 / 15:15 Uhr

Dauer: 86 Minuten

Funktion des Gesprächspartners: Leiter Methodenteam (42) von Feller AG in Horgen

Interviewsituation: Der Autor und der Experte kennen sich seit 3 Jahren.

Gesprächsatmosphäre: hat aufmerksam zugehört, ausführliche Antworten

Charakterisierung des Interviewverlaufs: Der Experte hat das VSM und die Holakratie vollständig verstanden. Konnte parallelen zwischen der jetzigen Schneider Electric Konzernstruktur und dem Organisationsmodell VSM sehen. Alle Fragen konnten beantwortet und diskutiert werden.

Q1: Welche Aspekte, Prozesse der weltweiten Lieferkette fehlen im vorgestellten Modell?

- Es fehlen die Supportfunktionen, welche den Betrieb der Fertigungsobjekte und Assistenzsysteme gewährleisten.

Q2: Welche technischen und organisatorischen Hindernisse kann es bei der Einführung dieses Selbstorganisationmodells geben?

- Die vorhandenen Informationssysteme bei Feller sind bereits heute am Anschlag. Es würden noch viel mehr Informationen ausgetauscht werden. Die Infrastruktur muss erneuert werden.
- Heute ist es noch schwer eine Maschine an ein MES-System anzubinden. Die Technologie schreitet nur langsam voran.
- Rechenleistung kommt an die Grenze und die Software fehlt zur Einführung.
- Bei einem kleinen Unternehmen brauchen die Leute viel höhere Kompetenzen durch die Assistenzsysteme. Bei einem grossen Unternehmen ist das Modell positiv, da die benötigten Kompetenzen auf die Systeme verteilt werden und es entsprechende Teams gibt.

Q3: Sind die Mitarbeiter einer Produktion bereit, innerhalb von Rollen Aufgaben zu erledigen und die Verantwortung dafür zu tragen?

- Es braucht einen Generationenwechsel, die Jungen würden in so einem System aufgehen.
- Die ältere Generation wäre überfordert.
- Die Mitarbeiter einer Produktion sind bereit, wenn die entsprechende Kultur der Selbstständigkeit da ist.

Q4: Welche (anderen) Hindernisse werden bei der Einführung des Holakratie Modells in einer Produktionsumgebung erwartet?

- Es braucht klare Richtlinien.
- Es gibt jetzt im Konzern ein grosses Spannungsfeld von gegensätzlichen Leistungskennzahlen, zum Beispiel Lagerreduktion und höherer Lieferbereitschaftsgrad. Die Holakratie müsste dieses Spannungsfeld reduzieren können und eine Annäherung der Leistungskennzahlen bei einem Mittelwert zulassen.

Q5: Ist das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 als Ganzes ein Ansatz, nach dem ein Unternehmen der Zukunft organisiert wird?

- Das Selbstorganisationsmodell Industrie 4.0 kann funktionieren, es braucht aber einen Generationenwechsel und die Technologie muss sich verbessern.
- Die Holakratie könnte heute bereits mit handverlesenen Leuten umgesetzt werden.
- Zur Einführung des VSM ist man bei der Technologie noch zu weit weg.