PRIVATE HOCHSCHULE
WIRTSCHAFT PHW BERN

Teil der Kalaidos
Fachhochschule

Leuchtturmprojekt Industrie 4.0 der Swiss Smart Factory – Voraussetzungen, Wertschöpfungspotenziale und Erwartungen für die Umsetzung im Kontext des Werkplatzes Schweiz

Masterarbeit im Rahmen des Studienganges
Executive Master of Business Administration (EMBA) in General Management
Private Hochschule für Wirtschaft PHW Bern

Verfasser: Matthias Ingold, 3033 Wohlen BE
Referent: Prof. Beat Knechtli

Bern, 6. September 2019

Masterarbeit im Rahmen des Studienganges
Executive Master of Business Administration (EMBA) in General Management
Private Hochschule für Wirtschaft PHW Bern

Leuchtturmprojekt Industrie 4.0 der Swiss Smart Factory – Voraussetzungen, Wertschöpfungspotenziale und Erwartungen für die Umsetzung im Kontext des Werkplatzes Schweiz

Verfasser: Matthias Ingold, 3033, Wohlen BE
Referent: Prof. Beat Knechtli

Eingereicht am: 6. September 2019

© 2019, Ingold

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis ..... **III**
Abbildungsverzeichnis ..... **V**
Tabellenverzeichnis ..... **VI**
Abkürzungsverzeichnis ..... **VII**
Management Summary ..... **VIII**
1. Einleitung **1**
1.1. Ausgangslage und Problemstellung 2
1.1.1. Der Werkplatz Schweiz 2
1.1.2. Die Swiss Smart Factory 2
1.2. Ziel der Arbeit 4
1.2.1. Abgrenzung 5
1.3. Hypothesen 5
2. Theoretische Grundlagen **6**
2.1. Industrie 4.0 6
2.2. Smart Factory – die Fabrik der Zukunft 7
2.2.1. Die Smart Factory und ihr Ökosystem 8
2.3. Treiber und Voraussetzungen von Industrie 4.0 9
2.3.1. Technologien und deren Reifegrad 12
2.3.2. Schlüsseltechnologien und deren wirtschaftliche Relevanz 13
2.3.3. Cyber-physische Systeme und intelligente Produkte 19
2.3.4. Qualitätsmanagement 22
2.3.5. Cybersecurity und IT-Sicherheitsmassnahmen 22
2.3.6. Reifegrad der Technologien 23
2.3.7. Technologie im Kontext des Werkplatzes Schweiz 24
2.4. Wertschöpfungspotenziale, Mehrwert und Nutzen von Industrie 4.0 25
2.4.1. Effizienz und Produktivität durch Industrie 4.0 27
2.4.2. Quantifizierung von Wertschöpfungspotenzialen 29
2.4.3. Mehrwert von Industrie 4.0 für die Smart Factory 29
2.4.4. Mehrwert durch CPS 30
2.4.5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung individualisierter Produkte 31
2.5. Erfolgsfaktoren und Wettbewerbsvorteile 32
2.5.1. Die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft als Erfolgsfaktor 32
2.5.2. Der Mensch als Erfolgsfaktor in der Smart Factory 32
2.5.3. Wettbewerbsvorteile durch Beherrschung der Technologien 33
2.5.4. Intelligente Produkte als Wettbewerbsvorteil 34
2.5.5. Flexibilität als Wettbewerbsvorteil 35
2.6. Herausforderungen 36
2.6.1. Migration und Ansätze für die Transformation der Produktionsumgebung 37
2.6.2. Reifegrad und Reifegradmodelle für Unternehmen 38
2.7. Themenbereiche und Anwendungsszenarien 39
3. Methodologie **41**
3.1. Methodik der Erhebung 41
3.2. Inhaltsanalyse 41

3.3. Befragung 42
3.3.1. Interviews 43
3.3.2. Der Fragebogen 43
3.4. Situationsanalyse 44
3.4.1. Umfeld- und Umweltanalyse 44
3.4.2. SWOT-Analyse 45
3.5. Vorgehen bei der Auswertung 46
4. Ergebnisse 47
4.1. Externe Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts 47
4.1.1. Die Übersichtstabellen 50
4.2. Interne Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts 58
4.2.1. Einflussfaktoren aus der PESTEL-Analyse 58
4.2.2. Stakeholder-Analyse 58
4.2.3. SWOT-Analyse 60
4.2.4. Ergebnisse aus den Interviews 63
4.2.5. Erfolgsfaktoren der Smart Factory in Deutschland 67
4.2.6. Unterschiede zur Schweiz 68
4.2.7. Ergebnisse aus der Umfrage 69
5. Diskussion / Konklusion / Empfehlungen 75
5.1. Handlungsempfehlungen für die Umsetzung 80
5.2. Ausblick und Vorschläge für weiterführende Untersuchungen 83
6. Literaturverzeichnis 84
7. Anhang ..... A
7.1. Globale Umweltanalyse – PESTEL ..... A
7.2. SWOT-Analyse zum Leuchtturmprojekt Industrie 4.0 C
7.3. Interview-Leitfaden für die Expertengespräche ..... E
7.4. Interview-Leitfaden Expertengespräche SF Kaiserslautern ..... F
7.5. Inhaltsanalyse der Interviews ..... G
7.5.1. Themenmatrix mit fallbezogenen, thematischen Zusammenfassungen XX
7.6. Erfolgsfaktoren der Smart Factory in Deutschland ..... FFF
7.6.1. Unterschiede zur Smart Factory in Deutschland ..... GGG
7.7. Begleitbrief zur Umfrage ..... HHH
7.8. Transkribierte Text der Interviews III
7.9. Report der Ergebnisse aus der Online-Umfrage III
Schlusserklärung/Selbstständigkeitserklärung ..... JJJ

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Industrie 4.0 und die Smart Factory als Teil des Internets der Dinge und Dienste ..9
Abbildung 2: Industrie 4.0-Technologiefelder 12
Abbildung 3: Hype Cycle for Emerging Technologies....24
Abbildung 4: Wertetreiber und deren «Industrie 4.0 Hebel» 26
Abbildung 5: Beherrschung der Technologien und Wettbewerbsfähigkeit 34
Abbildung 6: Wertschöpfungskette mit den blau dargestellten Themenbereichen....39
Abbildung 7: Das Leuchtturmprojekt und die Stakeholder....58
Abbildung 8: Das Leuchtturmprojekt als soziales System 60
Abbildung 9: Unternehmenstyp....69
Abbildung 10: Unternehmensgrösse von 31 Firmen 69
Abbildung 11: Wirkung des Leuchtturmprojekts 70
Abbildung 12: Wertetreiber 70
Abbildung 13: Nutzen der Demonstrationsanlage 71
Abbildung 14: Erwartungen / Ansprüche an das Leuchtturmprojekt 71
Abbildung 15: Erwartungen / Ansprüche an das Team 72
Abbildung 16: Nutzung der Demonstrationsanlage 72
Abbildung 17: Ressourcen der Partner 73
Abbildung 18: Umsetzung des Leuchtturmprojekts 73
Abbildung 19: Transfer in die Praxis 74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bereiche und die betriebswirtschaftlichen Treiber....10
Tabelle 2: Themenbereiche und Wertschöpfungspotenziale für Industrie 4.0 52
Tabelle 3: Wertetreiber und Anwendungsszenarien für die Demonstrationsanlage....57
Tabelle 4: Globale Umweltanalyse – PESTEL .... B
Tabelle 5: SWOT-Analyse C
Tabelle 6: SWOT-Analyse resultierende Strategien .... D
Tabelle 7: Inhaltsanalyse Interview Gorecky Dominic .... R
Tabelle 8: Inhaltsanalyse Interview Wendling Michael .... BB
Tabelle 9: Inhaltsanalyse Interview Gertsch Benjamin .... GG
Tabelle 10: Inhaltsanalyse Interview Marti Patrik .... MM
Tabelle 11: Inhaltsanalyse Interview Herbst Ingo und Spengler Maximilian .... SS
Tabelle 12: Zuordnung Haupt- und Subkategorien Förderverein.... UU
Tabelle 13: Zuordnung Haupt- und Subkategorien Demonstrationsanlage .... WW
Tabelle 14: Themenmatrix Förderverein Interview Gorecky Dominic XX
Tabelle 15: Themenmatrix Förderverein Interview Wendling Michael .... YY
Tabelle 16: Themenmatrix Förderverein Interview Gertsch Benjamin .... ZZ
Tabelle 17: Themenmatrix Förderverein Interview Marti Patrik .... AAA
Tabelle 18: Themenmatrix Demonstrationsanlage Interview Gorecky Dominic .... BBB
Tabelle 19: Themenmatrix Demonstrationsanlage Interview Wendling Michael CCC
Tabelle 20: Themenmatrix Demonstrationsanlage Interview Gertsch Benjamin .... DDD
Tabelle 21: Themenmatrix Demonstrationsanlage Interview Marti Patrik .... EEE
Tabelle 22: Erfolgsfaktoren Smart Factory Deutschland .... FFF
Tabelle 23: Unterschiede zur Smart Factory Deutschland .... GGG

Abkürzungsverzeichnis

A	
ACT	Automation Conformal Testing
AGV	Automated Guided Vehicles
APC	Advanced Process Control
AR	Augmented Reality
B	
B2B	Business to Business
B2C	Business to Customer
BMWI	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
BOO	Build, Own, Operate
C	
CPS	Cyber Physische Systeme
D	
D3	Data Driven Development
E	
ERP	Enterprise Ressource Planning
H	
HMI	Human Machine Interface
I	
IIoT	Industrial Internet of Things
IT/IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
IoT	Internet of Things
K	
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und Mittlere Unternehmen
L	
LCC	Lifecycle Costing
M	
M2M	Machine to Machine
MEM	Maschinen-, Elektro und Metall
MES	Manufacturing Execution System
MRO	Maintenance Repair and Operations
MTC	Machine Type Communication
MVP	Minimum Viable Product
N	
NFC	Near Field Communication
O	
OEE	Overall Equipment Efficiency
OT	Operational Technology
P	
PaaS	Product as a Service
PDM	Produkt Datenmanagement
PLM	Product Lifecycle Management
R	
RF	Radio Frequency
ROI	Return on Investment
ROSI	Return on Security Investment
S	
SATW	Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften
SFKL	Smart Factory Kaiserslautern
SIPBB	Switzerland Innovation Park Biel/Bienne
SPC	Statistical Process Control
SSF	Swiss Smart Factory
SWOT	Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats
T	
TPM	Total Productive Management
V	
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
VR	Virtual Reality
VUCA	Volatility, Uncertainty, Complexity, Ambiguity
W	
WLAN	Wireless Local Area Network
Z	
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektroindustrie

Management Summary

Megatrends verändern die Welt und stellen Unternehmen vor neue Herausforderungen. Die Industrien des Werkplatzes Schweiz sind seit Jahren unter Druck. Die KMU (Kleine- und Mittlere Unternehmen) müssen sich stetig verändern, durch Innovation wachsen und ihre Wettbewerbsfähigkeit behaupten. Können sie die Veränderungen als Chance nutzen? Industrie 4.0 und die Digitalisierung bieten grosse Chancen für Unternehmen, die steigende Komplexität zu meistern und langfristig profitabel zu wachsen.
Die SSF (Swiss Smart Factory) in Biel als unabhängige, interdisziplinäre Forschungsplattform bietet der Industrie Hand, die digitale Transformation aktiv zu gestalten. Dazu hat sie ein Leuchtturmprojekt initiiert, wofür sie den Aufbau einer Industrie 4.0-Demonstrationsanlage nach den Prinzipien einer Smart Factory plant.
In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, welche die externen und internen Voraussetzungen für den Aufbau des Leuchtturmprojekts und damit für eine erfolgreiche Umsetzung der Demonstrationsanlage sind. Bei den externen Voraussetzungen handelt es sich um Aspekte wie beispielsweise die allgemeinen Grundsätze einer Smart Factory, deren Erfolgsfaktoren sowie Wertschöpfungspotenziale und Anwendungsszenarien. Die internen Voraussetzungen betreffen die Stakeholder, ihre Erwartungen und Anforderungen an das Leuchtturmprojekt sowie Stärken/Schwächen und Chancen/Gefahren desselben.
Es wird angenommen (Hypothesen), dass mit den Ansätzen von Industrie 4.0 und dem Konzept der Smart Factory, die Produktivität und die Flexibilität der Industrie erhöht und somit die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert werden kann. Durch das Leuchtturmprojekt mit seiner Demonstrationsanlage können die KMU und der Werkplatz Schweiz insgesamt gestärkt werden.
Die Ergebnisse und Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit sind für die SFF wichtig. Sie können direkt in die Umsetzung der ersten Phase des Projekts einfliessen und zur erfolgreichen Implementierung der Demonstrationsanlage beitragen.
Zum Vorgehen: Aus der Literatur wurden die Voraussetzungen, Treiber, Erfolgsfaktoren und Mehrwerte von Industrie 4.0 und der Smart Factory hergeleitet sowie mögliche Anwendungsszenarien mit ihren Wertschöpfungspotenzialen aufgezeigt. Die Einflussfaktoren für das Projekt wurden ermittelt sowie Stärken/Schwächen und Chancen/Gefahren aufgeführt. Weiter wurden die Stakeholder des Leuchtturmprojekts identifiziert. Mittels Experteninterviews und einer Online-Umfrage konnten die Erwartungen und Anforderungen der Stakeholder an die Demonstrationsanlage in Erfahrung gebracht werden.
Bereits die Ergebnisse aus der Theorie zeigen ein sehr breites Spektrum an möglichen Voraussetzungen für die Umsetzung der Demonstrationsanlage. Die Basis für die Smart Factory bildet die digitalisierte und vernetzte Fabrik. Ausgehend von der auf maximale Effizienz und Produktivität ausgelegten Fertigung, bietet die Smart Factory die geforderte Anpassungsfähigkeit und Flexibilität, um in den heute so volatilen Märkten bestehen zu können. Sie stellt eine Produktionsumgebung dar, die in das Ökosystem der digitalisierten Welt eingebettet ist. Voraussetzung für die Smart Factory sind allerdings die verschiedensten Technologien und deren Reifegrad. Dazu gibt es Schlüsseltechnologien wie z.B. KI (künstliche Intelligenz), kombinierte CPS (Cyber-Physische-Systeme) oder additive Fertigung. Diese Technologien gilt es zu beherrschen. Die CPS und die additive Fertigung werden als Basis für die Selbstorganisation und die

Produktion in Losgrösse 1 gesehen. Der Schlüssel der Zukunft liegt in den Daten, deren Analyse und dem daraus generierten Mehrwert.
Durch die Ansätze von Industrie 4.0 ergeben sich eine Vielzahl von Anwendungsszenarien mit Wertetreibern, die grosse wirtschaftliche Potenziale für die Smart Factory aufweisen. Durch Aspekte, wie die Beherrschung der Technologien, die Produktivitätssteigerung, die intelligenten Produkte, die Anpassungsfähigkeit und Flexibilität sowie die kundenindividuelle Produktion, können Wettbewerbsvorteile entstehen.
In der Analyse konnten keine kritischen Einflussfaktoren identifiziert werden, die das Leuchtturmprojekt gefährden würden. Alle Einflussfaktoren wirken gleichermassen auf die Stakeholder, somit ist das Projekt indirekt abhängig vom Erfolg der Schweizer Industrie.
Bei den Stakeholdern kommt eine positive Haltung gegenüber dem Leuchtturmprojekt zum Ausdruck. Die Erwartungen und Ansprüche des Leiters und der Mitarbeiter des Leuchtturmprojekts sind mannigfaltig und lassen sich unterschiedlichen Bereichen zuordnen. Am stärksten ausgeprägt sind die Erwartungen bezüglich der technischen Ausgestaltung der Demonstrationsanlage. So soll diese möglichst realitätsnah die Ansätze von Industrie 4.0 darstellen und den Wissenstransfer in die Praxis zu den Anwendern ermöglichen.
Die Partnerfirmen setzen sich hauptsächlich aus Komponentenhersteller und Dienstleister der hiesigen Industrie zusammen; von ihnen wird eine aktive Mitarbeit am Projekt erwartet. Die unter ihnen für diese Arbeit geführte Umfrage hat ergeben, dass die Industrie insgesamt vom Leuchtturmprojekt profitieren kann. Ihr Hauptanliegen deckt sich mit jenem der Mitarbeiter der SSF, wonach die Demonstrationsanlage die Konzepte und Ansätze von Industrie 4.0 einfach und verständlich darstellen soll. Die Partner sehen das Leuchtturmprojekt als Netzwerkplattform; sie möchten neue Erkenntnisse zu Industrie 4.0 erfahren und die eigenen Produkte und Lösungen präsentieren. Grundsätzlich sind sie bereit, aktiv am Projekt mitzuarbeiten. Für die Umsetzung wird der Aspekt der Kommunikation als sehr wichtig eingestuft.
Aus den Ergebnissen lässt sich schliessen, dass die oben erwähnten Hypothesen bestätigt werden. Die interdisziplinäre Forschungsplattform der SSF kann einen wichtigen und zukunftsweisenden Beitrag für die KMU auf dem Werkplatz Schweiz leisten.
Es zeichnen sich einige Herausforderungen ab wie die Balance zwischen Forschung und Demonstration, die realitätsnahe Darstellung und der Wissenstransfer zu den Anwendern. Die Schweizer Industrie soll den Nutzen und den Mehrwert, die ihnen durch das Leuchtturmprojekt entstehen, erkennen können. Aus den zahlreichen möglichen Anwendungsszenarien muss eine Auswahl getroffen werden; und für deren Umsetzung sind Pflichtenhefte auszuarbeiten. Es empfiehlt sich, dazu themenbezogene Arbeitsgruppen mit Vertretern der Partnerfirmen und Anwender zu bilden. Ausgehend von der Demonstrationsanlage und ihren Anwendungsszenarien können neue Geschäftsmodelle für ein nachhaltiges und profitables Wachstum der KMU entwickelt werden. Es ist zu überlegen, ob an der SSF ein Bereich für Geschäftsmodellinnovation initiiert werden soll.
Mit dem Aufbau einer Online-Plattform als Marktplatz für alle am Leuchtturmprojekt beteiligten Stakeholder und der entsprechenden Präsentation der Demonstrationsanlage wäre es die schweizweit erste Smart Factory in der Cloud. Sie wäre damit für den ganzen Industrie Werkplatz Schweiz nutzbar.

1. Einleitung

Wir leben in einer Welt, die sich im Umbruch befindet. Die Globalisierung von Handel, Technologie, Gesellschaft, Recht und Politik schreitet voran (vgl. Richter Publizistik, 2018) – mit all ihren positiven wie auch negativen Auswirkungen (z.B. Kriminalität). Hinzu kommen Megatrends: demographischer Wandel, neue Mobilitätsmuster, Digitalisierung, Individualisierung, Konvergenz von Technologien, Wandel der Arbeitswelt, Klimawandel resp. Umweltbelastung sowie Urbanisierung (vgl. z-punkt, 2019). Diese provozieren wiederum eine Verschiebung der Kaufkraft, eine Veränderung der Kundenstruktur, eine steigende Geschwindigkeit der Produkt- und Prozess-Innovationen, zunehmender Kosten- und Margendruck und/oder eine Rohstoffverknappung. In diesem sich verändernden wirtschaftlichen Umfeld stehen Unternehmen vor anspruchsvollen inneren und äusseren Herausforderungen. Die Bedingungen für die Unternehmen lassen sich mit dem Begriff VUCA (Volatility, Uncertainty, Complexity und Ambiguity) / (vgl. Gerras, 2010, S. 1) charakterisieren. Mack und Khare sind der Meinung, dass ein Bedarf an umfangreicherem Wissen besteht und die Anwendung neuer Konzepte und Rahmenbedingungen nötig wird, um in der VUCA-Umwelt bestehen zu können. In der Fachliteratur finden sich mögliche Ansätze, wie die Unternehmensführung damit umgehen kann (vgl. Mack / Khare, 2015). Megatrends rufen tiefgreifende strukturelle Veränderungen in der industriellen Produktion hervor. Produktionen werden dorthin verlagert, wo die Märkte sind, d.h. näher zu den Konsumenten. Nahezu alle Megatrends haben Auswirkungen auf die Entwicklung der Produkte und auf die industriellen Produktionsprozesse. Die Produktion von morgen wird sich massgeblich verändern, so zeichnet es sich zumindest ab. Die Industrie muss die zu erwartenden Veränderungen als Chance sehen und diese gezielt nutzen. Das führt zu folgender Aussage: Die Fabrik der Zukunft sollte diese sich abzeichnende Entwicklung nicht nur kompensieren, sondern sie muss ihre Paradigmen entsprechend verändern (vgl. Westkämper u. a., 2013, S. 7).

1.1. Ausgangslage und Problemstellung

1.1.1. Der Werkplatz Schweiz

Der Werkplatz Schweiz kann auf eine lange Tradition zurückschauen und zeichnet sich international durch eine hohe Attraktivität und Wettbewerbsfähigkeit aus. Er gilt in der Schweiz als Wirtschaftsmotor für eine Branche mit hohem Industrialisierungsgrad. Die hohe Exportorientierung, die globale Präsenz, die Innovationsführerschaft und eine hohe Fertigungsqualität sind seine unbestreitbaren Stärken. Innerhalb dieses Werkplatzes nimmt die MEM- (Maschinen-, Elektro- und Metall-) Industrie die wichtigste Rolle ein. Gemessen an der Wertschöpfung zählt die MEM-Industrie einerseits zu den grössten industriellen Sektoren der Schweiz und ist andererseits auch einer ihrer grössten Arbeitgeber (vgl. Swissmem, 2018a, S. 6).
Dieser Zweig der Schweizer Industrie ist jedoch seit einigen Jahren unter massiven Druck geraten. Die Gründe dafür sind vielschichtig und hängen insbesondere sehr stark mit der Position der Schweiz innerhalb der Europäischen Union zusammen. Betroffen davon sind nicht nur die grossen multinationalen Konzerne, sondern auch sehr stark die KMU. Für sie wird die wirtschaftliche Unsicherheit dadurch immer grösser und sie sehen sich einem stetig zunehmenden globalen Wettbewerb und oft auch einem Innovationsdruck ausgesetzt. Die Herausforderung liegt darin, in den angestammten Märkten die Potenziale zu erkennen und auszuschöpfen sowie in neuen Schwellenländern nachhaltiges Wachstum zu suchen. Die wichtige Frage dabei ist, welche Rahmenbedingungen den KMU erlauben werden, im Werkplatz Schweiz weiterhin wettbewerbsfähig zu produzieren und dem Druck der Globalisierung standhalten zu können. In Studien werden die Stärken und die Erfolgsfaktoren des Schweizer Werkplatzes und der MEM-Industrie identifiziert. Daraus können Handlungsempfehlungen und -möglichkeiten abgeleitet werden. Ziel ist, den Schweizer Werkplatz nachhaltig als attraktiven und wettbewerbsfähigen Produktions- und Innovationsstandort zu erhalten und auszubauen (vgl. Schlaepfer/Koch, 2012, S. 1). Ansätze dazu bietet das Konzept von Industrie 4.0 (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016b).

1.1.2. Die Swiss Smart Factory

Die SSF in Biel ist eine Forschungsabteilung des SIPBB (Switzerland Innovation Park Biel/Bienne). Und dieser wiederum ist einer von fünf Standorten für Innovation und Forschung der Stiftung Switzerland Innovation. Die SSF bietet eine Plattform für interdisziplinäre Fragestellungen, welche sich im Kontext von Industrie 4.0 ergeben. Dabei fördert sie die notwendige Zusammenarbeit zwischen Industrie, Forschung und Politik mit dem Ziel, die digitale Transformation aktiv zu gestalten (vgl. Switzerland Innovation Park Biel/Bienne, online, 2019). Um ebendiese Zusammenarbeit zu intensivieren und die Forschung voranzutreiben, wurde das Leuchtturmprojekt Industrie 4.0 initiiert, nachfolgend kurz als Leuchtturmprojekt bezeichnet. Es handelt sich um eine produktive Demonstrationsanlage, aufgebaut auf der Basis der Industrie 4.0-Technologien, welche die Schweizer Industrie repräsentieren sollen. Dazu wurde der Förderverein SSF gegründet. Ein Vorstand wurde gebildet und die bestehenden Partner in das Vereinsmodell überführt. Im Jahr 2020 wird der Förderverein im neuen Gebäude des SIPBB die

Demonstrationsanlage auf über 1000 m^2 in Betrieb nehmen (vgl. Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Bern, online, 2018).
Die Idee, was auf der Demonstrationsanlage dargestellt werden soll, ist aus einer in der Praxis häufig anzutreffenden Herausforderung für Unternehmen entstanden. Die SSF gibt dazu ein Fallbeispiel. Dabei geht sie davon aus, dass das KMU «Smart Drones» eine neuartige Drohne auf den Markt bringen will. Die Herstellung der Einzelteile erfolgt zum grössten Teil bei verschiedenen Zulieferern. «Smart Drones» besitzt aktuell nicht ausreichend Ressourcen, um selbstständig die Kundennachfrage zu erfüllen. Diese neue Drohne kann in verschiedenen Varianten konfiguriert werden. Je nach Kundenwunsch wird genau eine Variante produziert und zusätzlich kundenindividuell personalisiert (Losgrösse 1). Die eigene Fertigungstiefe sieht folgende Operationen vor: kundenspezifische Fertigung von Komponenten, Montage, Verkabelung, Software (Installation und Test) und Qualitätsprüfung. Hinzu kommt das Tracking des individuellen Produkts nach der Fertigung für neuartige Services und Geschäftsmodelle. Die Kostenkalkulation zeigt, dass sich im spezifischen Fall eine Investition in eine vollautomatisierte Produktionsstrasse nicht lohnt: Eine vernetzte, modulare und kollaborative Produktionsumgebung – also eine Smart Factory – wird benötigt (vgl. Wendling, 2019b, S. 16).

Die Zielsetzungen des Leuchtturmprojekts sind (vgl. Wendling Michael, 2019, S. 3):

- Aufbau einer produktiven, flexiblen und modularen Anlage auf Basis von Industrie 4.0-Technologien, welche die Schweizer Industrie repräsentiert
- Realisation eines gemeinsamen Projektes zwischen SSF-Partnern und der Swiss Smart Factory
- Entwicklung, Erprobung und Benchmarking einzelner Schlüsseltechnologien im Gesamtkontext von realen, industriellen Produktionsszenarien
- Schaffung einer Grundlage für eine nachhaltige, zukunftsorientierte Digitalisierungsforschung in der Schweiz

Es besteht zudem die Absicht, dass das Leuchtturmprojekt Unterstützung (Ansätze, Modelle und Konzepte) zur Realisierung von Industrie 4.0 geben und damit eine Smart Factory repräsentieren könnte. Das Leuchtturmprojekt dauert insgesamt zwei Jahre. In Deutschland wurde ein solches Projekt in der Smart Factory in Kaiserslautern bereits erfolgreich umgesetzt, in der Schweiz handelt es sich um das erste Projekt dieser Art. Es existiert bis anhin noch keine vergleichbare Demonstrationsanlage im Kontext der Schweizer Industrie und des Werkplatzes Schweiz.

1.2. Ziel der Arbeit

Hauptziel der Arbeit ist, in einer Fallstudie zu untersuchen, welche Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts im Kontext des Werkplatzes Schweiz nötig sind. Im Zentrum steht dabei die digitale Transformation der Industrie und die Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit – beides mit dem Ziel, ein nachhaltiges Wachstum zu generieren. Der Arbeit liegen die nachfolgend aufgeführten Fragestellungen zugrunde:

1. Welches sind die externen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts?
    a. Was sind die Grundsätze, die Herausforderungen und die Erfolgsfaktoren für die Smart Factory?
    b. Welches sind die Wertetreiber und Mehrwerte von Industrie 4.0 und welche Wettbewerbsvorteile entstehen dadurch?
    c. Welche Wertschöpfungspotenziale werden durch die Industrie 4.0-Ansätze verfügbar und was sind deren Zielmesswerte bezüglich der ökonomischen Chancen?
    d. Welche Anwendungsszenarien lassen sich auf der Demonstrationsanlage darstellen?
2. Welches sind die internen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts?
    a. Wer sind die Stakeholder und was sind deren Erwartungen und Ansprüche an das Leuchtturmprojekt?
    b. Was sind die aktuellen Stärken und Schwächen sowie die Chancen und Gefahren für die SSF und das Leuchtturmprojekt?
    c. Was sind die Erfolgskriterien der Smart Factory in Deutschland und worin liegen die Unterschiede zur Schweiz?

Diese Fragestellungen sind für den Leiter der SSF, den Projektleiter sowie die im Projekt involvierten Mitarbeiter von hoher Relevanz. Die in der Arbeit gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse werden direkt in die Umsetzung der ersten Phase des Projekts einfliessen und tragen somit zur erfolgreichen Implementierung der Demonstrationsanlage bei.

Für die vorliegende Arbeit kommt der von Atteslander u. a. beschriebene Forschungsablauf mit fünf Phasen zur Anwendung. Die fünf Phasen sind: die Problembenennung, die Gegenstandsbenennung, die Durchführung, die Analyse sowie die Verwendung (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 21). In der Problemstellung wird die aktuelle Situation aufgezeigt und beschrieben, daraus ergeben sich die Fragestellungen, die in zwei Bereiche aufgeteilt sind. Danach erfolgen in der Gegenstandsbenennung die Abgrenzung und somit die Definition des Bezugsrahmens, und dazu werden zwei Hypothesen formuliert.
Die Durchführungsphase ist für die Beantwortung der Fragestellungen in zwei Teile aufgegliedert: Im ersten Teil, zur Klärung des ersten Fragebereichs, werden ausgehend von der Literatur die Definition der Smart Factory sowie die Voraussetzungen, Prinzipien und Treiber von Industrie 4.0 vorgestellt. Des Weiteren werden Aspekte wie die Wertschöpfungspotenziale und der

Mehrwert, die durch die Umsetzung von Industrie 4.0 entstehen, theoretisch hergeleitet. Dazu wird das grosse Ganze als Kontext einleitend erörtert. Im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit werden zudem Wettbewerbsvorteile aufgezeigt. In einem weiteren Schritt werden, ausgehend von den gewonnenen Erkenntnissen, Themenbereiche gebildet. Zu jedem Themenbereich werden die möglichen Wertschöpfungspotenziale als Zielmesswerte aus der Literatur hergeleitet. Ebenfalls werden zu jedem Themenbereich Anwendungsszenarien, sogenannte «Use-Cases», für die Demonstrationsanlage erstellt. Die Erkenntnisse daraus werden als Zusammenfassung im Kapitel Ergebnisse in Übersichtstabellen dargestellt.
Im zweiten, empirischen Teil erfolgt die Erhebung und Bearbeitung der notwendigen Daten und Informationen für die Klärung des zweiten Fragenbereichs. Bei diesem Analysen- und Auswertungsverfahren werden sowohl die aus der Literatur stammenden als auch die empirisch gewonnenen Daten ausgewertet und die Hypothesen überprüft. Danach erfolgt die Verwendung der Ergebnisse, die zur Formulierung von Handlungs- und Umsetzungsempfehlungen führt.

1.2.1. Abgrenzung

In der Arbeit wird der Fokus ausschliesslich auf den Kontext der SSF in Biel gelegt. Themen wie Unternehmenskultur, Organisation und Arbeitsgestaltung werden in der Arbeit nur am Rand gestreift, denn ihre nähere Betrachtung hätte den Rahmen dieser Arbeit gesprengt. Es gibt zahlreiche Themen und Themenbereiche im Zusammenhang mit der digitalen Transformation und Industrie 4.0. Die Arbeit konzentriert sich auf die, aus der Sicht des Autors für das Leuchtturmprojekt besonders relevanten Bereiche – insbesondere auf die Wirtschaftlichkeit.
Bezüglich des Zeithorizonts ist der Hauptfokus auf die Phasen bis und mit Projektabschluss im Dezember 2020 gelegt. Wichtig ist, dass die gewonnen Erkenntnisse in die Umsetzung des Leuchtturmprojekts einfliessen können. Im Sinne der Fortführung und der Nachhaltigkeit werden vereinzelt auch Hinweise über den Projektabschluss hinaus gemacht.

1.3. **Hypothesen**

Mit den Ansätzen von Industrie 4.0 und dem Konzept der Smart Factory können die Produktivität und Flexibilität eines produzierenden Unternehmens signifikant erhöht und somit die Wettbewerbsfähigkeit gesteigert werden.

Durch das Leuchtturmprojekt mit seiner Demonstrationsanlage können der Werkplatz Schweiz und die Schweizer Industrie insgesamt gestärkt werden.

2. Theoretische Grundlagen

2.1. Industrie 4.0

Industrie 4.0, die vierte Stufe der Industrialisierung, entstand als Zukunftsprojekt im Rahmen der Hightech-Strategie der deutschen Bundesregierung (vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung, online, o. J.). Der Begriff Industrie 4.0 wird vom ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie) wie folgt definiert: «Industrie 4.0 steht für die vollständige Digitalisierung und Integration der industriellen Wertschöpfungskette. Die Verbindung von IT (Informationstechnologie) resp. IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) mit der OT (Operational Technology) – also der Automatisierungstechnik zum Internet der Dinge und Dienste – ermöglicht immer höhere Grade der Vernetzung in und zwischen Produktionsanlagen, vom Lieferanten bis hin zum Kunden» (vgl. ZVEI, online, 2019). Eine Interpretation der Definition in Bezug auf die Schweizer Industrie findet sich auf der Plattform der Schweizer «Industrie 4.0-Initiative»:

«Der Begriff Industrie 4.0 drückt aus, dass nach der Mechanisierung, Elektrifizierung und Automatisierung nun die vierte industrielle Revolution im Gange ist: die Digitalisierung und Vernetzung entlang der Wertschöpfungsketten mit dem Ziel der Optimierung von Prozessorganisation und -steuerung. Grundlage dieses Wandels sind neue Technologien aus der IKT, die zunehmend in der produzierenden Industrie zum Einsatz kommen. Industrie 4.0 ist aber mehr als die Anwendung von Technologie: es ist ein Konzept und ein Denkmodell für Veränderungen in der Industrie auf der Basis von verfügbaren und künftigen Technologien. Mit der Initiative Industrie 4.0 wird die Vision einer intelligenten Fabrik innerhalb eines Wertschöpfungsnetzwerks verfolgt» (Initiative Industrie 2025, online, 2018).

Wichtig ist die begriffliche Unterscheidung von Digitalisierung und Industrie 4.0. Die Digitalisierung beschreibt den Wandel hin zu einem prozessgetriebenen und papierlosen Unternehmen mittels digitaler Geräte. Die Digitalisierung ist eine notwendige Voraussetzung für Industrie 4.0 (vgl. Huber, 2018, S. 14).

Mit Industrie 4.0 jedoch soll die Produktion auf ein neues Entwicklungsniveau gehoben werden. Das Ziel von Industrie 4.0 ist letztendlich die Smarte Fabrik (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 25). Huber beschreibt Industrie 4.0 als Verknüpfung von intelligenten Produkten (Smart Products) mit einer intelligenten Fabrik (Smart Factory) bei veränderten Geschäftsmodellen (Smart Services) / (vgl. Huber, 2018, S. 14). Industrie 4.0 fordert eine umfassende Digitalisierung der horizontalen und vertikalen Wertschöpfungskette, fügen Geissbauer u. a. an. Horizontal bedeutet: vom Lieferanten des Rohmaterials und Komponenten über das eigene Unternehmen bis hin zum Kunden; vertikal bedeutet: im eigenen Unternehmen über alle Unternehmensbereiche hinweg (vgl. Geissbauer *u. a.*, 2014, S. 21).

2.2. Smart Factory – die Fabrik der Zukunft

Um die Grundsätze der Smart Factory zu verstehen, ist es aus Sicht des Autors notwendig, deren Entstehung aufzuzeigen und die Grundzüge der digitalen Fabrik zu verstehen. Der Fachausschuss «digitale Fabrik» des VDI (Verein Deutscher Ingenieure) hat den Begriff der digitalen Fabrik wie folgt definiert: «Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und dreidimensionalen Visualisierung – die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt» (Verein Deutscher Ingenieure VDI, 2008).

Diese Definition ist umfassend genug und lässt genügend Freiheit in der Gestaltung der Umsetzung (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 11). Demnach finden sich in der Literatur viele Auslegungen für den Begriff der digitalen Fabrik. Die Folge davon, vor allem in der Praxis, ist ein unterschiedliches Verständnis der Inhalte und Schwerpunkte. Nach Landherr u. a., ist das Hauptziel der digitalen Fabrik die Unterstützung des nachhaltigen Unternehmenserfolgs – dies immer mit dem Zielkonflikt der drei Bereiche: Qualität, Kosten und Zeit. Davon ausgehend lassen sich wiederum viele Unterziele definieren. Der Fokus liegt dabei stark auf der kontinuierlichen Planung und Optimierung des Fabrikbetriebs und somit der Effizienzsteigerung und Kostensenkung. Als Methoden dazu werden Modellierung, Simulation, Optimierung, Visualisierung, Dokumentation und Kommunikation genannt. Bei den Werkzeugen wird zwischen Werkzeugen der digitalen Fabrik und solchen des digitalen Fabrikbetriebs sowie gemeinsamen Werkzeugen unterschieden (vgl. Landherr u. a., 2013, S. 111–118). Die bis anhin geltende Umsetzung der Fertigung ist sehr geprägt von der klassischen Automatisierungspyramide, die hierarchisch vom ERP (Enterprise Ressource Planning)-System auf der Unternehmenssteuerungsebene bis hin zur Ein- und Ausgabeschnittstelle auf der Feldebene führt (vgl. Kleinemeier, 2014).

Die digitale Fabrik mit ihren Planungswerkzeugen zur Modellierung, Simulation und Programmierung ist als grundlegender Wegbereiter für Industrie 4.0-Lösungen bei komplexen Anwendungen anzusehen (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 53). Mit der digitalen Fabrik können wesentliche Grundlagen – z.B. Modelle und Funktions- sowie Ablaufsimulationen bereitgestellt werden, die dann Ausgangsbasis für neue vernetzte digitale Anwendungen im Rahmen von Industrie 4.0 sind. Eine Erweiterung dazu verkörpert der Begriff der Smart Factory, welcher nachfolgend erläutert wird (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 25).

Der Begriff Smart Factory entstammt aus den Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Die Smart Factory ist ein wichtiges Element von Industrie 4.0 (vgl. Kagermann /Wahlster/Helbig, 2013, S. 23). Der VDI spricht vom Integrationsgrad der Fabrik, der eine Tiefe erreicht hat, dass die Selbstorganisationsfunktionen in der Fertigung und in allen damit verbundenen Geschäftsprozessen möglich seien. Sie merken an, dass das virtuelle Abbild der Fabrik intelligente Entscheidungen ermöglicht und nennen als Ziel die Steigerung von Effizienz, Effektivität, Flexibilität und/oder Wandlungsfähigkeit (vgl. Verein Deutscher Ingenieure VDI, 2019). Das BMWI (Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie) spricht von intelligenten Industrie 4.0-Einheiten auf welchen eine Smart Factory basiert. Dazu nennen sie Elemente wie

selbständig koordinierende Maschinen, kollaborative Roboter und fahrerlose Transportsysteme. Im Zentrum steht dabei das Produkt mit seinen Lebensphasen, die von der Idee bis hin zum Recycling von Industrie 4.0 bestimmt würden (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, online, 2019).
Bei der Smart Factory geht es vor allem um den Betrieb und die Optimierung der Fabrik in Echtzeit (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 25). «Die Smart Factory beherrscht Komplexität, ist weniger störanfällig und steigert die Effizienz in der Produktion» (Kagermann/Wahlster /Helbig, 2013, S. 23). In der Produktion der nächsten Generation, so Lucke, wird die Optimierung des Fabrikbetriebs durch die Verbesserung und Beschleunigung der Kommunikation angestrebt. So definiert Lucke die Smart Factory als eine Fabrik, die Menschen und Maschinen in der Ausführung ihrer Aufgaben kontextbezogen unterstützt. Kontextbezogen bedeutet, dass Informationen und Zusammenhänge – z.B. der Ort oder der Zustand, die ein Fabrikobjekt charakterisieren – in der Informationsbereitstellung miteinbezogen werden. Als Fabrikobjekt nennt Luke die Ressourcen, die Prozesse und die Aufträge (vgl. Lucke, 2013, S. 254).
Bauer u. a. sprechen einen aus Sicht des Autors sehr relevanten Aspekt bei der Betrachtung der Fabriken der Zukunft an. Sie erwähnen insbesondere zwei sich unterscheidende Arten von Fabriken mit unterschiedlichen Zielsetzungen: die intelligenten, hoch automatisierten und effizienten Fabriken mit dem Fokus auf der kostensensitiven Serienproduktion, die sogenannten «Smart automated plants» und die «Customer-centric plants», mit Fokus auf der Fertigung von individuellen, kundenspezifischen Produkten in kleinsten Losgrössen zu marktgerechten Preisen. Hier geht der Trend in Richtung «Massenpersonalisierung». In der Zukunft wird Industrie 4.0 bestehenden Fabriken nicht nur eine Effizienzsteigerung bringen, sondern die Fabriken auch so verändern, dass diese der veränderten Nachfrage der Nutzer entsprechen können (vgl. Bauer *u. a.*, 2015, S. 30–31).
Vereinfachend kann gesagt werden, dass die digitale Fabrik für Produktivitätssteigerung und Effizienz steht, während die Smart Factory den Fokus mehr auf Individualität, Flexibilität und Autonomie legt. Huber fügt aber an, dass die Umsetzung einer Smart Factory aktuell nur vereinzelt und in spezifischen Ausprägungen besteht. Vereinfachte Szenarien werden umgesetzt, aber die Smart Factory bleibt vorerst noch ein mehr oder weniger theoretisches Zielbild (vgl. Huber, 2018, S. 86).

2.2.1. Die Smart Factory und ihr Ökosystem

In der Vision des Leuchtturmprojekts beschreibt Wendling die Smart Factory als Produktionsumgebung (vgl. Wendling, 2019, S. 22). Er skizziert also nicht nur die eigentliche Fabrik, sondern auch die dazugehörende Umgebung. Die Smart Factory ist eingebettet in einem Umfeld von intelligenten Infrastrukturen wie «Smart Grid», «Smart Mobility», «Smart Logistics» und «Smart Buildings». Auch wenn Industrie 4.0 den Fokus auf die Smart Factory legt, stellen die intelligenten Infrastrukturen einen wichtigen Teil im Ökosystem des Internets der Dinge und der Dienste dar. Das Potenzial von Industrie 4.0 kann nur dann voll zur Geltung kommen, wenn die Smart Factory, mit ihren cyber-physischen Systemen und den dazugehörigen Smart Products, über Schnittstellen in intelligente Infrastrukturen eingebunden wird, wie dies in der Abbildung 1 illustriert wird (vgl. Kagermann/Wahlster/Helbig, 2013, S. 23).

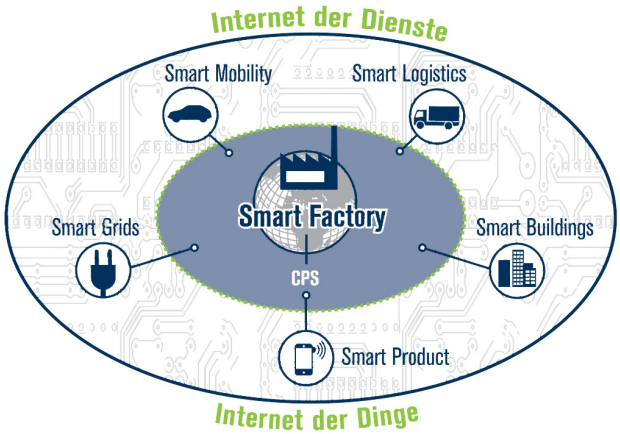

Abbildung 1: Industrie 4.0 und die Smart Factory als Teil des Internets der Dinge und Dienste
(Darstellung übernommen aus Kagermann/Wahlster/Helbig, 2013, S. 23)

2.3. Treiber und Voraussetzungen von Industrie 4.0

Die zentralen Treiber von Industrie 4.0 sind: Automatisierung, Digitalisierung und Vernetzung (vgl. Obermaier, 2016, S. 10). Hinzu kommen der erhöhte Wettbewerbsdruck und die dadurch verringerten Margen, die durch den Kostendruck ausgelöste, reduzierte Fertigungstiefe sowie die gestiegenen Anforderungen an die Produktion. Dazu nennt Obermaier Zeitdruck, Qualitätsdruck, Innovationsdruck, Individualisierungsdruck und Variantendruck (vgl. Obermaier, 2016, S. 10–12). Allen voran sehen Schaeffer und Bertheau die Technologie als Treiber für die Veränderung in der Industrie und somit als Voraussetzung für Industrie 4.0. Entscheidend ist, dass die verfügbaren Technologien richtig eingesetzt und gut kombiniert werden. Es gilt, die stetige Entwicklung der Technologien mitzuverfolgen und sich zu überlegen, wie letztere sinnvoll einzusetzen sind. Dabei liegt das Augenmerk darauf, die Technologien so zu nutzen, dass dadurch die Effizienz des Unternehmens gestärkt werden kann. Nur so kann auch die Finanzierung neuer Produkte sichergestellt werden. Schaeffer und Bertheau sind der Meinung, dass digitale Technologien die geeigneten Mittel sind, um die sogenannten Wertepotenziale auszuschöpfen und damit Mittel für zukünftige Investitionen bereitzustellen. (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 20).
Die Aussage, dass Technologien so zu nutzen sind, dass die Effizienz gestärkt wird, wird auch von Huber unterstützt. So ist es gerade die Kombination, Verbindung und letztendlich die Vernetzung einzelner Technologien, die einen deutlichen Mehrwert schafft (vgl. Huber, 2018, S. 18). Des Weiteren sehen Schaeffer und Bertheau Elemente wie Plattformen und Datenoptimierung sowie Personalisierung und «As-a-Service»-Geschäftsmodelle als Treiber des Wandels, den der industrielle Sektor aktuell durchläuft (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 38–39).

Anpassungsfähigkeit und Flexibilität sind Voraussetzungen, um am Markt erfolgreich bestehen zu können (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013, S. 21). Dies sehen auch Schaeffer und Bertheau so. Als wichtige Voraussetzung für die digitale Strategie gelten nach ihnen die Agilität sowie die Beschleunigung von Prozessen. Unternehmen müssen in der Lage sein, mit ihren Produkten und Dienstleistungen in Echtzeit auf Veränderungen und Anforderungen des Marktes zu reagieren (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 23).

Aus betriebswirtschaftlich-organisatorischer Sicht ist die Selbstorganisation der Fabrik fast ohne Eingriff des Menschen einer der wichtigsten Treiber (vgl. Scheer, 2015, S. 38). Scheer fügt an, dass alleine die Verfügbarkeit der Technologien noch nicht heisst, dass ihr Einsatz sich auch wirtschaftlich lohnt und sie für Industrieunternehmen einen Nutzen erzielen (vgl. Scheer, 2015, S. 36). Der Nutzen wird oft erst durch neue organisatorische Möglichkeiten erbracht. Scheer beruft sich dazu auf das in den 1980er-Jahren vorgestellte Y-Modell, das die wesentlichen produktiven Prozesstypen eines Industriebetriebs aufzeigt, anhand derer die betriebswirtschaftlichen Wirkungen diskutiert werden können. Die damals diskutierten Gedanken waren sehr ähnlich gelagert, konnten aber wegen der noch nicht ausgereiften IT-Technologien nicht umgesetzt werden. Heute können diese wieder aufgegriffen und erweitert werden. Die wichtigsten betriebswirtschaftlichen Treiber mit dem Fokus auf die Bereiche Fabrik, Produktentwicklung sowie Beschaffungs- und Vertriebslogistik sind in der Tabelle 1 aufgeführt. Scheer nennt bei seinen Ausführungen auch immer wieder die Technologien, die für die Umsetzung der Treiber erforderlich sind, als Basis. Die Technologien werden in weiteren Abschnitten der Arbeit vorgestellt und diskutiert.

Bereich	**betriebswirtschaftliche Treiber**
Fabrik, «Smart Factory» (Produktion)	• Selbstorganisation • CPS • Individualisierung
Produkt (Produktentwicklung und Entwicklung produktnaher Dienstleistungen)	• Individualisierung • Open Innovation
Logistik (Vertriebs- und Beschaffungslogistik)	• Individualisierung • Transparenz • Omni-Channel

Tabelle 1: Bereiche und die betriebswirtschaftlichen Treiber
(eigene Darstellung in Anlehnung an Scheer, 2015, S. 35-42)

Fabrik: Der betriebswirtschaftlich-organisatorische Treiber ist, wie erwähnt, die Selbstorganisation. Basis dazu bilden die CPS. Die hohe Flexibilität der CPS ermöglicht eine starke Individualisierung der Fertigung. Somit ist die Losgrösse 1 zu gleichen Kosten wie bei einer Massenproduktion möglich, so Scheer (vgl. Scheer, 2015, S. 38). Die CPS werden im Abschnitt 2.3.3. eingehend erläutert.
Produkt: Die Flexibilisierung der Fertigung fordert eine stärkere Individualisierung der Produktentwicklung. Hier nennt Scheer auch wieder die kundenindividuelle Fertigung und somit die Individualisierung als Treiber. Aktivitäten (Wartung, Reparatur, Ersatzteilaustausch) und Nutzungsdaten werden während dem ganzen Lebenszyklus eines Produkts aufgezeichnet. Dazu ist ein transparentes PLM (Produkt Lifecycle Management) erforderlich. Durch die Analyse von Daten werden noch individuellere Produkte und sogar neue Dienstleistungen möglich. Ein weiterer wichtiger Treiber sieht Scheer im Ansatz der Open Innovation. Produktideen müssen nicht nur von der eigenen Entwicklungsabteilung generiert werden; vielmehr können hierzu die verschiedensten Quellen wie eigene Mitarbeiter, Kunden, Lieferanten aber auch Interessierte ortsunabhängig miteinbezogen werden (vgl. Scheer, 2015, S. 40).

Logistik: Das Auftragserfassungs- und Auftragsverfolgungssystem in der Beschaffungslogistik der Lieferanten muss omni-channel-fähig sein. Das heisst, ein Kunde soll über verschiedenste Kanäle (Computer, Laptop, Smartphone, Tablet) seine Bestellung erfassen, ändern und verfolgen können. Zudem soll er von der Flexibilisierung und Individualisierung der Produktentwicklung und der Fertigung profitieren, indem er jederzeit seine Änderungswünsche anbringen kann. Durch die Individualisierung der Produkte wird die Zahl der Zulieferer erhöht und die Fertigungstiefe verringert. Somit muss die Logistik flexibler und auch individueller werden. Dies erfordert Transparenz in der gesamten Logistikkette, damit alle Beteiligten darauf Zugriff haben und Veränderungen oder Störungen rasch erkennen können (vgl. Scheer, 2015, S. 41–42).
Eine entscheidende Voraussetzung, um sich den ständig wechselnden Rahmenbedingungen und den sich ändernden Märkten schnell anpassen zu können, ist eine nach Effizienz- und Effektivitätskriterien ausgelegte Digitalisierung der Produktion. Diese soll im Sinne der digitalen Unterstützung auf durchlässige Wertschöpfungsprozesse ausgerichtet sein. Eine wichtige Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit ist die IKT (vgl. Jacobi/Landherr, 2013, S. 41–44). Verwiesen wird dabei auf eine Studie aus Deutschland, wonach mehr als 80 Prozent der Innovation der Wirtschaft auf IKT beruhen. Auf die Industrie bezogen bedeutet dies zum Beispiel, dass im Maschinenbausektor dadurch ein Wachstum an Online-Diensten erzielt werden kann (vgl. Statistisches Bundesamt, 2013, S. 5).
Parallel mit der digitalen Transformation mit all ihren Eigenschaften steigt auch die Komplexität. Dies heisst aber nicht zwingend, dass die Kompliziertheit steigt. Produkte können in Zukunft sogar einfacher werden. Die Komplexität entsteht durch die Vernetzung, die gegenseitige Beeinflussung und die daraus resultierende Dynamik (vgl. Schlotmann, 2018, S. 30). Somit kann gesagt werden, dass die Beherrschung der Komplexität eine Voraussetzung ist, und dass es darum geht, den Überblick zu behalten. Krumm und Kraus gehen noch einen Schritt weiter und sehen für moderne Unternehmen grosse Chancen, dass die steigende Komplexität durch eine agile Vorgehensweise und eine konsequente Nutzung der Potenziale sogar gewinnbringend eingesetzt werden kann (vgl. Krumm/Kraus, 2017, S. 3).
Bechtold u. a. sprechen von einem vielfältigen Umfeld von Mitbewerbern. Unternehmen müssen sich Gedanken machen, wie sie ihre Wettbewerbsfähigkeit inner- und ausserhalb der klassischen Wertschöpfungskette in der Fertigung stärken können (vgl. Bechtold *u. a.*, 2014, S. 4).
Sandau u. a. sprechen in ihrer Studie von einer «Komplexitätsbarriere», die es zu überwinden gilt, will man das volle Potenzial einer zukunftsgerichteten Smart Factory entfalten. Ausgehend von der Anwendung der Lean-Prinzipien – der Methoden und Werkzeuge zur Optimierung der Produktion und Lieferketten – kommen heute neue Kundenanforderungen, neue Technologien und Unmengen an Daten hinzu. Diese neue Komplexität ergibt neue Zielkonflikte und kann mit herkömmlichen Methoden nicht gelöst werden. Dies erfordert weiterführende Ansätze. Die Lösung sehen Sandau u. a. in den neuen digitalen Technologien. Diese ermöglichen Effizienzsteigerungen bei gleichzeitig positiver Nutzung der Auswirkungen der Komplexität (wie z.B. die Individualität und Flexibilität) / (vgl. Sandau *u. a.*, 2019, S. 1–2). Weitere Ansätze wie diese Komplexität beherrscht werden kann, werden im Abschnitt 2.6. bei den Herausforderungen vorgestellt.

2.3.1. Technologien und deren Reifegrad

Der Begriff «Technologie» bezeichnet sowohl die technischen Mittel als auch das Wissen und die Fähigkeiten rund um deren Anwendung zur Lösung technischer Problemstellungen (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 16). Hinter dem Begriff Industrie 4.0 verbirgt sich eine Vielzahl an unterschiedlichen neuen, aber auch bereits bekannten und etablierten Technologien (vgl. Bildstein/Seidelmann, 2014, S. 583).
In der Literatur werden die Technologien bezüglich ihrer Art unterschiedlich eingeordnet. Eine einheitliche Kategorisierung ist nicht festzustellen. Nach Huber ist die Einteilung subjektiv. Wichtig ist jedoch, die Chancen und Risiken neuer Technologien richtig zu bewerten und einzuschätzen (vgl. Huber, 2018, S. 17–18).
Eine Studie im Auftrag des BMWI fasst die Technologien treffend in sogenannten Technologiefeldern zusammen. Ein Technologiefeld ist eine Gruppierung von Technologien, welche zur Realisierung des Internet der Dinge oder von CPS als technische Grundlagen der Industrie 4.0 notwendig sind (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 17). Im Folgenden werden die relevanten Technologiefelder mit den dazugehörigen Technologien beispielhaft aufgezeigt. Aufgrund der hohen Vielfalt wird auf eine vollständige Auflistung aller Industrie 4.0-Technologien verzichtet. Die Abbildung 2 zeigt eine Übersicht über die Technologiefelder und die zugehörigen Technologien. Eine Beschreibung dazu findet sich anschliessend.

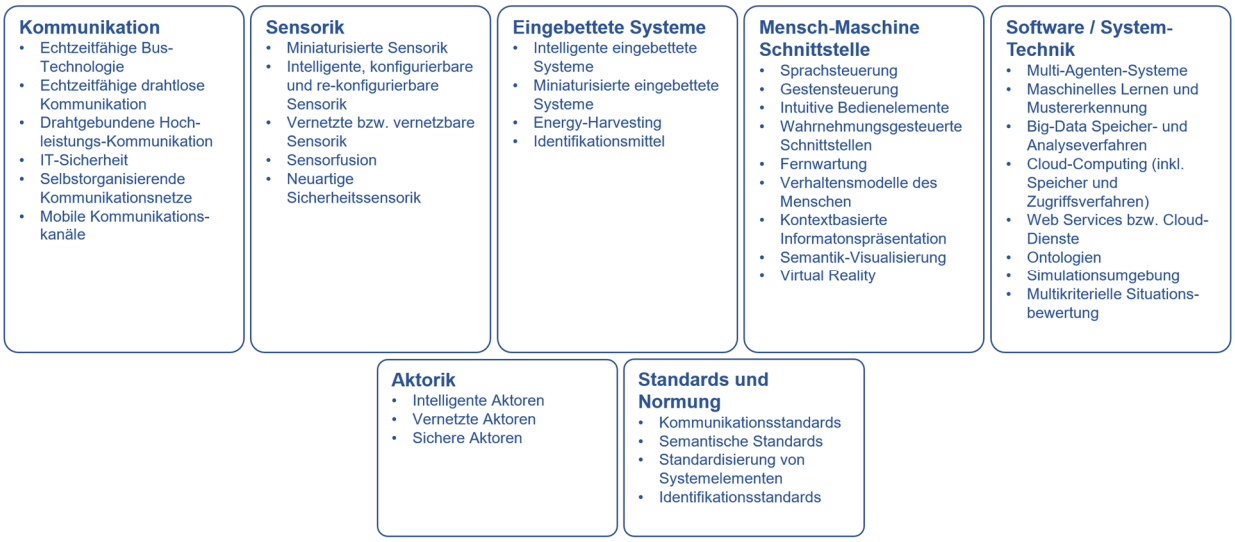

Abbildung 2: Industrie 4.0-Technologiefelder
(eigene Darstellung in Anlehnung an Taphorn u.a., 2015, S. 18)

Die Kommunikationstechnologien sind die Basis zur Vernetzung. Dazu gehören sowohl der drahtlose wie auch der drahtgebundene Datenaustausch. Hierzu stehen die Technologien der Funkvernetzung, wie z.B. WLAN (Wireless Local Area Network), RF (Radio Frequency) und NFC (Nearfield Communication), zur Verfügung. Es ist festzuhalten, dass für zukünftige Anwendungen neue Anforderungen und Voraussetzungen bestehen bezüglich Verfügbarkeit, Datentransferleistung, IT-Sicherheit sowie Kommunikationsprotokollen und -algorithmen.
Das Technologiefeld Sensorik beinhaltet einzelne Technologien zur Informationsgewinnung. Unterschiedliche Technologien haben sich in den letzten Jahren am Markt etabliert und gelten

als Standard (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 18–19). Eine ausführliche Beschreibung dazu findet sich im Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0 (vgl. Fleischer *u. a.*, 2018).
Das Technologiefeld «Eingebettete Systeme» ist als eigenständige Technologie zu werten. Sie führt die Entwicklung von Hardware mit Sensorik und integrierter intelligenter Datenverarbeitungs- und Steuerungslogik zusammen (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 19).
Aufgrund seiner Flexibilität und Wandlungsfähigkeit spielt der Mensch auch in der Industrie 4.0 eine zentrale Rolle: zur Überwachung, Steuerung und Störungsbehebung. Das Ziel des Technologiefelds Mensch-Maschine-Schnittstelle ist es, den Menschen bei der Ausführung seiner Arbeit, bei zunehmender Komplexität, zu unterstützen (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 20).
Bei der Softwaresystemtechnik werden verschiedene Technologien gruppiert, die eine Datenverarbeitung ermöglichen, um Automatisierung oder Autonomie zu erzeugen. Zum einen sind es Technologien, mit denen sich die dezentrale Steuerung von CPS realisieren lassen; zum anderen seien es Technologien, die eine Verarbeitung von grossen Datenmengen oder eine Modularisierung von Software in der Cloud ermöglichen. Gerade bei Letzterem werden künftig eine Vielzahl neuer Geschäftsmodelle und Systemlösungen erwartet (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 20).
Die im Technologiefeld der Aktorik zusammengefassten Technologien befähigen die CPS, auf ihre physische Umwelt einzuwirken. Dies betreffe vorwiegend Antriebselemente, welche elektronische Signale in mechanische Bewegung oder andere physikalische Grössen (z.B. Druck oder Temperatur) umsetzen. Diese Technologien werden in Industrie 4.0-Lösungen meist in Kombination mit anderen Technologien (Sensorik, Softwaresystemtechnik, eingebettete Systeme oder Kommunikation) eingesetzt. Gemäss Taphorn u.a. werden die Antriebselemente in Zukunft mit mehr Intelligenz ausgestattet sein, um komplexere und reaktionsfähigere Regelungen auszuführen (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 19–20).
Standards und Normung bezeichnen Taphorn u.a. als Querschnittstechnologiefeld. Dies betrifft vor allem die Kommunikation und durchgängige Datenerfassung über die Unternehmensgrenze hinweg (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 20). Dazu sind ein hohes Mass an Standardisierung sowie offene Schnittstellen mit übergreifenden Datenformaten und Protokollen notwendig (vgl. Kleinemeier, 2014). Hierzu dient das sogenannte Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0, welches auch den Ansatz der Verwaltungsschale für die übergreifende Kommunikation zwischen Teilnehmern beschreibt (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, online, 2016c).

2.3.2. Schlüsseltechnologien und deren wirtschaftliche Relevanz

Huber spricht bei den sogenannten Schlüsseltechnologien von Technologien, die «revolutionieren». Dazu gehören Daten, KI (künstliche Intelligenz) und maschinelles Lernen, CPS, sensitive und kollaborative Roboter sowie additive (generative) Fertigungsverfahren. Im Folgenden wird näher auf diese Technologien eingegangen, wobei der Fokus auf deren wirtschaftliche Relevanz liegt.

Daten – Big Data und Smart Data:
Im Zusammenhang mit Daten und Informationen sowie deren Analyse wird oft von «Big-Data» gesprochen – vor allem dann, wenn in einer Anwendung die Datenmenge, Verarbeitungs-

geschwindigkeit oder Vielfältigkeit der Daten in Dimensionen vorstösst, die durch herkömmliche Datenverarbeitungstechnologien nicht oder nur mit sehr hohen Kosten verarbeitet werden können (vgl. Hübschle, 2017, S. 189). Die analytische Verarbeitung der unterschiedlichen Daten stellt den eigentlichen Kern von Big-Data-Systemen dar. Dazu kommen spezielle Lösungen für die Generierung/Extraktion und für die Analyse statistischer Modelle zum Einsatz. Für die Auswahl der Technologie ist das konkrete Anwendungsszenario entscheidend und die Visualisierung der Ergebnisse wichtig (vgl. Huber, 2018, S. 22–23).
Oft lautet die Philosophie, erst einmal massiv Daten zu sammeln. Es sei naheliegend, dass durch das Sammeln von Daten und der nachgelagerten Analyse viele «verborgene Schätze» zum Vorschein kommen, so Hübschle. Natürlich entstehen hohe Kosten, die nicht immer direkt einem hohen Nutzen gegenübergestellt werden können. Daraus ist der Begriff Smart Data entstanden, wo die zu erfassenden Daten bereits vorselektiert werden. Zudem werden nur Daten gesammelt, die der geplanten Nutzungsweise entsprechen (vgl. Hübschle, 2017, S. 190–191). Dies sieht Huber genauso. Bei Daten handelt es sich erst einmal um eine Ansammlung von Zeichen, deren Bedeutung und Sinn erst durch das Erstellen von Zusammenhängen erschlossen werden. Aus Daten werden somit Informationen, und erst durch die Verarbeitung ergibt sich daraus Wissen oder eben Smart Data. Um aber die Daten effizient verarbeiten zu können, braucht es Software; ohne Software ist eine industrielle Datenverarbeitung nicht möglich (vgl. Huber, 2018, S. 19).
Die CPS in der Produktion entfalten ihre volle Wirkung erst, wenn Daten und Informationen über den eigentlichen technologischen Prozess hinaus genutzt werden. Mit der steigenden Vernetzung steigt auch der Umfang der Daten rasch an. Diese Unmengen an Daten bieten aber grosse Potenziale für die gezielte Auswertung ihres Informationsgehalts. In vielen Unternehmen werde deshalb die ständige Verfügbarkeit aller relevanten Daten und Informationen angestrebt. Das Ziel ist dabei, schnell und ohne grossen Aufwand Aussagen zum aktuellen Stand der Produktion machen zu können – nach Möglichkeit sogar mit einer zuverlässigen Vorschau in die Zukunft durch geeignete Prognoseansätze. Dazu ist eine flexible IT-Infrastruktur notwendig, die es ermöglicht, die oft heterogenen Datenquellen miteinander zu verbinden. Dies wiederum ist Voraussetzung, um mit geeigneten Algorithmen aus Daten Wissen und Entscheidungsgrundlagen zu generieren (vgl. Drossel *u. a.*, 2017, S. 208).

Was die wirtschaftliche Relevanz anbelangt, nehmen nach Huber Software und Daten bald eine dominierende Rolle in erfolgreichen Unternehmen ein. Datengetriebene Unternehmen sind produktiver und profitabler (vgl. Huber, 2018, S. 19). Mit Big-Data werden Produkte besser hergestellt, die unternehmensinternen Prozesse effizienter. Mit dieser Technologie eröffnet sich ein völlig neues Feld an Möglichkeiten. Durch die Nutzung von bestehenden und neuen Daten können Kundenbedürfnisse genauer erkannt werden und das Wissen in Produktveränderungen und neue Services einfliessen. Es lassen sich kundenindividuelle und personalisierte Angebote erstellen, aber auch neue Erkenntnisse zum Nutzerverhalten gewinnen. Die Einsatzgebiete erstrecken sich gemäss Huber über nahezu alle Unternehmensbereiche hinweg (vgl. Huber, 2018, S. 25–26). So entstehen ein neues Wertschöpfungspotenzial für Dienstleistungen, neue Geschäftsmodelle und somit auch neue Ertragsströme (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 60–69).

Bauer u. a. zeigen in ihrer Studie, dass durch das Fehlen von Daten oder das Ignorieren von bestehenden Daten Ineffizienz entsteht. Der ökonomische Nutzen entsteht erst, wenn es dem Unternehmen gelingt, diese Ineffizienzen zu beseitigen. Die Fachliteratur spricht von einer Verschiebung des Paradigmas durch Industrie 4.0, von der Optimierung der physischen Assets hin zur Optimierung von Daten und Informationen über den ganzen Lebenszyklus. Die digitale Optimierung baut auf einem kontinuierlichen Informationsfluss auf. Dieser «digitale rote Faden» zieht sich durch den ganzen Produktlebenszyklus – vom Design über die Produktion bis hin zum Einsatz des Produkts und dessen Recycling. An jeder Stelle in diesem Zyklus wirken die verfügbaren Daten als «Enabler» für jegliche Art von Nutzung, Austausch und Kooperation im Unternehmen und sind auch unternehmensübergreifend für die beteiligten Stakeholder von Wichtigkeit. Wichtig dabei ist, dass nirgends in diesem Prozess ein Informationsleck oder ein Medienbruch entsteht. So sehen Bauer u. a. denn auch das grösste Potenzial bei bestehenden Maschinen und Anlagen im sogenannten «End-to-end»-Kommunikationsstrang. Durch die oben genannten Optimierungsmöglichkeiten entsteht eine Produktivitätssteigerung von bis zu 26 Prozent (vgl. Bauer *u. a.*, 2015, S. 7). Als Basis für die Umsetzung sind zwei Dinge wichtig: die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit und die Fähigkeit, aus den Daten zu jedem Zeitpunkt den optimalen Wertschöpfungsfluss zu bestimmen (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016a, S. 19).
Ein im Zusammenhang mit Daten wichtiger Aspekt ist die rechtliche Situation bezüglich des Datenschutzes (vgl. Hübschle, 2017, S. 191). Aus der eigenen Erfahrung des Autors ergeben sich im Gespräch mit Kunden über die Verfügbarkeit von Daten und deren Speicherung sehr schnell Fragen rund um die Verwaltung und den Zugriff. Wo – geografisch gesehen– werden die Daten gespeichert? Wem gehören die Daten? Wer hat Zugriff darauf? Wie sicher sind die Daten? Viele Privatpersonen speichern ihre Daten in einer Cloud bei einem externen Anbieter, ohne sich um die Datenschutzaspekte und die Sicherheit zu kümmern. Bei Firmen, welche heikle, unternehmensinterne Daten oder gar Kundendaten von Anlagen und Maschinen erheben, stellen sich Fragen betr. Datenschutz umso dringlicher.

Künstliche Intelligenz

Ausgehend von den vorhandenen Daten geht es bei der KI um die Mustererkennung in Datensätzen, um Vorhersagen von Ereignissen und um Optimierungen vorzuschlagen. Maschinen werden zunehmend in die Lage versetzt, eine eigene Kompetenz aufzubauen und zwar so weit, dass die Systeme mehr oder weniger selbständig Probleme lösen können. Dazu wird zwischen verschiedenen Graden von Intelligenz unterschieden. Maschinelles Lernen ist eine der wichtigsten Technologien im Kontext von Industrie 4.0, so Huber. Diese Technologie hat erst durch die Verfügbarkeit der entsprechenden Rechenkapazität und den Zugriff auf grosse Datenmengen in den letzten Jahren den Durchbruch erfahren. Bei der Verwendung des KI-Ansatzes in der Praxis werden am häufigsten Predictive Maintenance und Predictive Quality eingesetzt (vgl. Huber, 2018, S. 27–28).
Bezüglich der wirtschaftlichen Relevanz werden dem Maschinellen Lernen eine grosse Bedeutung und hohe Wachstumsraten vorausgesagt. Es erlangt immer grössere Einsatzreife.

In Deutschland wird deshalb auch vom Wachstumsmotor KI gesprochen. Die grössten Potenziale werden u.a. im Maschinenbau gesehen (vgl. Huber, 2018, S. 29–30).

Sensitive Roboter

Roboter übernehmen auch in der Industrie immer mehr Aufgaben. Ihr Einsatz geht weit über jenen der klassischen Industrieroboter hinaus. Einerseits ersetzen die Roboter den Menschen in Form von gesteigerter Automation, andererseits arbeiten sie auch immer mehr kollaborativ mit dem Menschen zusammen. Dank Big-Data und maschinellem Lernen werden Roboter immer intelligenter und autonomer. Entwicklungen im Bereich der sensitiven Roboter bieten Lösungsansätze für die Herausforderungen von Industrie 4.0 bezüglich der Wandlungsfähigkeit und Losgrösse 1, erklärt Huber. Die technischen Ausführungen bei sensitiven Robotern sind bereits so weit ausgereift, dass die Zusammenarbeit mit Menschen auch sicherheitstechnisch möglich ist. Weiter besteht sogar die Möglichkeit des Roboter-Farmings – ein Konzept, bei welchem mehrere sensitive Roboter gemeinsam zum Einsatz kommen. Huber ist der Meinung, dass sich dieses Konzept gut mit den Konzepten der flexiblen Fertigungsinseln der Lean-Produktion verbinden lässt. Abhängig von der geforderten Stückzahl werden die Roboter flexibel an verschiedenen Stationen eingesetzt; die Fertigungsinsel ist somit konfigurierbar und skalierbar (vgl. Huber, 2018, S. 33–35). Was die wirtschaftliche Relevanz angeht, sind Roboter nicht mehr aus der industriellen Produktion wegzudenken. Neue Potenziale ergeben sich durch die neue sensitive Generation. Durch neuartige Ansätze lässt sich die «Produktionselastizität» um rund 30 Prozent steigern und damit die skalierbare Fabrik realisieren, ist Huber überzeugt. Auch spricht er von einem Potenzial bei der Energieeinsparung. Des Weiteren lassen sich die Lohnkosten um mindestens 30 Prozent senken und somit der Abstand zu Niedriglohnländern deutlich reduzieren (vgl. Huber, 2018, S. 38).

Additive Fertigung

Die «Additive Fertigung» (umgangssprachlich oft auch als 3D-Druck bezeichnet) ist eine relativ junge Technologie. Darunter versteht man die Erzeugung eines Bauteils über das schichtweise Hinzufügen des Werkstoffes. Anfänglich sehr stark im Bereich des Prototypenbaus eingesetzt, finden diese Verfahren eine immer grössere Verwendung auch in der Produktion. Nach Huber werden Sie die Produktionslandschaft revolutionieren. Diese Verfahren würden sich aufgrund der hohen Flexibilität auch sehr gut für die Herstellung von massgeschneiderten Produkten eignen (vgl. Huber, 2018, S. 40). Zudem können die Bauteile mit neuen statischen und gewichtsrelevanten Eigenschaften versehen werden. Ein Aspekt, den Huber erläutert, ist die Ersatzteilproduktion, die sich sehr stark verändert. So lassen sich Ersatzteile nach Bedarf kundenspezifisch und relativ kurzfristig herstellen, was mittelfristig auch die Lagerkosten senken wird (vgl. Huber, 2018, S. 41–43). Scheer sieht einen wirtschaftlichen Nutzen darin, dass die Produktion dort stattfinden kann, wo sich die Kunden befinden (vgl. Scheer, 2015, S. 40).
In der Praxis sind zahlreiche Möglichkeiten durch die 3D-Druckverfahren entstanden. Es lassen sich heute Bauteile herstellen, die bisher aus technologischen oder wirtschaftlichen Gründen in der Herstellung unrentabel waren (vgl. Huber, 2018, S. 41). Durch die additive Fertigung ergeben sich bei der Produktentwicklung ganz andere Möglichkeiten, die jedoch auch ein neues

Denken bei den Entwicklern erfordern, wie Huber unterstreicht (vgl. Huber, 2018, S. 80–82). Diesen Aspekt erachtet der Autor als besonders relevant für das Leuchtturmprojekt.
Zu den wirtschaftlichen Vorteilen zählen die kundenspezifischen Produkte in Kleinserien und die Produktivitätssteigerung sowie die fast wartungslose Anwendung (vgl. Klemp/Pottebaum, 2017, S. 329–330). Huber erläutert sogar Anwendungsbeispiele bei welchen eine Reduktion der Reparaturzeit um 90 Prozent oder der Herstellungskosten um 75 Prozent möglich waren (vgl. Huber, 2018, S. 42).

Neuer Mobilfunkstandard 5G
Aufgrund der Aktualität erlaubt sich der Autor einen Exkurs auf das in der Gesellschaft kontrovers diskutierte Thema des neuen Mobilfunkstandards der fünften Generation, nachfolgend als 5G bezeichnet, und insbesondere auf den Aspekt der 5G-Anwendung im Kontext von Industrie 4.0. Wo also ergeben sich durch 5G für die Industrie neue Möglichkeiten und Anwendungen? Die Eigenschaften von 5G lassen sich kurz wie folgt zusammenfassen: mehr Daten, schnellere Übermittlung, mehr Sicherheit. Freund u. a. umschreiben das 5G-Netz als «Netz der Zukunft», als Türöffner für neue Möglichkeiten und Anwendungsfälle, und erwähnen dabei die Vernetzung von intelligenten Objekten wie zum Beispiel von Industrierobotern. Die fünfte Welle der Mobilkommunikation soll die Industrie und ihre Prozesse mobiler machen und die Automatisierung vorantreiben. Dabei wird von MTC (Machine Type Communication) gesprochen – oder vom vielthematisierten IoT (Internet of Things). Intelligente Geräte mit eingebetteten Kommunikationsfähigkeiten und integrierten Sensoren sind fähig, auf ihre lokale Umgebung zu reagieren, über Entfernungen zu kommunizieren und in Regelschleifen zu interagieren (vgl. Freund *u. a.*, 2018, S. 89). Bei Industrie 4.0-Anwendungen sind die hohe Zuverlässigkeit und die geringen Latenzzeiten bei der Funkübertragung zwingend nötig. Scheer u. a. stellen fest, dass in diesem Bereich die aktuellen Standards die geforderten Anforderungen nicht mehr erfüllen. Für die zuverlässige Vernetzung von Maschinen setzen sie deshalb hohe Erwartungen in den neuen 5G-Standard. Auch zeigen sie auf, dass die Regelkreise – wie sie bei Robotern notwendig sind – erst mit 5G die geforderte Latenz oder Zuverlässigkeit erreichen können, um die Roboter schnell genug bzw. sicher genug zu steuern (vgl. Freund *u. a.*, 2018, S. 105). Somit kann zusammenfassend gesagt werden, dass die 5G-Technologie für die Zukunft von Industrie 4.0 unabdingbar ist.

Dieser Exkurs sowie die vorangehenden Abschnitte enthalten viele verschiedene Schlüsseltechnologien, die in irgendeiner Art und Weise mit der digitalen Transformation und mit Industrie 4.0 verbunden sind. Es stellt sich die Anschlussfrage, ob es Technologien gibt, die für die Smart Factory speziell relevant sind.
Geissbauer u. a. listen in diesem Zusammenhang die Schlüsseltechnologie-Merkmale und Konzepte einer digitalen Fabrik auf. Es sind dies: digitaler Zwilling, vernetzte Fabrik, modulare Produktions-Assets, flexible Produktionsmethoden, Visualisierung und Automatisierung von Prozessen, integrierte Planung, autonome Intralogistik, vorausschauende Wartungstechniken,

Prozess- und Qualitätsoptimierung durch Datenanalyse sowie datengetriebene Ressourcenoptimierung, Track und Trace (Übersetzung d. Autors nach Geissbauer *u. a.*, 2017, S. 23)[1].
Der digitale Zwilling: Es gibt ihn in drei Ausprägungen: als digitales Abbild der Fabrik, als digitales Abbild der Assets, also der Maschinen und Anlagen und als digitales Abbild des Produkts.
Die vernetzte Fabrik: Der Fokus liegt beim Konzept der Verbindung von relevanten Aspekten wie Ressourcen, Maschinen, Transporteinrichtungen oder Produkte in der Fabrik über einen Konnektivitäts-Layer.
Modulare Produktions-Assets: Modulare Maschinen und Anlagen oder Einheiten wie Fertigungszellen, Handling Systeme und Roboter werden nach Bedarf in den Produktionsprozess eingefügt, je nach den Anforderungen des aktuellen Prozesses.
Flexible Produktionsmethoden: Flexible Produktionsmethoden, wie die Verwendung von additiver-Fertigung, ermöglichen hohe Variationen und erhöhen drastisch die Flexibilität.
Visualisierung und Automatisierung von Prozessen: Hier geht es z.B. um die Unterstützung von mobilen Applikationen, mit VR (Virtual Reality) kombinierten Applikationen und um AR-Lösungen mit Tablets oder digitale Brillen.
Integrierte Planung: Systeme für eine integrierte Planung und Terminierung vom MES (Manufacturing Execution System) der Produktionsebene bis hinauf zur ERP-Ebene. Dazu gehört die erweiterte Einbindung von Partnern wie Lieferanten und Kunden.
Autonome Intralogistik: Autonome, fabrikinterne Logistik-Systeme, die ohne menschliche Intervention funktionieren. Diese Systeme verarbeiten Echtzeitinformationen der digitalen und physischen Umgebung, navigieren sicher durch ihren Raum und führen die notwendigen Aufgaben aus. Solche Lösungen sind vor allem als autonome Fahrzeuge, AGV (Automated Guided Vehicles) oder als Drohnen für spezielle Aufgaben vorzusehen.
Vorausschauende Wartungstechniken: Fernwartung von dynamischen Maschinen- und Anlagezuständen mit Hilfe von Sensordaten und Datenanalyse für die Vorhersage von Instandhaltungs- und Reparatursituationen.
Prozess- und Qualitätsoptimierung durch Datenanalyse: Die Datenanalyse kann spezifische Muster in Produktions- und Qualitätsdaten erkennen, die wiederum für Rückschlüsse in Bezug auf die Optimierung der Prozesse und der Produktqualität herangezogen werden können.
Datengetriebene Ressourcenoptimierung: Optimierung von Energie- und Ressourcenverbrauch durch intelligente Datenanalyse, verbrauchsabhängig gesteuert.
Track and Trace: Der Standort von Produkten und Materialien in der Fabrik wird konsequent nachverfolgt und über eine Datenplattform mit den internen Systemen wie MES oder ERP verknüpft; dadurch entsteht volle Transparenz über den Produktionsprozess und die Lagerhaltung, was wiederum die Nachverfolgung von individuellen Teilen und Produkten ermöglicht.

[1] Originaltext: «Digital twin of the factory,- of the production asset, -of the product, Connected factory, Modular production asset, Flexible production methods, Process visualisation/automation, Integrated planning, Autonomous intraplant logistics, Predictive maintenance, Big data driven process/quality optimisation, Data-enabled resource optimisation, Transfer of production parameters, Fully autonomous digital factory, Track and trace.»

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass es nicht klare, spezifische Technologien für die Smart Factory gibt. Es sind verschiedene Ansätze und Konzepte, die sich – ausgehend von all den verfügbaren Industrie 4.0-Technologien – für die Smart Factory ergeben. Die Ausnahme bilden die CPS, die im nächsten Abschnitt beleuchtet werden.
Huber fügt zudem an, dass sich die einzelnen Technologien schnell verändern. Deshalb müssen nach ihm die Technologien in der Smart Factory austauschbar sein. Zudem soll nicht versucht werden, ineffiziente Prozesse mit neuen Technologien wettzumachen. Vielmehr ist der Fokus auf die Prozesse und deren Optimierung zu legen (vgl. Huber, 2018, S. 86–87).

2.3.3. Cyber-physische Systeme und intelligente Produkte

CPS bilden gemäss dem VDI die Basis für die Smart Factory. Sie sind die Verknüpfung von realen (physischen) Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden (virtuellen) Objekten und Prozessen über offene, teilweise globale und jederzeit miteinander verbundene Informationsnetze (vgl. VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA), 2013, S. 2). Gemäss Bracht, Geckler und Wenzel ist das Ziel eine wandlungsfähige Fabrik. Sie nennen dabei Schlüsselbegriffe wie Mobilität, Universalität, Skalierbarkeit, Modularität und Kompatibilität als Wandlungsbefähiger (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 30). Durch die hohe Flexibilität der CPS entsteht eine stark individualierte Fertigung – und dementsprechend ein ganz neuer Grad der Selbstorganisation und Prozessoptimierung (vgl. Bechtold *u. a.*, 2014, S. 17). Somit ist das Erreichen einer Fertigung von Losgrösse 1 zu den Kosten wie bei einer Massenproduktion realistisch, sagt Scheer. Weiter bemerkt er, dass zur erweiterten Funktion die Selbstoptimierung, d.h. ohne Eingriffe des Menschen, gehört (vgl. Scheer, 2015, S. 38).
Ein cyber-physisches Produktionssystem, wie zum Beispiel eine Maschine, kann auch als Netzwerk von «Social Machines» betrachtet werden. Wie im Internet in den sozialen Netzwerken tauschen intelligente, soziale Maschinen untereinander oder mit intelligenten Produkten Informationen über Aufträge und Zustände aus. Somit können sie Abläufe und Termine gemeinsam und autonom koordinieren. Das Ganze zielt darauf hin, die Durchlaufzeit, die Qualität und die Auslastung zu optimieren. Durch das Konzept des «Plug & Produce» werden Maschinen und Anlageteile schnell und einfach austauschbar und können so sehr flexibel eingesetzt werden. Die Basis dafür sind standardisierte Schnittstellen und Protokolle für die einfache Konfiguration und die Integration in den Produktionsprozess (vgl. Bauer *u. a.*, 2014, S. 20).
Die Produktentwicklung nimmt für Unternehmen an Bedeutung zu, womit auch die Komplexität steigt. Produkte müssen in Zukunft intelligent sein, sie müssen sich zu CPS hin entwickeln (vgl. Huber, 2018, S. 72). Auch Bechtold u. a. betonen, dass intelligente Produkte CPS sind. Sie sehen in ihnen den Schlüssel zu Industrie 4.0-Szenarien der Zukunft. Dabei nennen sie vier relevante Produkteigenschaften: Vernetzung, Reaktionsfähigkeit, Intelligenz und Wahrnehmungsfähigkeit (vgl. Bechtold u. a., 2014, S. 6–7).
Die intelligenten Produkte, so Porter und Heppelmann, bestehen aus drei Kernelementen: aus einer physischen Komponente (wie mechanische und elektronische Bauteile), aus einer intelligenten Komponente (Sensoren, Mikroprozessoren, Datenspeicher, Steuerungselemente

und einem Betriebssystem sowie einer Bedienoberfläche) sowie aus einer Komponente für die Vernetzung (Schnittstellen, Antennen, Protokolle und Netzwerke). Für die physische Komponente ist eine völlig neue Technologieinfrastruktur erforderlich, führen Porter und Heppelmann aus. Dazu gehört ein sogenannter Technology-Stack. Dieser ermöglicht den Datenaustausch zwischen dem Produkt und dem Nutzer und integriert Daten von Unternehmenssystemen, externen Quellen sowie anderen verwandten Produkten (vgl. Porter/Heppelmann, 2015, S. 4–5). Lentes und Dangelmaier führen aus, dass für die Verknüpfung von verschiedenen Fachbereichen über eine gemeinsame Datenbasis der Entwicklung und Planung auch Technologie- und Wissensdatenbanken zum Einsatz kommen. Darüber hinaus können Informationen über mögliche Fertigungsprozesse und über vorhandene Technologien, Maschinen und Anlagen in der Produktentwicklung zur Verfügung stehen. Ein wesentlicher Faktor für das intelligente Produkt ist die Verwaltung der produktbezogenen Daten im Sinne eines PDM (Produktdatenmanagements) / (vgl. Lentes / Dangelmaier, 2013, S. 94). Diese Daten müssen für alle an der Wertschöpfungskette beteiligten Stellen zugänglich sein. Auch können Daten über die Nutzung des Produkts zurück an den Hersteller fliessen und zusätzlich mit anderen Daten kombiniert werden. Huber erwähnt den Ansatz des D3 (Data Driven Development): Dabei werden die während der Produktentwicklung gewonnenen Daten für die weitere Produktentwicklung sinnvoll genutzt. Auch können die bei Tests gesammelten Daten mittels Big-Data-Analyse Rückschlüsse auf den tatsächlichen Reifegrad der Produktentwicklung ermöglichen (vgl. Huber, 2018, S. 82).

Bezüglich der intelligenten Komponente stellen Porter und Heppelmann fest, dass die Entwicklung von intelligenten Produkten heutzutage sehr softwaregetrieben ist, die Eigenschaften von Produkten sich also durch Software definieren, anpassen und stetig weiterentwickeln lassen. Tatsache ist, dass Software heute ein wesentlicher Bestandteil vieler Industrieprodukte ist (vgl. Porter/Heppelmann, 2015, S. 6). Auch Lentes und Dangelmaier heben den im steigenden Masse enthaltenen softwarebasierten Anteil bei den vom Markt geforderten, individualisierten Produkten hervor. Ein wesentlicher Ansatz zur Verkürzung der Entwicklungszeit und zur Beschleunigung der Reife des Produkts ist der Einsatz softwarebasierter Werkzeuge (vgl. Lentes / Dangelmaier, 2013, S. 93). Somit sind diese Produkte nicht mehr starren Entwicklungszyklen unterlegen, sondern können jederzeit und oft auch ferngesteuert durch neue Funktionen angereichert werden. Wenn die intelligenten Produkte sogar mit einer Cloud-Applikation verbunden sind, können Kunden auch nach der Auslieferung der Produkte neue Applikation hinzufügen (vgl. Porter / Heppelmann, 2015, S. 4–5).

Darüber hinaus sind die Vernetzungskomponenten, also die Intergration der intelligenten Produkte in die digitale Produktion, zu beachten. Prozesse sollen beschleunigt, qualitativ verbessert und kostengünstiger gestaltet werden. Dies mit dem Ergebnis, die Produkte hinsichtlich Zeit – Qualität – Kosten zu optimieren. Lentes und Dangelmaier sehen das digitale Produkt als Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk digitaler Modelle, Methoden und Werkzeuge. Sie sagen, das Ziel sei, unter der Berücksichtigung der Produktion eine ganzheitliche Entwicklung, die Absicherung und die Optimierung sowie laufende Verbesserung aller Aspekte von Produkten sicherzustellen (vgl. Lentes / Dangelmaier, 2013, S. 95). Ein nach der Meinung des Autors entscheidender Faktor bei der Betrachtung der immer kürzer werdenden «Time to market».

Auch Porter und Heppelmann sehen die unternehmensweiten Auswirkungen der intelligenten Produkte auf jede Aktivität in der betrieblichen Wertschöpfungskette. Nach ihnen transformieren die Produkte die Wertkette, von der Entwicklung über die Fertigung bis hin zur Logistik oder dem Vertrieb und dem Service. Die Verlagerung der Arbeit entlang der Wertschöpfungskette führt auch zu organisatorischen Veränderungen. Dies bricht die klassische Organisationstruktur in Unternehmen auf und erfordert eine bereichsübergreifende, dauerhafte Koordination. Eine Aussage von Porter und Heppelmann ist aus Sicht des Autors dabei zentral: Viele der organisatorischen Veränderungen, die intelligente und vernetzte Produkte in der Fertigungsindustrie zum Ziel haben, haben in der Softwarebranche bereits stattgefunden. Also müssen traditionelle Produktionsunternehmen interne Softwarekompetenzen aufbauen. Porter und Heppelmann geben fünf Gruppen von organisatorischen Lehren an, die von der Softwarebranche her stammen: kürzere Entwicklungszeiten, Product-as-a-Service (PaaS)-Modelle, den Fokus auf den Erfolg der Kunden legen, Produkte als Teil grösserer Systeme sehen und Analytik als Wettbewerbsvorteil betrachten (vgl. Porter / Heppelmann, 2015, S. 6–17). Auch Lentes und Dangelmaier machen dazu eine klare Aussage bezüglich der organisatorischen Aspekte. Eine wesentliche Grundlage eines digitalen Produkts, das zu Erhalt und Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens beitragen soll, ist nach ihnen dessen organisatorische Komponente. Dies äussert sich in der Ausprägung zur Prozessorientierung, weg von der Funktionsorientierung. Durchgängige Prozesse über die Grenzen der beteiligten Organisationseinheiten hinweg und eine Kooperation über alle Bereiche hinweg seien wichtige Aspekte für die Steigerung der Kundenorientierung und der Produktqualität (vgl. Lentes / Dangelmaier, 2013, S. 102). Huber stützt diese Aussage und sieht noch weitere Vorteile wie den Einbezug von Kundenfeedbacks, die geringen Kosten, den schnelleren Markteintritt sowie die Möglichkeit, nicht funktionierende Ideen schnell zu verwerfen oder abzubrechen. Durch Open Innovation und Open Development entstehen neue Möglichkeiten, sich als Unternehmen zu öffnen und kreative und neuartige Ideen zu generieren. Huber erwähnt auch die agilen Methoden. Dabei erfolgt die Entwicklung in kleinen Schritten, die Markteinführung mit dem MVP (Minimum Viable Product) / (vgl. Huber, 2018, S. 81).

Rund um ein intelligentes Produkt lässt sich ein neues Öko-System aufbauen. Mittels Plattformen und cloudbasierten Ansätzen können Unternehmen gemeinsam mit Partnern ihre intelligenten Produkte mit neuen Funktionalitäten anreichern und das Kundenerlebnis – und somit auch die Kundenbindung – ständig verbessern (vgl. Huber, 2018, S. 83). Noch weitergedacht sieht Scheer zwei Bereiche als Basis für die Entwicklung neuer Geschäftsmodelle ausgehend von intelligenten Produkten: Zum einen können über die gesamte Lebenszeit eines Produktes alle Aktivitäten (Reparaturen, Wartungen, Ersatzteilaustausch) sowie Einsatzbedingungen automatisch erfasst und gespeichert werden; durch die Analyse der Daten erschliessen sich für den Hersteller neue Möglichkeiten für produktnahe Dienstleistungen. Zum andern kann ein Maschinenbauer die Daten all seiner ausgelieferten Maschinen bei den Endkunden erfassen und kennt so das Verhalten der Maschinen. Da er seine komplexen Maschinen und Anlagen am besten kennt, kann er ausserdem seinen Kunden über die Standard-Wartungsverträge hinaus neue Dienstleistungen im Bereich der Wartungsprozesse anbieten. Eine Weiterentwicklung dieses Ansatzes ist nach Scheer, dass der Maschinenbauer den Betrieb der produzierenden Maschinen beim Endkunden übernimmt. Diese Vorgehensweise wird als BOO (Build, Own, Operate)

bezeichnet. Der Maschinenbauer hat somit über die transparenten PLM-Daten alle notwendigen Informationen zur Verfügung, um den Betrieb sowie die Optimierung der Maschinen und Anlagen permanent zu garantieren (vgl. Scheer, 2015, S. 40–41).

2.3.4. Qualitätsmanagement

Willmann sieht ein durchgängiges Qualitätsmanagement als Voraussetzung für die Umsetzung von Industrie 4.0. Die Nachfrage nach individuellen Produkten zu geringen Kosten bei nach wie vor hoher Qualität und kürzeren Lieferzeiten erfordert eine nahtlose Kommunikation zwischen den Produktionsanlagen und dem MES. Als entscheidenden Faktor sieht Willmann aber die erzielte Produktqualität, die jederzeit garantiert bleiben muss – insbesondere bei der Anlagenumrüstung oder beim Anlaufen neuer Anlagen. So zeigt Willmann die Vorzüge von ACT (Automation Conformance Testing) aus der Anwendung in der Halbleiterindustrie. Diese Konformitätsprüfung der Produktionsanlagen und Messsysteme ermöglicht eine reibungslose Integration in die Produktion. Dadurch wird die Umrüstung von bestehenden Anlagen oder der Anlauf von Neuanlagen und deren Integration in ein durchgängiges Qualitätsmanagementsystem so effizient wie möglich gestaltet (vgl. Willmann, 2016, S. 137–147).

2.3.5. Cybersecurity und IT-Sicherheitsmassnahmen

Bei der ganzen Diskussion um die Vernetzung, Transparenz und der Verfügbarkeit von Daten erhält das Thema Cybersecurity eine zentrale Bedeutung. Cybersecurity ist die Basis für eine erfolgreiche Digitalisierung und für Innovation, auch in der Industrie. Nach Eckert und Waidner findet Innovation heute sehr stark im Bereich der Software statt. Jeder neue Trend – wie das Internet der Dinge, Industrie 4.0, Big Data, Blockchain, KI oder maschinelles Lernen – intensiviert das Zusammenspiel von Informationen, Diensten und Endgeräten. Eckert und Waidner sehen darin eine wachsende Bedrohung. Werden bei Industriesteuerungsanlagen IT-Schwachstellen gefunden, ergeben sich daraus oft eine grosse Menge von Angriffsstellen, weil dieselben Produkte bei vielen Endanwendern im Einsatz sind. Deshalb ist es wichtig, dass Cybersecurity über den ganzen Produktlebenszyklus eingehalten wird. Nur wenn die Cybersecurity bereits in der Entwurfsphase und bei der Entwicklung und Integration von Produkten, Diensten und Prozessen berücksichtigt wird, ist dies zielführend. Ansonsten werden die Produkte oder Dienste zu teuer oder sie sind zu wenig sicher. Cybersecurity muss auf allen Ebenen erfolgen, auf Ebene Mensch, Applikation, Internet-Infrastruktur, Mobile Security, Hardware- und Embedded Sicherheit, IoT-Sicherheit, Sicherheitsmonitoring und auch auf Ebene Software-Sicherheit und Daten-Souveränität (vgl. Eckert/Waidner, 2018, S. 275–284).

Die Smart Factory hat über ihre ganze Wertschöpfungskette enorm viele Schnittstellen. Daraus ergeben sich neue Herausforderungen für die IT, so das BMWI. Eine wesentliche Veränderung durch Industrie 4.0 ist die Entstehung von dynamischen, echtzeitoptimierten und sich selbst organisierenden, unternehmensübergreifenden sogenannten Ad-hoc-Wertschöpfungsnetzwerken. Die Verteilung des Wertschöpfungsprozesses auf verschiedene Akteure führt zu neuen Herausforderungen hinsichtlich IT-Sicherheit und bedingt neue IT-Sicherheitsmanagementprozesse, die insbesondere über die Unternehmensgrenzen hinweg etabliert

werden müssen. Neue Bedrohungsanalysen und Vertrauensbeziehungen werden notwendig (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016a, S. 19–20). Das BMWI hat dazu in einer Studie rechtliche, organisatorische und technische Handlungsvorschläge für Unternehmen erarbeitet. Eines der Ziele ist, die Grenzen und Regeln hinsichtlich IT-Security zu definieren. So ist ein Empfehlungskatalog für die Politik, den Gesetzgeber sowie den Mittelstand entstanden. Eine interdisziplinäre Betrachtung ist nötig, um Industrie 4.0 überhaupt in der Praxis anwenden zu können. Denn sonst würden Unternehmen aufgrund der rechtlichen Unsicherheiten und Risiken von Beginn an auf den Einsatz von Industrie 4.0 verzichten, so die Ausführungen des BMWI (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016a, S. 21).
Eine umfangreiche und sinnvolle Kosten-Nutzen-Analyse für IT-Sicherheitsmassnahmen lässt sich kaum realisieren. Die Materie ist zu komplex, und es gibt zu viele Akteure auf verschiedenen Ebenen, fasst das BMWI zusammen. Vielmehr sind Instrumente der Risikoanalyse und des Risikomanagements und der daraus folgenden Auswahl an IT-Sicherheitsmassnahmen zu empfehlen. Zudem sind vor allem Personal- und Sachkosten wichtige Aspekte zur Umsetzung von Sicherheitsmassnahmen. Das BMWI erwähnt die ROSI (Return on Security Investment)-Methode, aufbauend auf der klassisch-betriebswirtschaftlichen ROI (Return on Investment)-Berechnung, als guten Ansatz für die Risikoanalyse. Ein weiterer, pragmatischer Ansatz ist die Orientierung an Best-Practice-Ansätzen. Als Massnahmen zur Verbesserung der wirtschaftlichen Transparenz von IT-Sicherheitsmassnahmen kommen in Frage: die Ergänzung der Risikoanalyse um die Betrachtung der Aufwendungen, die über die reinen Investitionskosten für Hard- und Software hinausgehen sowie die Weiterentwicklung der Methoden und Tools zur Nutzenbewertung von Szenariotechniken oder von multikriteriellen Bewertungssystemen. Hier sieht das BMWI noch Forschungsbedarf für die Weiterentwicklung entsprechender Methoden (vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016a, S. 225–227). Eine detaillierte Übersicht mit Mindestanforderungen und Handlungsempfehlungen für KMU findet sich auch im Leitfaden Industrie 4.0 Security des VDMA (vgl. VDMA/Fraunhofer Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit (AISEC)/accessec GmbH, 2018, S. 38–41).

2.3.6. Reifegrad der Technologien

Eine wichtige Rolle beim Einsatz der Technologien spielt deren Reifegrad, d.h. in welchem Entwicklungsstadium sie sich befinden, was sich dann in der Praxistauglichkeit äussert (vgl. Huber, 2018, S. 7).
Panetta beschreibt in seinem «Hype-Cycle Report for emerging Technologies» die sieben wichtigen Industrie 4.0-Technologien: IoT, Big Data, AR, M2M (Machine-to-Machine) Communication Services, Cloud-Computing, VR und Enterprise 3-D Printing. Hierbei ist anzumerken, dass einige Technologien, welche für die Umsetzung von Industrie 4.0 notwendig sind, innerhalb der nächsten Jahre sich auf der Stufe der «Produktivität» befinden. Andere werden erst einige Jahre später die produktive Phase erreichen (vgl. Panetta, online, 2018). Die Abbildung 3 zeigt den «Hype-Cycle» mit den Technologien und ihrem Reifegrad.

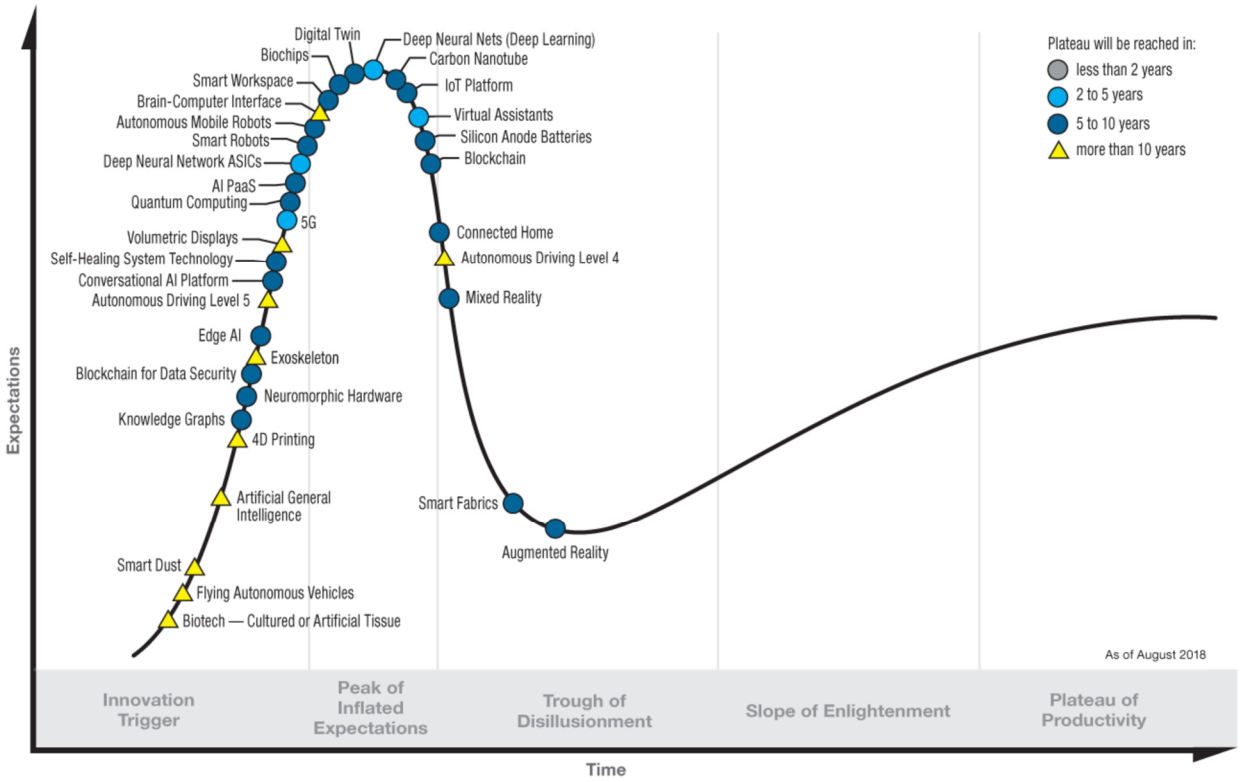

Abbildung 3: Hype Cycle for Emerging Technologies
(Darstellung übernommen aus Panetta, 2018 [online])

2.3.7. Technologie im Kontext des Werkplatzes Schweiz

Die SATW (Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften) stellt die Frage, ob die Schweizer Industrie ausreichend über neue Technologien informiert ist, und ob sich dies auch in der Innovationskraft niederschlägt. Sie hat den Auftrag, die Früherkennung von möglichen disruptiven Technologien sicherzustellen, die für die Schweizer Wirtschaft und Gesellschaft in den nächsten drei bis fünf Jahren von Bedeutung sein könnten. Dabei wird auch der Reifegrad der jeweiligen Technologie berücksichtigt. Die Zuweisung erfolgt zu einem von vier Quadranten – «Stars», «Selbstläufer», «Nischen» oder «Hoffnungsträger» –, die nach der volkswirtschaftlichen Bedeutung sowie der Kompetenz in der Schweiz bewertet werden. Die volkswirtschaftliche Bedeutung wird mit dem aktuellen Umsatz sowie dem künftigen Umsatzpotenzial aus Produkten und Dienstleistungen bewertet, die Kompetenz aufgrund der Anzahl der industriellen Forschungsgruppen.

«Stars»: Die Kompetenzen sind hoch, die Bedeutung gross. Sie generieren hohe Umsätze, schaffen Arbeitsplätze und bilden somit eine gute Basis für eine positive Weiterentwicklung. Diese Technologien sollten gestärkt, ihre Chancen für neue Geschäftsfelder genutzt werden.

«Selbstläufer»: Die Kompetenzen sind tief, die Bedeutung jedoch ist gross. Sie sind ein Glücksfall. Es sind bereits reife, gut etablierte Technologien, deren Entwicklung ständig beobachtet werden sollte. Grundlagen- und angewandte Forschung könnten sich auch in Zukunft auszahlen.

«Nischen»: Die Kompetenzen sind hoch, die Bedeutung jedoch eher gering. Investition in diese Technologien sollten kritisch hinterfragt werden.

«Hoffnungsträger»: Die Kompetenz und auch die Bedeutung dieser Technologien sind noch gering. Der Markt ist (noch) nicht reif, und das Zukunftspotenzial noch ungewiss. Die Förderung dieser Technologien durch die Vernetzung von akademischen und industriellen Partnern sowie den Aufbau von Austauschplattformen sind sinnvoll (vgl. Ballif *u. a.*, 2019, S. 7–10).
Die Zuordnung für die relevanten Industrie 4.0-Technologien ergibt sich wie folgt (vgl. Ballif *u. a.*, 2019, S. 20–55):
Technologische Stars: Analyse von Big Data und Drohnen
Technologischer Selbstläufer: Vernetzte Maschinen.
Technologische Nischen: lernende Maschinen und neuronale Netzwerke
Technologische Hoffnungsträger: Cybersecurity, AR, digitaler Zwilling, kollaborative Robotik, additive Fertigung und Oberflächenbearbeitung mit Laser
All diese Technologien sind aus Sicht des Autors relevant, da sich das Leuchtturmprojekt im Kontext des Schweizer Innovationsumfeldes bewegt.

2.4. Wertschöpfungspotenziale, Mehrwert und Nutzen von Industrie 4.0

In den klassischen Industriesparten finden sich viele ungenutzte Wertschöpfungspotenziale, sagen Schaeffer und Bertheau. Sie sehen eine enorme Chance für Industrieunternehmen, in verschiedenster Weise zu wachsen (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 21). Hinzu kommt das IIoT (Industrial Internet of Things), welches die Inputs aller beteiligter Stakeholder so kanalisiert, dass die Erwartungen, Anforderungen und Ansprüche während des gesamten Produktionszyklus eines Produkts strategische Relevanz erhalten. Der Einbezug der Stakeholder in ein gemeinsames, digitales Ökosystem ist gemäss Schaeffer und Bertheau deshalb Voraussetzung dafür, dass insbesondere die Marktchancen genutzt werden können. Dies stellt eine drastische Abkehr von der produktfokussierten Fertigung im klassischen Sinne dar, verspricht aber gute Ergebnisse und eine enorme Wertschöpfung. Als Weiterentwicklung dieser digitalen Ökosysteme werden hier Plattformen genannt, die sich in Anlehnung an bereits bestehende Plattformen in der IT-Branche, wie z.B. von Apple oder Google, auch in der Industrie etablieren werden. Somit kann gesagt werden, dass in Zukunft Produkte, Ökosysteme und Plattformen zusammenwachsen werden (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 25–26).
Bauer u. a. zeigen in ihrer Studie – wie im Abschnitt 2.3.1. beschrieben –, wie aus der Beseitigung von Ineffizienz ein ökonomischer Nutzen resultiert. Ausgehend davon haben Bauer u. a. den Digital Compass entwickelt, welcher Unternehmen dabei helfen soll, Optimierungsmöglichkeiten und Potenziale zu erkennen und zu priorisieren. Bauer u. a. haben aus Sicht des Autors einen sehr praxisbezogenen Ansatz gewählt und benennen im Unternehmen sogenannte Wertetreiber, deren Potenziale mittels prozentualen Zielmesswerten beschrieben werden. Diese Wertetreiber nach Bauer u. a. sind: «Ressourcen und Prozesse, Anlagen- und Maschinen, Arbeit, Lagerverwaltung, Qualitätsmanagement, Bedarfs- und Lieferungsverwaltung, Markteinführungszeit sowie Service» (Übersetzung d. Autors nach Bauer *u. a.*, 2015, S. 24)[2].

[2] Originaltext: «Resource/process, Asset utilization, Labor, Inventories, Quality, Supply/demand match, Time to market, Service/aftersales.»

Bauer u. a. leiten aus den Wertetreibern sogenannte «Industrie 4.0-Hebel» ab (vgl. Bauer *u. a.*, 2015, S. 24) – also Eigenschaften, die eine gewisse Hebelwirkung erzeugen und damit typischerweise Verbesserungen herbeiführen können. Abbildung 4 zeigt die acht Wertetreiber (innerer Ring) und die dazugehörigen «Industrie 4.0-Hebel» (äusserer Ring).

Abbildung 4: Wertetreiber und deren «Industrie 4.0 Hebel»
(Darstellung übernommen aus Bauer u. a., 2015, S. 24)

Nachfolgend werden die «Industrie 4.0-Hebel» zu den Wertetreibern aufgeführt (Übersetzung d. Autors nach Bauer *u. a.*, 2015, S. 24)[3]. Die Wertetreiber sowie die «Industrie 4.0-Hebel» werden im Abschnitt 4.1.1 in den Übersichtstabellen wiederverwendet.

Ressourcen und Prozesse

Die Hebel dazu sind: Intelligente Energieverwaltung, intelligente IoT-Vernetzung, Echtzeit Ertragsverwaltung.

[3] Originaltext: «Smart energy consumption, Intelligent IoTs, Real-time yield optimization, Routing flexibility, Machine flexibility, Remote monitoring control, Predictive maintenance, Augmented reality for MRO, Human-robot collaboration, Remote monitoring and control, Digital Performance management, Automation of knowledge work, In situ 3D printing, Real-time SC optimization, Batch size 1, Statistical process control (SPC), Advanced process control (SPC), Digital quality management, Data-driven demand prediction, Data-driven design to value, Customer cocreation/open innovation, Concurrent engineering, Rapid experimentation and simulation, Predictive maintenance, Remote maintenance, Virtually guided self-service.»

Anlagen- und Maschinenauslastung
Die Hebel dazu sind: flexibles Routing in der Produktion, flexible Maschinen, Fernzugriff und Fernsteuerung, vorausschauende Wartung, AR für Wartung und Instandhaltung MRO (Maintenance, Repair and Operations).
Arbeit
Die Hebel dazu sind: Mensch-Maschine-Kollaboration, Fernzugriff und Fernsteuerung, digitales Leistungsmanagement, automatisiertes Wissensmanagement.
Lagerverwaltung
Die Hebel dazu sind: Vor Ort 3D-Druck, Echtzeit-Lageroptimierung, Losgrösse 1.
Qualität
Die Hebel dazu sind: SPC (Statistical Process Control), APC (Advanced Process Control), digitales Qualitätsmanagement.
Bedarfs- und Lieferungsverwaltung
Die Hebel dazu sind: datengesteuerte Bedarfsvorhersage, datengesteuerte Produktentwicklung.
Markteinführungszeit
Die Hebel dazu sind: Open Innovation, Simultaneous Engineering, Protoyping- und Simulationsverfahren.
Service
Die Hebel dazu sind: vorausschauende Wartung, Ferndiagnose/Fernwartung, virtuelle und geführte Serviceabläufe.

2.4.1. Effizienz und Produktivität durch Industrie 4.0

Für Industrieunternehmen in Europa ist eine effiziente Leistungserstellung in Folge des hohen Kostendrucks notwendig. Viele Unternehmen – so Winkler, Seebacher und Oberegger – nutzen zur Darstellung der Effizienz in der Produktion Kennzahlen wie Produktivität, Durchsatz, Ausschussrate, Fehlzeiten und/oder die OEE (Overall Equipment Efficiency), die Gesamtanlageneffizienz. Winkler, Seebacher und Oberegger stellen aber auch fest, dass Ansätze für eine analytische und ganzheitliche Betrachtung der Effizienz in der Produktion bisher kaum eingesetzt werden. Damit die geforderte Flexibilität und Effizienz erreicht werden kann, sind sogenannte adaptive Assistenzsysteme eine Grundvoraussetzung. Mit dem Einsatz von MES (Manufacturing Execution System) lassen sich hohe Effizienzsteigerungen erzielen. Es besteht jedoch bei den heute im Rahmen des Effizienzmanagements eingesetzten MES ein erhebliches Defizit. Diese fokussieren sich sehr stark auf die Messung und Abbildung der anlagenwirtschaftlichen Effizienz. Bei der systemweiten Effizienzbewertung wird sowohl die anlagenwirtschaftliche als auch die produktionslogistische Effizienz ermittelt; diese zwei Grössen werden dann miteinander in Beziehung gesetzt. Für die Gesamtanlageneffizienz wird anschliessend eine Gewichtung der beiden vorgenommen.
Zudem ergeben sich spezielle Anforderungen hinsichtlich geeigneter Kennzahlen zur Identifikation von Effizienzverlusten in Produktionssystemen. Winkler, Seebacher und Oberegger weisen nämlich darauf hin, dass Forschungsbedarf zur Entwicklung eines funktionalen Konzepts für ein System besteht, das eine betriebliche und überbetriebliche Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit in Produktionssystemen ermöglicht. Hinzu kommt die Berücksich-

tigung der finanziellen Auswirkungen von überbetrieblichen Prozessanpassungen, damit eine fundierte Entscheidungshilfe bei der Gestaltung und Optimierung von Produktionssystemen möglich wird (vgl. Winkler/Seebacher/Oberegger, 2017, S. 219–242).
Gemäss der Fachliteratur ist eine Effizienzsteigerung durch geeignete Massnahmen möglich, und Studien belegen dies ganz klar. Geissbauer z. B. prognostiziert eine durchschnittliche Effizienzsteigerung aller Industrie-Branchen von zwölf Prozent über die nächsten fünf Jahre (vgl. Geissbauer *u. a.*, 2017, S. 16–18).
Die Produktivität ist eine der bedeutendsten Kennzahlen in der Betriebswirtschaft (vgl. Wildemann, 2018, S. 69). Dieser Faktor ist sowohl bei strategischen als auch bei den operativen Entscheidungen wichtig. Insbesondere der wettbewerbsübergreifende Produktivitätsvergleich ist ein wirksames Mittel zur Bewertung der Leistungsfähigkeit und zur Sicherstellung eines nachhaltigen Unternehmenserfolgs.

Zudem lassen sich durch den Einsatz von neuen Industrie 4.0-Technologien ungenutzte Potenziale zur Produktivitätssteigerung aufdecken und nutzen, ergänzt Wildemann. Ziel ist die kontinuierliche Steigerung der Produktivität, um die Produktstückkosten zu senken und die Verschwendung zu reduzieren. Ansätze aus dem Lean-Management haben in der Vergangenheit bereits zu erheblichen Produktivitätssteigerungen geführt (vgl. Wildemann, 2018, S. 69). Ein Bereich von Lean-Management ist das Lean-Manufacturing. Der Begriff ist nach wie vor aktuell und elementar für eine gute Prozessgestaltung (vgl. Bertagnolli, 2018). Das Lean-Management gilt als Basis für Industrie 4.0-Anwendungen. Ein bereits vorhandener Lean-Reifegrad, so die Einschätzung von Spath u. a., ist eine Voraussetzung dafür. Dabei werden die Bereiche standardisierter Prozesse und die Ausrichtung der betrieblichen Aktivitäten an der erzielbaren Wertschöpfung und an den zu erfüllenden Kundenbedarfen gemessen (vgl. Spath *u. a.*, 2017, S. 45).

Ein Konzept, welches zur umfassenden kontinuierlichen Optimierung der Produktionsprozesse und zur Instandhaltung über die gesamte Lebensdauer der Anlagen führt, ist das TPM (Total Productive Management) (vgl. Heller/Prasse, 2017, S. 3). Ein weiterer relevanter Umstand zeigen Abdi u. a. auf; sie weisen bei der Bewertung der Produktivität auf die Berücksichtigung der gesamten Wertschöpfungskette hin. Sie sprechen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 von einem neuen Produktions-Paradigma. Die Wertschöpfungskette ist nicht nur innerhalb der Produktion zu sehen, sondern erstreckt sich von den Lieferanten bis hin zu den Kunden. Unternehmen müssen somit neue Ansätze finden, um diesem Umstand Rechnung zu tragen (vgl. Abdi *u. a.*, 2018, S. 2–3).

Die Maschinenbau- und Elektrobranche erhofft sich, durch Industrie 4.0 eine Produktivitätssteigerung von bis zu acht Prozent zu erzielen (vgl. Wildemann, 2018, S. 9). Entscheidend für die Auslegung der Strategie zur Steigerung der Produktivität ist, dass die geplanten Massnahmen mit dem jeweiligen Reifegrad (s. Abschnitt 2.6.2.) des Unternehmens abgestimmt sein müssen. Ansonsten wird nicht die gewünschte Wirkung erzielt. Je nach Reifegrad ist die Wirkung unterschiedlich gross und variiert von Fall zu Fall. Konzepte, die sich bei den produzierenden Unternehmen positiv auf die Produktivität auswirken, sind: robotergestützte Fertigung, telemetrie basierte Fernwartung, vernetzte Produkte, digitalisierte Service- und Vertriebs-

plattform, Big-Data-basierte Absatzplanung (vgl. Wildemann, 2018, S. 14–15). Die Steigerung der Produktivität ist ein kontinuierlicher Prozess, der schrittweise geführt werden muss. Erst durch die Zusammenfassung der Massnahmen zu einem Gesamtkonzept entfaltet Industrie 4.0 seine volle Wirkung (vgl. Wildemann, 2018, S. 14–15).
Als wichtigste Kennzahl für die Messung der Produktivität sieht Wildemann die Betriebsmittelproduktivität. Unter Betriebsmittel fallen alle Einrichtungen und Anlagen, die der Betrieb zur Erfüllung seiner Aufgaben benötigt. Sie sind ein Nutzenpotenzial als Voraussetzung für die Leistungserstellung von Produktionsprozessen. Als quantitative Kennzahl mit hoher Aussagekraft hat sich die OEE durchgesetzt. Die OEE setzt sich aus drei Komponenten zusammen – dem Nutzungsgrad, dem Leistungsgrad und der Qualitätsrate – und gibt somit die reale Betriebsmittel- und Anlagenproduktivität in Prozent der theoretisch maximal erreichbaren Produktivität wieder. Die OEE kann mit überschaubarem Aufwand erhoben werden und eignet sich deshalb insbesondere für den Einsatz in KMU (vgl. Wildemann, 2018, S. 78–83). Eine Messung und Darstellung der OEE für die Demonstrationsanlage des Leuchtturmprojekts ist deshalb aus Sicht des Autors eine wichtige Voraussetzung.
Im Rahmen seiner Forschungsarbeit hat Wildemann ein IT-Tool «Produktivitätscheck Industrie 4.0» für die Messung der Produktivität entwickelt. Das hat den Anspruch, dem Anwender eine detaillierte Analyse über das Unternehmen zu liefern. Den Nutzen des Tools für Unternehmen sieht Wildemann in der einfachen und übersichtlichen Überführung der Forschungsergebnisse in die Praxis (vgl. Wildemann, 2018, S. 233–254).

2.4.2. Quantifizierung von Wertschöpfungspotenzialen

Die aus der Literatur ausgearbeiteten, möglichen Wertschöpfungspotenziale mit den dazugehörigen Werten werden in den Übersichtstabellen im Abschnitt 4.1.1. ab Seite 50 zusammengefasst. Ausgehend von verschiedenen Quellen in der Literatur, ergibt sich eine Vielzahl von Wertschöpfungspotenzialen (vgl. Bauer *u. a.*, 2015, S. 24–25) / (vgl. Wildemann, 2018, S. 18) / (vgl. Bracht/Spillner, 2009, S. 648–653).

2.4.3. Mehrwert von Industrie 4.0 für die Smart Factory

Ausgehend vom Nutzen wird im Folgenden verstärkt auf den Mehrwert, der durch die Ansätze der Smart Factory entstehen kann, eingegangen. Der grösste Nutzen von Industrie 4.0 liegt in hochflexiblen und wandlungsfähigen Wertschöpfungssystemen. Eine intelligente Fertigung ermöglicht eine entscheidende Kostenreduktion im Bereich der individualisierten Produktion. Bracht, Geckler und Wenzel unterteilen den Nutzen in drei Aspekte: den Nutzen für die Planung, für die Anfertigung und Inbetriebnahme der Ressourcen und für den Betrieb. Der übergeordnete Nutzen für das Unternehmen ist die schnellere Produkteinführung und eine verbesserte Produktqualität. Zur Verkürzung der Produkteinführungszeit streichen sie insbesondere die Methode des «Simultaneous Engineering» heraus, mit einer zeitlich parallelen Entwicklung eines Produktes und der dafür benötigten Produktionsanlage (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 52–59).
Als Hauptnutzen des Smart Factory-Ansatzes sieht Lucke eine effizientere Informationsbereitstellung und eine grössere Ressourcennutzung durch eine verbesserte Kommunikation. Er

spricht vom sogenannten Umgebungsmodell, welches den Informationsrückgrat für die kontextbezogenen Systeme der Smart Factory bildet (vgl. Lucke, 2013, S. 257). Bei der konsequenten Umsetzung des Umgebungsmodells wird eine einheitliche Fabrikstruktur erzielt und die Informationstransparenz gefördert. Darauf aufbauend findet eine kontinuierliche Überwachung und Verbesserung der Informationsqualität statt. Korrekte und aktuelle Informationen ermöglichen den Entscheidungsträgern jederzeit und dynamisch, zum Beispiel bei einem Maschinenausfall, zu reagieren. Auch die Ergonomie von Prozessen wird durch die kontextbezogen dargestellten Informationen erhöht. Weiter kann durch die Synchronisation von Informationen zwischen dem realen Fabrikbetrieb und der digitalen Planung ein positiver Effekt erzielt werden. Kontextbezogene Informationen seien auch für Planer sehr relevant, denn damit kann die Planung ebenfalls beschleunigt und die Planungsqualität verbessert werden. Und es lassen sich kostenwirksame Planungsfehler reduzieren (vgl. Lucke, 2013, S. 260–261).
Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Smart Factory Ansatz insgesamt einen dynamischen Aufbau eines Produktionsnetzwerks ermöglicht, welches sich permanent an neue Einflüsse, wie Störungen und sich ändernde Vorgaben, anpassen kann. Dies deckt sich mit den beschriebenen Merkmalen einer Smart Factory von Westkämper (vgl. Westkämper, 2013, S. 15); es unterstreicht nochmals die aus Sicht des Autors wichtigste Eigenschaft: die Wandlungsfähigkeit.

2.4.4. Mehrwert durch CPS

Durch die vernetzten, intelligenten Maschinen und Produkten mit übergreifenden Produktionsplanungs-, Energiemanagement- oder Lagersystemen würden sich erhebliche Qualitäts-, Optimierungs- und Effizienzsteigerungen ergeben, so Geisberger und Broy. Diese Steigerungen resultieren besonders aus flexiblen Anpassungen der Produktion an die Kundenprozesse (vgl. Geisberger/Broy, 2012, S. 24).
Auch die Anlagenbetreiber – sowohl in der diskreten wie auch in der kontinuierlichen Produktion – profitieren davon. Sie steigern die Interoperabilität mit dem Ziel, Anlagen und deren Komponenten schneller in die Produktionssysteme integrieren zu können. Geisberger und Broy führen weiter aus, dass die Anlagenbetreiber durch den Einsatz von CPS die Austauschbarkeit der Betriebsmittel erhöhen und somit ihre Abhängigkeit von Anlagen- und Komponentenherstellern reduzieren können. Beide erwähnten Massnahmen führen zu einer Kostenreduktion. Ein weiterer zentraler Aspekt ist das Potenzial, das in der eingebetteten Software der CPS liegt. Die CPS können zentral administriert, die in der Produktion benötigten Funktionen über das Unternehmensnetzwerk eingespeichert werden. Gerade in Bezug auf die mittleren und oberen Qualitäts- und Preissegmente sehen Geisberger und Broy neue Chancen, die durch CPS für die Hersteller entstehen. So benennen sie folgende Elemente, mit denen sich zusätzliche Dienstleistungen und damit ein wettbewerbsrelevanter Mehrwert ergeben:
Energiedatenüberwachung und Energiedatenmanagement, vorbeugende Instandhaltung, Lebenszyklus-Kostenrechnung LCC (Life-Cycle-Costing), kundenorientierte Anlagenkonfigurationen für spezifische Anwendungsfälle, weltweite Betreuung der Anlagen rund um die Uhr (vgl. Geisberger/Broy, 2012, S. 24).

Schuh u. a. sehen durch den Einsatz von CPS eine Steigerung der Kollaborationsproduktivität zwischen der Produktionssteuerung und den IT-Systemen. Diese Steigerung resultiert aus der Verbesserung der Produktionssteuerung und der intelligenten Verarbeitung von Informationen, die in Echtzeit zur Verfügung stehen. Damit können Unternehmen der steigenden Marktdynamik und den wachsenden Kundenanforderungen gerecht werden (vgl. Schuh *u. a.*, 2014). Diese Aussagen bestätigen Geisberger u. a. und fügen als Mehrwert noch die ressourceneffiziente Produktion und die bedarfsgerechte Anpassung an die menschliche Arbeitskraft hinzu (vgl. Geisberger *u. a.*, 2011, S. 23)

2.4.5. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung individualisierter Produkte

Nach Porter besteht das Paradigma der Unvereinbarkeit von Differenzierung und Kostenführerschaft. Demnach muss also ein Unternehmen das eine oder andere priorisieren (vgl. Porter, 1985). Je grösser der Differenzierungsvorteil durch individualisierte Produkte ist, desto höhere Entwicklungs- und Herstellungskosten entstehen dadurch, geben Reichwald u. a. an (vgl. Reichwald *u. a.*, 2006, S. 166). Sie erwähnen, dass oftmals ein klassischer Zielkonflikt zwischen steigender Qualität und geringen Kosten resultiert. Piller zeigt in seiner Theorie aber auf, dass es mit der sogenannten «Mass Customization» eine hybride Wettbewerbsstrategie gibt, welche die Alternativhypothese von Porter überwindet. Er führt die Vorteilhaftigkeit dieser kundenindividuellen Massenproduktion auf und sieht darin ein wettbewerbsstrategisches Konzept. Bei diesem Konzept steht an erster Stelle der Wertkette die Erhebung der Kundenwünsche. Dabei müssen die durch die Individualisierung erzielbaren Mehrerlöse die Mehrkosten, die durch die gestiegene Komplexität der variantenreichen Fertigung resultieren, übersteigen, so Piller. Hinzu kommen mögliche Kostensenkungspotenziale einer individuellen Produktherstellung. Er führt dazu die Logik der «Mass Customization» auf. Ein Differenzierungsvorteil kann durch Individualität gewonnen werden, zu Preisen, die von Kunden akzeptiert werden, die sich bisher mit Serienprodukten zufrieden geben mussten (vgl. Piller, 2003, S. 183–266). Die zusätzlichen potenziellen Erträge müssen den auf Grund der Individualisierung steigenden Kosten gegenübergestellt werden. Zusätzliche Kosten entstehen durch die Investition in Flexible Wertschöpfungssysteme, den Informations- und Kommunikationsaufwand sowie bei der Reduktion der Komplexität. Erfolgskritisch sind vor allem die zusätzlichen Kosten der Interaktion mit den Kunden. Diesen muss man daher grosse Aufmerksamkeit schenken. Es ergeben sich aber auch Möglichkeiten zur Kostensenkung, führen Reichwald u. a. aus, und erwähnen die “Economies of Modularity, - of Decoupling, - of Integration, - of Relationship”. Unter diesen Bedingungen entsprechen die Gesamtkosten der individualisierten Produkte annähernd denen der Serienproduktion, wobei bei der Serienproduktion noch der Skaleneffekt berücksichtigt werden muss. Das Konzept der individualisierten Produkte ist aber nicht ein produktionstechnisches Konzept für die Produktivitätssteigerung und die Kostensenkung; vielmehr wird damit auf die Veränderung des Absatzmarktes reagiert. So sind bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit individualisierter Produkte alle Wertschöpfungsbereiche miteinzubeziehen. Für eine quantitative Beurteilung der Wirtschaftlichkeit müssen somit alle oben aufgezeigten Faktoren einzeln bewertet und dann einander gegenüber gestellt werden (vgl. Reichwald *u. a.*, 2006, S. 165–177).

2.5. Erfolgsfaktoren und Wettbewerbsvorteile

In Zukunft wird die Kundenorientierung eines der wichtigsten Elemente sein; darüber sind sich die Experten in einer deutschen Studie einig. Somit wird der Kundennutzen bis im Jahre 2020 die Qualität – als bisher einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren – abgelöst haben (vgl. MÜNCHNER KREIS e.V., 2015, S. 14). Dazu spricht Manzei von einem bereits bewährten Managementsystem «Service Excellence», welches Unternehmen dabei unterstützt, Kunden mit den eigenen (Dienst-) Leistungen zu begeistern (vgl. Manzei, 2017, S. 281–282).
Wildemann ist überzeugt, dass die Produktivitätssteigerung, insbesondere bei Routinearbeiten zu einer Umschichtung der Arbeitsplätze führen wird. Er betont jedoch, dass dies nur ein Teilaspekt ist, der einer gesteigerten Wettbewerbsfähigkeit gegenübergestellt werden muss. Viele Unternehmen, die einen Kostennachteil haben, können mit dem Einsatz von Robotern zu ähnlichen Preisen produzieren wie die Konkurrenz aus China. Zudem wird die Wettbewerbsfähigkeit durch die geografische Nähe zu den Absatzmärkten und der besseren Infra- und Zulieferstruktur in Mitteleuropa, nachhaltig gestärkt. Die Industrie 4.0 wird somit massgeblich zur Beschäftigungssicherung beitragen (vgl. Wildemann, 2018, S. 9–10).
Lentes und Dangelmaier sehen bei der Einführung und Anwendung des digitalen Produkts eine ganze Reihe von Erfolgsfaktoren aus den Perspektiven Mensch, Organisation und Technik. Erst einmal zeichnen sich verschiedene Aspekte der Integration (System-Integration, Daten-Integration, bauliche/räumliche-Integration, Struktur-Integration, Prozess-Integration, Wissens-Integration) ab. Weiter sind die Kosten- und Nutzenbetrachtung und die Personalkapazität als wichtige Erfolgsfaktoren zu berücksichtigen (vgl. Lentes / Dangelmaier, 2013, S. 104).

2.5.1. Die Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft als Erfolgsfaktor

Gemäss der Swissmem-Umfrage bestehen weiterhin Hindernisse in der Umsetzung, z.B. aufgrund der knappen personellen und finanziellen Ressourcen sowie des zusätzlichen Aufwandes, welcher durch die digitale Transformation entsteht (vgl. Swissmem, 2018b, S. 14–20).
Was sich deshalb in der Praxis bereits als sehr erfolgreich erwiesen hat, so Abele und Reinhart, ist die Notwendigkeit der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Wissenschaft sowie die Bildung von Partnerschaften. So gilt es als nachgewiesen, dass die zunehmende Bedeutung disziplinübergreifender Kooperationen und die Zusammenarbeit von Unternehmen und Forschungsinstituten entscheidend ist, um exzellente praxisnahe Forschungsziele zu erreichen, führen Abele und Reinhart aus. Ihrer Meinung nach können die Industrieunternehmen die durch die Forschung gewonnenen Erkenntnisse mit ihren Erfahrungen durch die Nähe zum Markt anreichern und erweitern. Durch die Kooperation beider Institutionen wird eine fruchtbare Innovationskultur geschaffen, die allen Beteiligten Nutzen bringt. Als Fazit unterstreichen Abele und Reinhart, dass die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Forschungsinstituten und Industrie zu innovativen Lösungen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen führt (vgl. Abele/Reinhart, 2011, S. 219–220).

2.5.2. Der Mensch als Erfolgsfaktor in der Smart Factory

Die Felder «Arbeit» und «Organisation» sind Rahmenbedingungen für die Smart Factory. Es besteht heute weitgehend Einigkeit darüber, dass die Potenziale einer Industrie 4.0 erst durch

eine partnerschaftliche Kooperation zwischen Mensch und Technik voll ausgeschöpft werden können (vgl. Bauer *u. a.*, 2018, S. 181). Die Mitarbeiter werden als Erfahrungs- und Entscheidungsträger ganz bewusst in alle relevanten Abläufe einer Smart Factory einbezogen. Ein sehr wichtiger Aspekt ist daher die Sicherheit, insbesondere die Personensicherheit in der Produktion. Sicherheitsaspekte (Safety und Security), besagt eine Studie (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013), müssen schon beim Design intelligenter Produktionsanlagen berücksichtigt werden. Weiter müssen die Fähigkeiten des Menschen noch besser genutzt werden, sind sich die Experten einig. Maschinen sind oft statisch, während der Mensch flexibel ist und die Fähigkeit hat, in kürzester Zeit eine Fülle an Aufgaben zu beherrschen. Dies gilt es in sogenannten hybriden Systemen zusammenzuführen. Entscheidend dabei ist, dass diese Systeme, in denen sich menschliche Fähigkeiten und Automatisierung ergänzen, richtig unterstützt werden (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013, S. 54).
Ein weiterer, wichtiger Aspekt, damit der Mensch erfolgreich in der Produktion der Zukunft eingesetzt werden kann, ist die Ergonomie am Arbeitsplatz. Durch den demographischen Wandel und dessen Folgen steigt auch die Bedeutung der Wechselwirkung zwischen Mensch und Betriebseinrichtungen. Damit soll das Wohlbefinden des Menschen und somit die Leistung des Gesamtsystems gesteigert werden (vgl. Brombach/Leisgang, 2017, S. 215).
Durch den Einsatz digitaler Technologien bilden sich neue Formen sozio-technischer Arbeitssysteme. Die Mensch-Technik-Interaktion, die Flexibilisierung der Arbeit sowie die notwendigen Kompetenzen und Qualifizierungsbedarfe sind zukünftig in der Arbeitsgestaltung zu berücksichtigen. Bezüglich der Gestaltung von Arbeitsplätzen sind vor allem die Vernetzung, Kontextsensitivität, Assistenz und Intuitivität zu nennen (vgl. Bauer *u. a.*, 2018, S. 183). Auf die einzelnen Aspekte wird hier nicht weiter eingegangen. Eine vollumfängliche Demonstrationsanlage zum Thema Industriearbeit der Zukunft bietet das Future-Work-Lab am Frauenhofer Institut in Stuttgart (vgl. IAO, online, 2019).

2.5.3. Wettbewerbsvorteile durch Beherrschung der Technologien

Um die Wettbewerbsvorteile, die durch Technologien entstehen, aufzeigen zu können, machen sich Taphorn u. a. die Unterteilung in drei Gruppen zunutze. Es sind dies: Basistechnologien, Schlüsseltechnologien und Schrittmachertechnologien (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 25).
Die Basistechnologien, deren Marktpotenzial bereits ausgeschöpft ist, seien sozusagen der Standard, wobei sie nur geringe Möglichkeiten bieten, sich durch Alleinstellungsmerkmale zu behaupten.
Grosses Potenzial bezüglich der Marktwirkung und/oder der Realisierung neuer Geschäftsmodelle haben hingegen die Schlüssel- und die Schrittmachertechnologien. Schlüsseltechnologien seien Technologien, die sich auf dem Markt durchgesetzt haben und einen festen Bestandteil des Technologiespektrums einer Branche darstellen. Diese sind jedoch nicht allen Wettbewerbern zugänglich. Deren Beherrschung, zeigen sich Taphorn u. a. überzeugt, beeinflusst demnach stark die Wettbewerbschancen eines Unternehmens (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 26).
Schrittmachertechnologien sind gemäss Taphron u. a. noch in der Entstehungsphase. Für Unternehmen, die diese beherrschen, bergen sie ein hohes wirtschaftliches Potenzial. Es gilt,

diese in die Kategorie der Schlüsseltechnologien zu überführen, wodurch die technologischen Hindernisse geringer werden. Die Abbildung 5 zeigt das Verhältnis zwischen der Beherrschung der Technologien und der Wettbewerbsfähigkeit in Abhängigkeit zu den Technologie-Kategorien. Entscheidend für die Wettbewerbsvorteile ist die Kombination aus technologischer Reife und wirtschaftlichem Potenzial, die es für Unternehmen bei der Implementierung ihrer Strategie zu bewerten gilt. So sind Taphorn u. a. überzeugt, dass der Erfolg der Industrie 4.0 zur Stärkung des Industriestandorts Deutschland davon abhängt, ob es den Unternehmen gelingt, durch Beherrschung der Schlüsseltechnologien einen Wettbewerbsvorteil im globalen Wettbewerb zu erlangen (vgl. Taphorn *u. a.*, 2015, S. 25–26). Der Autor der vorliegenden Arbeit ist der Meinung, dass sich diese Aussage auch auf die Schweiz übertragen lässt.

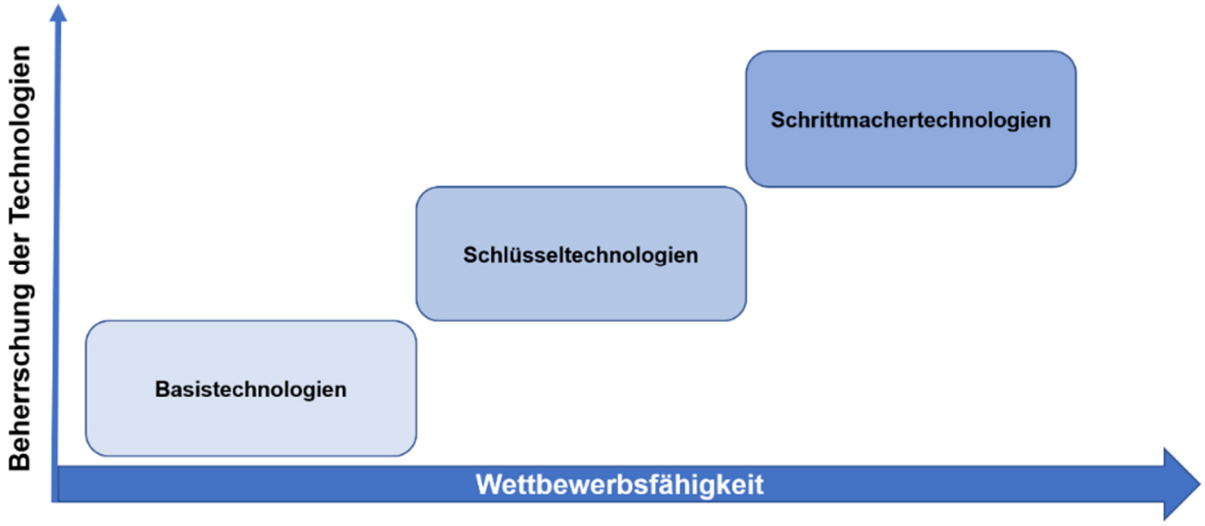

Abbildung 5: Beherrschung der Technologien und Wettbewerbsfähigkeit
(eigene Darstellung in Anlehnung an Taphorn u. a., 2015, S. 25-26)

2.5.4. Intelligente Produkte als Wettbewerbsvorteil

Porter und Heppelmann sehen für Unternehmen die Möglichkeit, mittels intelligenter Produkte einen Wettbewerbsvorteil zu erlangen. Intelligente Produkte setzen den neuen Standard für die operative Effizienz. Gemäss Porter und Heppelmann muss sich jeder Produkthersteller überlegen, wie er künstliche Intelligenz und die Vernetzungsfähigkeit in den Dienst des Produktes stellen kann. Dies ist aber nur einer der Aspekte; wie bereits ausgeführt, ist die Berücksichtigung der ganzen Wertschöpfungskette nötig (vgl. Porter / Heppelmann, 2014, S. 15).
Huber erwähnt einen weiteren wichtigen Aspekt und unterstreicht damit die Aussage von Porter und Heppelmann: intelligente Produkte stärken die eigene Wettbewerbsposition des Unternehmens. Er zeigt auf, dass mit der ständigen und raschen Weiterentwicklung der intelligenten Produkte durch Produktevarianten das Eindringen von Konkurrenten in das eigene Marktsegment verhindert werden kann. Wenn Produkte komplexer werden und sogar vernetzt sind, werden die Hürden für den Markteintritt von Konkurrenten grösser (vgl. Huber, 2018, S. 83).

2.5.5. Flexibilität als Wettbewerbsvorteil

Die Fähigkeit, schnell und flexibel auf Kundenanforderungen zu reagieren und eine hohe Variantenzahl bei niedrigen Losgrössen wirtschaftlich zu produzieren, wird nach Ganschar u. a. zunehmen und die Wettbewerbsfähigkeit noch einmal erhöhen (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013, S. 2). Flexibilität ist nach wie vor ein Schlüsselfaktor für die Produktionsarbeit; sie muss in Zukunft zielgerichtet und systematisch organisiert werden (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013, S. 6). Daher würden die Anforderungen an eine erfolgreiche Produktion in Zukunft steigen. Dies gelte für die genutzten Anlagen und Wertschöpfungsketten, aber insbesondere auch für die Produktionsarbeit. Deshalb wird nachfolgend die Rolle des Mitarbeiters in der Fertigung in die Betrachtung miteinbezogen.

Flexibilitätsanforderungen wirken sich auf die Automatisierung aus, deshalb wird es in Zukunft immer mehr darum gehen, dass einzelne Maschinen für unterschiedliche Anwendungen verwendet werden. Die Experten sind sich einig, dass die «starren Automatisierungslösungen der Massenproduktion» nicht mehr wirtschaftlich sind. Flexible Automatisierungslösungen in Kombination mit dem Menschen sind gefordert. Jedoch gibt es auch hier Grenzen, die es bezüglich der Komplexität zu überwinden gilt, damit die Wirtschaftlichkeit der Investitionen gewährleistet ist. Ein Ansatz bildet die auf einen Themenbereich zugeschnittene Automatisierung mit flexibler Verknüpfung mit den Mitarbeitern (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013, S. 21–54).

Die Studie von Braglia und Petroni zeigt, dass diese Flexibilität in der Regel eher kleinen und mittleren Unternehmen zugeordnet wird. Die These ist, dass hybride Entscheidungssysteme (Mensch-Maschine), die kontext- und aufgabenspezifisch zwischen manuellen, halbautomatischen und automatisierten Entscheidungen differenzieren, zu besseren Ergebnissen führen. Qualitativ und quantitativ bessere Lösungen können mit den neuen technischen Möglichkeiten sowie mit operativem Handlungswissen herbeigeführt werden (vgl. Braglia/Petroni, 2000, S. 195–213). Bitsch stützt diese These an einem Beispiel, zeigt aber auch die noch vorhandenen Defizite sowohl bei der intelligenten Steuerung (Maschine) als auch beim Menschen. Als Fazit aber sieht er den positiven Einfluss der funktionalen Einbindung des Wissensträgers auf das Ergebnis der Steuerung. Also kann gesagt werden, dass ein Zusammenspiel von Mensch und Maschine bei der Entscheidungsfindung zu mehr Flexibilität führt. Bitsch spricht hierbei vom Begriff der intelligenten Entscheidungen, den «Smart Decisions». Potenzial sieht er in der Optimierung der Entscheidungslogik und des Entscheidungsmodus. Nach ihm hat sich die hybride Entscheidungslogik im komplexen Umfeld bewährt. Dazu rät er aber, die neuen, schnell wachsenden technischen Möglichkeiten stärker zu berücksichtigen. Dazu muss in den strukturellen Aufbau der Lösungskompetenz investiert werden (vgl. Bitsch, 2017, S. 121–134).

2.6. Herausforderungen

Die neuen Ansätze, Methoden und Möglichkeiten, die in der vorliegenden Arbeit dargelegt werden, stellen für die Unternehmen teilweise auch enorme Herausforderungen dar. Krumm und Kraus sehen diese insbesondere bei der Produktkomplexität, der Varianz und der Dynamik der mechatronischen Produkte. Dabei stellt der Umgang mit den Daten eine besondere Herausforderung dar. Bei der Organisationskomplexität müssen Unternehmen ihre klassischen Organisationsstrukturen und -abläufe konsequent in Frage stellen und modernisieren. Hochgradig iterative Entwicklungsprozesse, agiles Projektmanagement, datenbasiertes Prozessmanagement und teambasierte Organisationsformen sind hier als Beispiele aufgeführt, um die Veränderungen bewältigen zu können (vgl. Krumm/Kraus, 2017, S. 7).
Zwei weitere Herausforderungen für Unternehmen bestehen darin, einerseits das bereits seit langem bestehende und oft sehr erfolgreiche Produkt- und Dienstleistungsgeschäft als Basis weiterhin gewinnbringend und innovativ voranzutreiben, andererseits auf einer neuen Ebene komplett neue, innovative, datenbasierte und visionäre Angebote, die mit dem Bestandsgeschäft nicht mehr viel gemeinsam haben, zu kreieren. Nur wer diesen Spagat erfolgreich meistert und in der Zukunft beide oben genannten Innovationsstränge in neuen Geschäftsmodellen zusammenfügen kann, sind Schaeffer und Bertheau überzeugt, wird langfristig Erfolg haben (vgl. Schaeffer/Bertheau, 2017, S. 24).
Ein weiterer, aus Sicht des Autors sehr relevanter Aspekt, erwähnen Günthner und Dollinger: wohin diese Innovationen führen. Die Tragweite, was mit den gegenwärtigen und zukünftigen Technologien alles möglich sein wird, ist nicht absehbar. Technologien entwickeln sich nicht mehr linear, sondern exponentiell, zudem verstärken sie sich gegenseitig durch Kombinationen. Für Unternehmen entsteht eine schwer überschaubare Flut von Möglichkeiten (vgl. Günthner/Dollinger, 2019, S. 41). Bildstein und Seidelmann ergänzen diese These noch durch Aussagen über die steigende Komplexität, welche durch das Zusammenführen von bestehenden und neuen Technologien entsteht. Sie heben weiter hervor, dass die Technologien auf spezielle oder aber auch auf mehrere Geschäftsprozesse entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Produktlebenszyklus angewendet werden können. Deshalb weisen Bildstein und Seidelmann explizit darauf hin, dass die Einführung von Industrie 4.0-Aspekten für die Produktion eine herausfordernde Aufgabe darstellt (vgl. Bildstein/Seidelmann, 2014). Auch Kolberg u. a. unterstreichen, dass Industrie 4.0-Projekte von einer hohen Komplexität gekennzeichnet sind – und zudem eine disziplinübergreifende Zusammenarbeit erfordern (vgl. Kolberg *u. a.*, 2017, S. 254).
Grottke und Obermaier weisen darauf hin, dass sich hinter Schlagworten wie «Internet der Dinge», «Smart Factory» und «digitale Produktion» oft massive unternehmerische Herausforderungen und auch Risiken verbergen. Oft sind grosse technische Anstrengungen nötig, um neue Ansätze von Industrie 4.0 umzusetzen. Es ist ein hoher unternehmerischer Aufwand verbunden, um abzuschätzen, ob sich ein Investment lohnen könnte. Dabei muss erkannt werden, ob und in welchem Bereich sich eine Chance bietet, ob diese auch realisiert werden kann und ob das damit verbundene Risiko beherrschbar ist. Grottke und Obermaier haben zwei Fallstudien von Industrie 4.0-Projekten analysiert und dabei folgende Herausforderungen abgeleitet: im Bereich der Beschaffung und Organisation, bei der betriebswirtschaftlichen Gestaltung des Produktionsprozesses und beim Vertrieb von Produkten (vgl. Grottke/Obermaier, 2017, S. 309–319).

Auch bezüglich der Mitarbeiter in der Smart Factory ergeben sich durch die Verschmelzung von Menschen und Technik neue Herausforderungen. Für die Produktion braucht es neue Lösungsansätze in der Mensch-Technik-Interaktion. So gewinnt das HMI (Human-Machine-Interface) zur Steuerung und Überwachung von industriellen Prozessen zunehmend an Bedeutung (vgl. Peissner/Hipp, 2013, S. 4).
Eine weitere grosse Herausforderung stellt die Entwicklung der im Abschnitt 2.3.3. erwähnten intelligenten Produkte und CPS dar. Sie erfordern neue Ansätze in der unternehmensinternen Entwicklung. Ein geeigneter interdisziplinärer Ansatz bietet hier das SE (Systems Engineering). SE kann als eine auf bestimmten Denkmodellen und Grundprinzipien beruhende Wegleitung zur zweckmässigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme betrachtet werden (vgl. Daenzer/Haberfellner, 2002, S. XVIII). Aufgrund der steigenden Anteile von Software und Elektronik und neuen integrierten Serviceanteilen in zukünftigen Produkten sieht Schlotmann Handlungsbedarf, den Ansatz von SE im Mittelstand zu etablieren. Damit kann eine Brücke zwischen dem neuen Geschäftsmodell und der Entwicklung in den verschiedenen Abteilungen geschlagen werden, ist Schlotmann überzeugt. Ein entscheidender Aspekt dabei ist, dass SE nicht etwas Neues ist, sondern lediglich eine Änderung der Arbeitsweise ohne zusätzliche Ressourcen (vgl. Schlotmann, 2018, S. 27–32).
Auf die Schweiz bezogen zeigt sich die Herausforderung in Bezug auf das Umsetzen von Neuem. So ist die Maschinen- und Fertigungsindustrie eher konservativ in der Betrachtung- und Denkweise – und somit zurückhaltend im Annehmen von neuen Trends und Möglichkeiten. Dies äussert sich deutlich in den Umfrageergebnissen zur Vernetzung von Maschinen und Anlagen. So geben rund 60 Prozent der Befragten an, dass ihre Kunden nicht bereit sind, Daten ihrer Maschinen und Anlagen für die Verwertung zur Verfügung zu stellen (vgl. Swissmem, 2018b, S. 13).

2.6.1. Migration und Ansätze für die Transformation der Produktionsumgebung

Durch die vielen Kundenbesuche und die damit verbundene Einsicht in verschiedenste Produktionsanlagen und Fertigungsbetriebe kann der Autor aus eigener Erfahrung bestätigen, wie gross die Herausforderungen bei der Migration von bestehenden Anlagen sind. Durch den stetigen Wandel der Anforderungen wurden über Jahre und Jahrzehnte an bestehenden Anlagen immer wieder Anpassungen und Verbesserungen gemacht. Aktuell mit der Industrie 4.0-Thematik konfrontiert, sehen sich die Unternehmen erneut vor der Herausforderung sukzessive Anpassungen umzusetzen und somit die Produktionsumgebung zu migrieren. Bildstein und Seidelmann heben hervor, dass bei der Einführung von Industrie 4.0 in die bestehende IT-Landschaft die vorhandenen Systeme nicht gleich ersetzt werden müssen, sondern dass sie in kleinen Schritten erweitert werden können, ohne den Produktionsablauf zu unterbrechen. Fehlende Funktionalitäten der momentan eingesetzten Lösungen sollen mit neuen Verfahren kompensiert werden, so dass ein Mehrwert für das Unternehmen und damit eine stärkere Position am Markt entsteht (vgl. Bildstein/Seidelmann, 2014, S. 584). Aufgrund des hohen Investitionsaufwands und wegen der teilweise noch jungen Technologien ist es eher selten, dass Unternehmen ihre Produktionen ohne Restriktionen, sozusagen «auf der grünen Wiese», aufbauen (vgl. Kolberg *u. a.*, 2017, S. 254). Jedes Unternehmen hat, abhängig von seiner Branchenzugehörigkeit,

Grösse und Wertschöpfungstiefe, eine individuelle Ausgangssituation. Somit ist eine Vorgehensweise gefragt, die dies berücksichtigt und in eine unternehmensspezifische Migrationsstrategie führt. Wesentliches Hilfsmittel dazu sind sogenannte Reifegradmodelle, die im nachfolgenden Abschnitt kurz erläutert werden. Eine Strategie zur Transformation der Produktionsumgebung von der Identifikation von Handlungsbedürfnissen bis hin zum Vorgehen zur Konzeption und Realisierung skizzieren Kolberg u. a. detailliert (vgl. Kolberg *u. a.*, 2017, S. 213–254).

2.6.2. Reifegrad und Reifegradmodelle für Unternehmen

In der Literatur findet sich bei Appelfeller und Feldmann ein ausführlicher Leitfaden eines Modells für die Messung des Reifegrads der Digitalisierung eines Unternehmens. Darin werden vier massgebliche Stufen mit Elementen beschrieben, wobei die niedrigste Stufe für eine analoge Ausprägung und die höchste Stufe für die volle Digitalisierung der Elemente steht. Aus der Bewertung ergibt sich somit ein Ist-Status, welcher im Rahmen einer Zielformulierung dem Soll-Profil gegenübergestellt wird.
Die qualitative Beurteilung kann anschliessend durch eine quantitative Bewertung ergänzt und gewichtet werden. Der resultierende Reifegrad kann als Basis für die Strategie herangezogen werden (vgl. Appelfeller/Feldmann, 2018, S. 13–15).
Als Grundlage für die Ermittlung des Reifegrads eines Unternehmens in Bezug auf die Industrie 4.0-Anforderungen kann eine Bedarfs- und Lückenanalyse dienen. Diese verhindert das Risiko fehlgeleiteter Investitionen, so Wildemann. Er weist auf die Existenz von Online-Selbst-Checks zur Ermittlung des Reifegrads hin und fasst zusammen, dass es durchaus einige Ansätze gibt, Industrie 4.0 mittels eines Reifegradmodells messbar zu machen. Es existieren jedoch grosse Unterschiede hinsichtlich der Fokussierung auf Unternehmensbereiche. Die Resultate lassen sich entweder als grobe Richtwerte oder als komplexe Kennzahlen interpretieren. Oft liegt der Schwerpunkt auf der Produktion, weshalb eine Betrachtung der Auswirkungen der Industrie 4.0 und der Digitalisierung auf die ganze Wertschöpfungskette schwierig bleibt. Zudem, so Wildemann, wird die Produktivität als bedeutende Unternehmenskennzahl und Indikator für die Leistungsfähigkeit der Wertschöpfungsprozesse bis anhin in den Reifegradmodellen nicht berücksichtigt (vgl. Wildemann, 2018, S. 30–33).
Eine aus Sicht des Autors für Schweizer KMU gute Übersicht für einen erfolgreichen Einstieg bietet der Quick-Starter von der Plattform Industrie 2025. Dieser schlägt einen relativ generischen und pragmatischen Ansatz für die Umsetzung von Industrie 4.0-Projekten vor. Aufbauend auf einem Vorgehensmodell werden von der Initialisierung bis zur Umsetzung die wichtigsten Schritte und Meilensteine aufgezeigt. Ein Leitfaden und wertvolle Tools unterstützen dabei die Arbeit. Zudem stehen Experten für spezifische Fragen mit ihrem Wissen bei Bedarf zur Verfügung (vgl. Industrie 2025, 2019).

2.7. Themenbereiche und Anwendungsszenarien

Industrie 4.0 wirkt sich, wie bereits aufgezeigt, nahezu auf alle Bereiche eines Unternehmens und dessen Prozesse aus. Gemäss dem Autor findet sich in der Literatur keine einheitliche Definition von Themenbereichen und Anwendungsszenarien. Wildemann spricht von sogenannten Wirkbereichen. Obwohl Prozesse – wie die Produktentwicklung und die Anlagen- und Verfahrensentwicklung – oft als eigenständige Unternehmensbereiche dargestellt werden, sind die Kernprozesse untereinander sehr eng verzahnt. Wildemann zeigt aber auf, dass Industrie 4.0-Projekte nicht in allen Unternehmensbereichen operativ gleich stark vorangetrieben werden, und bezieht sich dabei auf die Studie Deutscher Industrie 4.0-Index (vgl. Staufen AG, 2015, S. 5). So hält er fest, dass die Produktion mit Abstand den grössten Anteil hat, gefolgt von Logistik und Lagerhaltung sowie Forschung und Entwicklung. In den anderen Bereichen ist ein geringerer Nutzen zu erwarten, daher sind diese weniger relevant.
Um die Themenbereiche zu definieren, haben sich Seiter, Grünert und Berlin dem Basismodell der Wertschöpfungskette nach Porter (vgl. Porter, 2014, S. 64) bedient. Ausgehend davon werden aus den einzelnen Teilprozessen der Basisaktivitäten und Unterstützungsaktivitäten mögliche resultierende Themenbereiche aufgezeigt (vgl. Seiter/Grünert/Berlin, 2017, S. VI–VII). Die Abbildung 6 zeigt die Wertschöpfungskette mit den Themenbereichen.

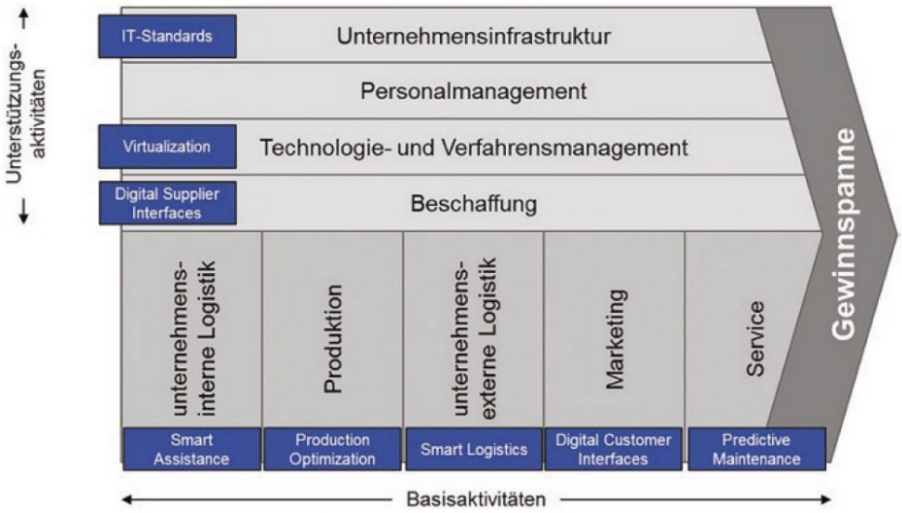

Abbildung 6: Wertschöpfungskette mit den blau dargestellten Themenbereichen
(Darstellung übernommen aus Seiter/Grüner/Berlin, 2017, S. VI)

Für die Basisaktivitäten lassen sich folgende Themenbereiche identifizieren: Smart Assistance, Production Optimization, Digital Customer Interfaces und Predictive Maintenance. Für die Unterstützungsaktivitäten gibt es folgende Themenbereiche: IT-Standards, Virtualization und Digital Supplier Interface. Zu jedem Themenbereich lassen sich verschiedene Wertetreiber mit ihren Wertschöpfungspotenzialen, die bereits im Abschnitt 2.4. hergeleitet wurden, zuordnen. Der entscheidende Punkt – und damit die wichtigste Frage – ist nun: Wie, mit welchen Industrie 4.0-Ansätzen und -Konzepten, lassen sich diese Potenziale in einer Smart Factory ausschöpfen?

Dazu finden sich in der Literatur zahlreiche und vielseitige Hinweise. Aufbauend auf den Themenbereichen mit ihren Wertetreibern werden die Anwendungsszenarien, also die möglichen Use-Cases, für die Darstellung in der Demonstrationsanlage, hergeleitet. Ein Anspruch auf Vollständigkeit besteht deshalb nicht. Vielmehr dienen sie als mögliche Ansätze für die Umsetzung (vgl. Bracht/Geckler/Wenzel, 2018, S. 259), (vgl. Thiede/Posselt/Herrmann, 2017, S. 279) (vgl. Ganschar *u. a.*, 2013), (vgl. Wildemann, 2018), (vgl. Dangelmaier/Westner/Sulzmann, 2013, S. 223), (vgl. Niggemann/Jasperneite/Vodencarevic, 2014, S. 180), (vgl. Koether/Meier, 2017), (vgl. Otto/ten Hompel/Wrobel, 2018, S. 122), (vgl. Jost *u. a.*, 2017, S. 153), (vgl. Schlick *u. a.*, 2017, S. 3–29), (vgl. Roth/Merz, 2016), (vgl. Bitsch, 2017, S. 121–134), (vgl. Willmann, 2016, S. 137–147), (vgl. Kagermann/Wahlster/Helbig, 2013, S. 105–111), (vgl. Bauer *u. a.*, 2018), (vgl. Marseu/Kolberg/Weyer, 2017).

Die Themenbereiche mit den dazugehörigen Anwendungsszenarien werden in den Ergebnissen im Abschnitt 4.1.1. in den Übersichtstabellen ab Seite 50 zusammengefasst.

3. Methodologie

Im Folgenden werden die Methoden aufgeführt, welche zur Erhebung der relevanten Daten und zur Beantwortung der Forschungsfragen sowie zur Überprüfung der Hypothesen zum Einsatz kommen.

3.1. Methodik der Erhebung

Als Forschungsdesign werden die von Atteslander u. a. beschriebenen «klassischen» Forschungsabläufe mit den in der Einleitung beschriebenen Dimensionen gewählt (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 52–53). Als Methoden werden die Inhaltsanalyse und die Befragung, die im folgenden Abschnitt erläutert werden, eingesetzt. Dazu werden die Gegenstandsbereiche «Produkte menschlicher Tätigkeit» und «aktuelles menschliches Verhalten» berücksichtigt und mit den oben aufgeführten Methoden kombiniert (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 54).
Um die Bedürfnisse und Erwartungen an das Leuchtturmprojekt in Erfahrung zu bringen, werden zwei Methoden ausgewählt: die Befragung mittels Expertenbefragung sowie die Befragung mittels Fragebogen. Bei den Experteninterviews werden zudem Fragen für die SWOT-Analyse ergründet. Einer der Schwerpunkte in der Initialisierungsphase eines Projekts ist die kritische Auseinandersetzung mit dem wirklichen Projektziel; es lohnt sich deshalb, diese Informationen in einer Situationsanalyse zu beschaffen. Dazu gehören unter anderem auch die Kontextanalyse, eine Stakeholder-Analyse sowie eine SWOT-Analyse (vgl. Kuster *u. a.*, 2019, S. 129–130). In der vorliegenden Arbeit ist die Kontextanalyse als Umfeld- oder Umweltanalyse zu verstehen. Für die Auswertung der Interviews wird die Methodik der Inhaltsanalyse als empirisches Datenerhebungsverfahren gewählt. Die Methoden werden im Folgenden näher erläutert.

3.2. Inhaltsanalyse

Für die vorliegende Arbeit kommt die Methode der inhaltlich strukturierenden, qualitativen Inhaltsanalyse zur Anwendung – und die von Kuckartz beschriebenen sieben Phasen (vgl. Kuckartz, 2016, S. 100):
Phase 1: Initiierende Textarbeit, Markieren wichtiger Textstellen und Schreiben von Memos
Phase 2: Entwickeln von thematischen Hauptkategorien
Phase 3: Codieren des gesamten Materials mit den Hauptkategorien
Phase 4: Zusammenstellen aller mit der Hauptkategorie codierten Textstellen
Phase 5: Induktives Bestimmen von Subkategorien am Material
Phase 6: Codieren des kompletten Materials mit dem ausdifferenzierten Kategoriensystem
Phase 7: Einfache und komplexe Analysen, Visualisierungen

Die Inhaltsanalyse lässt sich als eine interpretative Form der Auswertung darstellen. Es werden Codierungen aufgrund von Interpretationen, Klassifikationen und Bewertungen vorgenommen. Somit ist die Textauswertung und -codierung also an menschliche Verstehens- und Interpretationsleistung verknüpft (vgl. Kuckartz, 2016, S. 27).

Zu den Grundbegriffen der qualitativen Inhaltsanalyse gehören die Auswahl- und die Analyseeinheit, die Kategorie (Code) und die Kategorienarten sowie das Kategoriensystem (vgl. Kuckartz, 2016, S. 29–44).
Eine Kategorie wird im sozialwissenschaftlichen Kontext als «Klasse» bezeichnet. Somit ist eine Kategorie das Ergebnis einer Klassifizierung von Einheiten. Gemäss Kuckartz ist eine Definition der Kategorie im Sinne der empirischen Forschung in der Literatur nicht eindeutig definiert. So zählt Kuckartz Synonyme wie Abteilung, Gebiet, Rubrik, Einordnung und Art auf. Kategorien zu bilden ist aber ein entscheidender Prozess, so Kuckartz. Es lassen sich vier Hauptkategorien unterscheiden: Fakten-Kategorien, thematische Kategorien, evaluative Kategorien, analytische Kategorien. Dazu zwei Kategorien für die Inhaltsanalyse: natürliche Kategorien oder formale Kategorien.
Die Gesamtheit aller Kategorien, also das Kategoriensystem, kann diese als Liste, Hierarchie oder als Netzwerk organisiert sein. Bei der hierarchischen Darstellung erfolgt die Unterteilung in Haupt- und Unterkategorien.
Bei der Kategorienbildung werden sogenannte Überbegriffe als Kategorienbezeichnung gewählt, und die Inhalte werden den definierten Kategorien zwecks späterer Auswertung zugewiesen. Kuckartz spricht von zwei massgeblichen Verfahren der Kategorienbildung: der A-priori-Kategorienbildung (deduktiv), wonach die Kategorien unabhängig vom erhobenen Datenmaterial gebildet werden, und die Kategorienbildung direkt am Material (induktiv). Es können auch beide Verfahren gleichzeitig zum Einsatz kommen.
Da eine Kategoriendefinition mindestens die Bezeichnung der Kategorie und eine inhaltliche Beschreibung enthalten muss, ist es sehr hilfreich, wenn Indikatoren, konkrete Beispiele aus den Daten und Abgrenzungen zu benachbarten Kategorien enthalten. Für die vorliegende Arbeit wird das induktive Verfahren gewählt. Dazu bietet Kuckartz eine Guideline für die Herleitung der Kategorien, welche sich in sechs Stationen gliedert (vgl. Kuckartz, 2016, S. 83–86):

1. Ziel der Kategorienbildung auf der Grundlage der Forschungsfrage bestimmen
2. Kategorienart und Abstraktionsniveau bestimmen
3. Mit den Daten vertraut machen und Art der Codier-Einheit festlegen
4. Die Texte sequenziell bearbeiten und direkt am Text Kategorien bilden. Zuordnung existierender oder Neubildung von weiteren Kategorien
5. Systematisieren und Organisieren des Kategoriensystems
6. Das Kategoriensystem festlegen

3.3. Befragung

Repräsentative Umfragen sind das rationellste Mittel, um einigermassen verlässlich zu Informationen zu gelangen, führen Atteslander u. a. aus. Für die Befragung kommen zwei Formen zum Einsatz: die teilstrukturierte mündliche Befragung sowie die stark strukturierte schriftliche Befragung (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 133).

3.3.1. Interviews

Für die mündlichen Interviews mit Experten wird die Form der qualitativen, teilstrukturierten Befragung gewählt und wird als nicht-standardisiertes Interview durchgeführt. Dabei kommen meist offene Fragen zum Einsatz. Im Vorfeld wird dazu ein Gesprächsleitfaden mit Fragen vorbereitet, auch wenn die genaue Abfolge abhängig von der interviewten Person flexibel gestaltet werden kann. Die Zeitdauer beträgt ca. 60 Minuten (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 134–149). Die Interviews werden in Form von Audio-Dateien aufgezeichnet.
Als Interviewpartner wurden der Leiter der SSF, der Projektleiter des Leuchtturmprojekts sowie zwei in das Leuchtturmprojekt involvierte Mitarbeiter der SSF bestimmt. Zudem wird ein Interview mit der Smart Factory in Kaiserslautern geführt. Insgesamt werden somit fünf Interviews durchgeführt.
Als Vorbereitung für die Auswertung der qualitativen Interviews muss zuerst der Inhalt der Audio-Dateien transkribiert (in schriftliche Form gebracht) werden. Dazu werden zuerst die Transkriptionsregeln festgelegt und anschliessend die Texte am Computer transkribiert. Danach erfolgt die Auswertung durch eine qualitative Inhaltsanalyse und die Kommentierung der Ergebnisse (vgl. Kuckartz, 2016, S. 164–180). Für die Kategorienbildung wird die induktive Form gewählt, also die direkte Code-Entwicklung am Text, ohne vorherige Zusammenfassung. Gemäss Kuckartz ist dies die in der Praxis weitaus am häufigsten anzutreffende Variante (vgl. Kuckartz, 2016, S. 72–86).

3.3.2. Der Fragebogen

Für die Umfrage bei den Partnern des Leuchtturmprojekts wird die Form der schriftlichen, stark strukturierten Befragung gewählt. Dazu wird im Vorfeld ein Fragebogen konstruiert, der die Basis für ein standardisiertes Interview bildet und Inhalt, Anzahl Fragen und Reihenfolge festlegt (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 134–149). Die Befragung erfolgt via Internet; sie wird im Online-Befragungstool (vgl. Unipark, online, 2019) generiert und als Link für die Partner in das dafür vorgesehene Begleitschreiben eingefügt. Aufgrund des Datenschutzes und der Anonymität werden die Adressen der Partner von der SSF verwaltet; die Einladung mit dem Begleitschreiben für die Umfrage wird deshalb vom Sekretariat der SSF an die Partnerfirmen verschickt. Der Autor hat keinen direkten Kontakt mit den Befragten und im Online-Befragungstool sind keine Hinweise zu den Namen derselben.
Als Basis für die Entwicklung des Fragebogens dienten die Ausführungen von Kirchhoff u. a., die in ihrem Buch einen sehr pragmatischen Ansatz anhand eines Beispiels wählen, um die wichtigsten Grundregeln und die grössten Hürden bei der Erstellung eines Fragebogens zu erklären. Als erstes sammelt der Autor mit der Brainstorming-Technik viele mögliche Fragestellungen, dann gliedert er den Fragebogen nach dem Prinzip «vom Allgemeinen zum Besonderen», was für die Befragten am meisten Sinn macht. Es werden dabei folgende Themenschwerpunkte festgelegt: allgemeine Fragen zu den Unternehmen und zum Leuchtturmprojekt, Nutzen und Mehrwert des Leuchtturmprojekts, externe vs. interne Voraussetzungen, Umsetzung und Transfer, Schlusskommentar.
Dabei wird darauf geachtet, dass die Fragen verständlich sind; suggestive und stereotype Formulierungen vermieden werden. Pro Frage wird eine Auswahl an möglichen Antworten

vorgegeben. Im Online-Befragungstool wird sichergestellt, dass jede Frage beantwortet werden muss. Es wird zudem von sogenannten Likert-Skalen Gebrauch gemacht. Nach Kirchhoff u. a. wird damit das Ausmass der Zustimmung oder Ablehnung zu den Gründen erfasst. Die Skalen umfassen jeweils fünf Stufen, je zwei bezüglich der Ablehnung bzw. der Zustimmung und eine Stufe als neutrale Mitte. So wird gemäss Kirchhoff u.a. ein breites Spektrum möglicher Varianten der Beantwortung abgedeckt. Bei jeder Frage wird zudem die Möglichkeit einer Ergänzung resp. eines Kommentars angeboten (vgl. Kirchhoff *u. a.*, 2010, S. 11–27). Der Autor überprüft die Funktionsweise der Online-Befragung in einem Pretest.
Fast wie Werbung, sei das Anschreiben zu betrachten (vgl. Kirchhoff *u. a.*, 2010, S. 29). So scheinen dem Autor bei der Aufzählung des erforderlichen Inhalts des Anschreibens zwei Dinge wichtig: die Garantie der Anonymität für die Befragten und ein Anreiz für sie, den Fragebogen auszufüllen. Als Anreiz wird ein Wettbewerb organisiert und im Begleitschreiben darauf hingewiesen, dass unter allen Teilnehmenden ein Bausatz einer Drohne verlost wird.

3.4. **Situationsanalyse**

3.4.1. Umfeld- und Umweltanalyse

Zu den Analysefeldern der Umweltanalyse gehören gemäss Reisinger, Gattringer und Strehl die Umweltspezifika, die Analyse der globalen Umwelt, die Branchenanalyse und die Stakeholder-Analyse. Für die vorliegende Arbeit sind bloss die Analyse der globalen Umwelt und die Stakeholder-Analyse relevant.
Bei der Analyse der globalen Umwelt werden die Faktoren betrachtet, welche auf ein Unternehmen einwirken und nicht beeinflusst werden können. Ziel ist es, daraus Chancen und Gefahren zu identifizieren und in der Strategie zu berücksichtigen. Dafür bietet die PESTEL-Analyse (vgl. Reisinger/Gattringer/Strehl, 2013, S. 56) eine ideale Systematisierung der komplexen Umwelt durch Einteilung in sechs Bereiche (political, economic, social, technological, environmental, legal). Dazu werden die möglichen Faktoren identifiziert, die relevanten Einflussfaktoren priorisiert, Schlüsselfaktoren beschrieben, eine Prognose erstellt und anschliessend strategische Massnahmen abgeleitet (vgl. Reisinger/Gattringer/Strehl, 2013, S. 56–60). Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Identifikation der Einflussfaktoren. Die Erkenntnisse daraus und die Handlungsempfehlungen fliessen in die Schlussbetrachtung ein. Auf eine vollständige Analyse bis hin zur Ableitung von strategischen Massnahmen wird verzichtet.

Mit der Stakeholder-Analyse werden die für das Projekt relevanten Personen und Interessensgruppen identifiziert und analysiert. Nach Kuster u. a. sind Stakeholder Personen, Gruppen oder Organisationen, die zu einem Projekt relevante Beziehungen haben (vgl. Kuster *u. a.*, 2019, S. 93). Sie sprechen von «einflussreichen Stakeholdern», welche die Ergebnisse wesentlich beeinflussen, unterstützen oder gar zu Fall bringen können. So stellen unterschiedliche Anspruchsgruppen oft auch widersprüchliche Forderungen an ein Projekt. Ein Projekt ist normalerweise in ein soziales Netz oder Kräftefeld eingebunden, so Kuster u. a. Das gilt es nicht nur zu berücksichtigen, sondern für den Projekterfolg nutzbar zu machen. Werden sehr unterschiedliche Interessen festgestellt, so ist es oft hilfreich, geeignete Möglichkeiten für den

gemeinsamen Austausch zu schaffen. Bei der Identifikation werden die wichtigsten Personen und Anspruchsgruppen festgehalten und durch geeignete Fragen identifiziert. Mögliche Fragestellungen sind:

- Wer stellt besonders wichtige Ressourcen bereit?
- Wer kann Einfluss nehmen auf das Projekt?
- Wer ist vom Projekt besonders betroffen?
- Wer kann den Projekterfolg fördern oder hemmen?
- Wer braucht die Projektergebnisse?
- Wer darf nicht übergangen werden?

Bei der Analyse werden die Stakeholder bildhaft um das Projekt gruppiert und ihr Interesse am Projekt und den Einfluss auf das Projekt bewertet (vgl. Kuster *u. a.*, 2019, S. 93–97).

3.4.2. SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats) ist eine geeignete Methode um Stärken, Schwächen, Chancen und Gefahren eines zu betrachtenden Systems zu ermitteln. Die Methode prüft sowohl die interne wie auch die externe Umgebung. Dabei sind Stärken und Schwächen interne, kontrollierbare, aktuell wirksame Faktoren, die nötigenfalls aktiv beeinflusst werden können. Chancen und Gefahren dagegen sind wenig bis gar nicht kontrollierbare, externe und erst in Zukunft wirksame Faktoren; sie können von der Organisation nicht beeinflusst werden und erfordern geeignete Gegenmassnahmen (vgl. Kuster *u. a.*, 2019, S. 132).

Die SWOT-Analyse kombiniert die priorisierten Stärken und Schwächen mit den Chancen und Gefahren eines Unternehmens. Sie gliedert sich in vier Schritte: Erstens, die Zusammenfassung der Chancen und Gefahren. Zweitens, die Zusammenfassung der Stärken und Schwächen. Drittens, die Priorisierung und viertens, die Gegenüberstellung. Daraus lassen sich anschliessend Massnahmen ableiten. Hier folge man am besten der Faustregel «Stärken betonen, Schwächen vermeiden» (vgl. Dillerup/Stoi, 2011, S. 288).

Aus der SWOT-Analyse lassen sich durch die Kombination der Stärken/Schwächen mit den Chancen/Gefahren konkrete Strategien ableiten. Es sind dies die:

- S-O Strategie: Welche Chancen können mit den aktuellen Stärken genutzt werden?
- S-T Strategie: Welche Gefahren können mit den aktuellen Stärken verhindert werden?
- W-O Strategie: Welche Chancen könnten genutzt werden, wenn die aktuelle Schwäche eliminiert würde?
- W-T Strategie: Welche Gefahren könnten gebannt werden, wenn die aktuelle Schwäche eliminiert würde?

Die Erkenntnisse aus der PESTEL-Analyse bezüglich Chancen und Gefahren fliessen dann wiederum in die SWOT-Analyse mit ein. Die Informationen für die Analysen werden in den Experteninterviews erfragt.

3.5. Vorgehen bei der Auswertung

Die Daten werden gemäss Atteslander u. a. ausgewertet. Zuerst erfolgt die Aufbereitung der erhobenen Daten, danach deren Analyse und anschliessend die Interpretation und zuletzt das Abfassen eines Ergebnisberichtes (vgl. Atteslander *u. a.*, 2010, S. 292). Für die Auswertung der Interviews werden die in Audio-Dateien enthaltenen Rohdaten zu Texten transkribiert und anschliessend unter Anwendung der sieben Phasen der Inhaltsanalyse ausgewertet. Dazu werden die Texte sorgfältig gelesen, wichtige Stellen markiert, sowie Haupt- und Subkategorien (Phasen 4 und 5) gleichzeitig gebildet. Das alles mündet in eine Themenmatrix, in der die wichtigsten Aussagen der jeweiligen befragten Personen als Fallzusammenfassungen aufgeführt sind. Die Zusammenfassungen bilden die Basis für die Ergebnisse im Abschnitt 4.2. Zusätzlich wird festgestellt, wie häufig die verschiedenen Themenbereiche genannt werden. Auf das Erstellen von Kreuztabellen und Visualisierungen wird verzichtet.
Für die Auswertung der Online-Befragung wird die Software des Online-Befragungstools benutzt, die es erlaubt, automatisch einen Report inkl. Grafiken zu erstellen (siehe Anhang 7.9.).

4. Ergebnisse

4.1. Externe Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts

Die aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse zu den externen Voraussetzungen zeigen ein breites Spektrum an Themen mit sehr vielschichtigen Aspekten. Ausgehend von der Definition der digitalen Fabrik und der Weiterentwicklung zur Smart Factory wird als Grundvoraussetzung die Digitalisierung der Produktion genannt. Der Schwerpunkt liegt auf Effizienz- und Effektivitätskriterien sowie durchgängigen Wertschöpfungsprozessen. Das grösste Potenzial steckt in der Informations- und Kommunikationstechnik. Durch die Vernetzung sowie die gegenseitige Beeinflussung und Dynamik, die heute in der Industrie vorherrschen, entsteht eine neue Komplexität. Die Herausforderung liegt darin, diese nicht nur zu beherrschen, sondern ihre neuen Potenzialen gewinnbringend einzusetzen. Neue Ansätze werden benötigt, um die sogenannte «Komplexitätsbarriere» zu überwinden. Darüber hinaus braucht es neue Ansätze, um den durch die Komplexität entstehenden Zielkonflikt zwischen Effizienzsteigerung und Flexibilität resp. Individualität zu lösen.
Als eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Umsetzung der Industrie 4.0-Ansätze werden die Technologien angesehen. Sie sollen auch ein möglicher Ansatz zur Lösung des oben genannten Zielkonflikts sein. Je nach Art und Schwerpunkt der Literatur fallen die Bewertung und Zuteilung der Technologien unterschiedlich aus. Die Technologien werden gruppiert und themenbezogenen Technologiefeldern zugeordnet. Diese beinhalten weitgefächerte Aspekte zu Hard- und Software aus OT und IT sowie Informationen zu Standardisierung und Normierung. Hinter diesen Technologiefeldern verbirgt sich eine Vielzahl von Technologien. Entscheidend ist, wie teilweise schon bestehende Technologie mit neuen Technologien kombiniert, vernetzt und eingesetzt werden kann. Nur wenn dies gelingt, kann für die Unternehmen ein Mehrwert entstehen. Weiter bestehen im Zusammenhang mit Industrie 4.0 sogenannte Schlüsseltechnologien. Zum einen haben sie in ihrer technischen Ausprägung einen revolutionären Charakter, zum anderen aber auch eine hohe wirtschaftliche Relevanz. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass diese Schlüsseltechnologien ein grosses Potenzial aufweisen. Es werden z.T. zweistellige Wachstumsraten prognostiziert.
Zu den Schlüsseltechnologien gehören Big Data / Smart Data, CPS, künstliche Intelligenz / maschinelles Lernen, sensitive Roboter und additive Fertigungsverfahren. Im Bereich der Kommunikation kann auch der neue Mobilfunkstandard 5G als Schlüsseltechnologie hervorgehoben werden. Das 5G-Netz vereint in den Bereichen der zuverlässigen Vernetzung und der Robotik-Anwendungen hohe Erwartungen für die Zukunft.

Allen voran wird in den Technologien rund um Daten und Informationen der Schlüssel für die Zukunft gesehen. Big Data und Smart Data bieten in Kombination mit anderen Technologien ein enormes Potenzial. Daten müssen gesammelt, gespeichert, verwaltet, analysiert und ausgewertet werden. Um Daten nutzen zu können müssen sie jedoch auch zugänglich und verfügbar sein. Damit dies alles möglich wird, braucht es Software. So werden Daten und Software bezüglich der wirtschaftlichen Relevanz eine dominierende Rolle einnehmen. Durch das nicht Vorhandensein von Daten kann aber auch Ineffizienz entstehen. Der Datenfluss wie auch der

Informationsfluss müssen über die ganze Wertschöpfungskette garantiert werden, damit eine Optimierung und eine daraus resultierende Produktivitätssteigerung möglich sind. Weiter lassen sich durch die Verfügbarkeit von Daten in Echtzeit und deren Analyse neues Wertschöpfungspotenzial erschliessen. So können daraus neue Dienstleistungen, neue Geschäftsmodelle und somit neue Ertragsströme generiert werden.

Im Zusammenhang mit der Speicherung, dem Zugriff und der Auswertung von Daten ergeben sich neue rechtliche Situationen. Die damit einhergehenden Fragen sind zu klären, praxisnahe Lösungen aufzuzeigen. Auch ist wichtig, sich mit Cybersecurity und IT-Sicherheitsmassnahmen zu beschäftigen, wenn es um Aspekte wie Vernetzung, Transparenz und die Verfügbarkeit von Daten geht. Dies gilt vor allem auch für die Smart Factory, die über ihre ganze Wertschöpfungskette enorm viele Schnittstellen hat. Es entstehen neue Bedrohungen für die Systeme der Fertigungs- und Prozessautomatisierung. Nötig sind praktikable, durchgängige und standardisierte Lösungen. Dies ist eine Herausforderung für den Mittelstand; sie verschärft sich durch die Komplexität von Industrie 4.0. Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts sind demnach neue Bedrohungsanalysen und IT-Sicherheitskonzepte sowie ein Risikomanagement. Dabei müssen auch die betriebswirtschaftlichen Aspekte berücksichtigt werden.

CPS bilden die Basis für die Smart Factory und sind somit die Voraussetzung für den neuen Grad der Selbstorganisation und die Prozessoptimierung. Dadurch entsteht die Flexibilität, die für das Erreichen der Losgrösse 1 notwendig ist. Den CPS wird eine grosse Bedeutung zugeordnet und ein entsprechender Mehrwert für die Industrie prognostiziert. So können die diskrete sowie die kontinuierliche Produktion von den Vorteilen von CPS gleichermassen profitieren. Alle anderen Industrie 4.0-Technologien können in der Smart Factory auch zur Anwendung kommen. Für die Smart Factory gibt es spezifische Methoden und Konzepte aus Kombinationen verschiedener Technologien.
Eine weitere Voraussetzung sind die intelligenten Produkte, von denen erwartet wird, dass sie sich zu CPS weiterentwickeln, und die somit den Schlüssel für Industrie 4.0-Szenarien der Zukunft darstellen. Mit der Einführung von intelligenten Produkten werden Veränderungen in deren Entwicklung nötig, damit das Potenzial voll ausgeschöpft werden kann. Als zentrales Element gelten auch hier die Daten, deren Sammlung, Verarbeitung und Auswertung. Daten, welche bei den intelligenten Produkten anfallen, müssen fachbereichsübergreifend und über die ganze Wertschöpfungskette verarbeitet werden. Dazu ist ein effizientes Produktdatenmanagement nötig. Hinzu kommt, dass sich durch den Softwareanteil im Produkt ein grosses Potenzial bezüglich der Individualisierung und der schnelleren Marktreife ergibt. Für die Industrie bieten sich neue Möglichkeiten durch Ansätze, die sich in der Softwarebranche bereits etabliert haben. Dies sind kürzere Entwicklungszeiten, PaaS-(Product-as-a-Service), Fokus auf den Erfolg der Kunden, Produkte als Teil grösserer Systeme, Analytik als Wettbewerbsvorteil.
Die Umsetzung der intelligenten Produkte mit all den genannten Eigenschaften erfordern auch eine organisatorische Veränderung der Unternehmen. Durchgängige Prozesse und Kooperationen über alle Bereiche hinweg sind wichtige Aspekte zur Steigerung der Kundenorientierung und Produktqualität. Neue Ansätze wie Open Innovation, Open Development und agile Methoden müssen installiert werden. Aber auch Ansätze wie das SE sollen im Mittelstand etabliert

werden. Rund um intelligente Produkte lassen sich neue Geschäftsmodelle und ein neues Öko-System aufbauen.
Eine unabdingbare Voraussetzung ist das Qualitätsmanagement. Die Qualität individueller Produkte muss auch in der flexiblen und kostengünstigen Produktion bei kurzen Lieferzeiten eingehalten und jederzeit garantiert werden – insbesondere bei der Anlagenumrüstung oder beim Anlauf neuer Anlagen. Ein durchgängiges, in den Produktionsprozess integriertes Qualitätsmanagementsystem drängt sich deshalb auf.
Eine wichtige Rolle beim Einsatz der unterschiedlichsten Technologien und somit ebenfalls eine Voraussetzung ist der Reifegrad der neuen Technologien. Es muss sichergestellt werden, dass die Technologien auch die entsprechende Praxistauglichkeit aufweisen.

Mehrwerte von Industrie 4.0
In allen Unternehmensbereichen findet sich ein Optimierungspotenzial. Allein schon durch die Beseitigung von Ineffizienzen können Verbesserungen herbeigeführt werden. Dazu werden die Wertetreiber im Unternehmen identifiziert und sogenannte Industrie 4.0-Hebel daraus abgeleitet.
Als wichtige Grundvoraussetzung gilt es, durch Industrie 4.0 eine Effizienzsteigerung zu erzielen. Dazu bildet das Lean-Management die Basis. Aufbauend darauf können MES einen wichtigen Beitrag leisten. In Kombination mit adaptiven Assistenzsystemen werden die Entscheidungsträger unterstützt, im komplexen Umfeld der modernen Produktionssysteme die richtigen Entscheidungen zu treffen. Von hoher Wichtigkeit ist die Bewertung von sowohl anlagenwirtschaftlicher als auch produktionslogistischer Effizienz. Dies führt zur wichtigsten Kennzahl der Produktion, der Gesamtanlageneffizienz OEE. Für die Entwicklung eines funktionalen Konzepts für ein System, welches eine betriebliche und überbetriebliche Steigerung der Effizienz und Wirtschaftlichkeit in Produktionssystemen ermöglicht, besteht noch Forschungsbedarf.
Die betriebswirtschaftlich bedeutendste Kennzahl ist die Produktivität. Hierzu bildet der Ansatz des Lean-Management die Basis, auf der die Industrie 4.0-Ansätze aufbauen können. In der Literatur finden sich viele Möglichkeiten für die Steigerung der Produktivität. Entscheidend dabei ist, dass in der Strategie zur Steigerung die geplanten Massnahmen jeweils mit dem Reifegrad des Unternehmens abgestimmt werden. Die verschiedenen Produktivitätsarten lassen sich mit sogenannten «Produktivitäts-Checks» messen.
Bei den individualisierten Produkten ist festzustellen, dass durch die Industrie 4.0 die Produktionskosten sich jenen der Serienprodukte annähern. Somit wird eine Differenzierung durch Individualität möglich. Die Unternehmen müssen sich nicht mehr entscheiden, ob sie eine Differenzierung oder eine Kostenführerschaft anstreben.
Ebenfalls zeigt sich ein wirtschaftlicher Nutzen von Industrie 4.0 für die Smart Factory. Dieser liegt in hochflexiblen, wandlungsfähigen Wertschöpfungssystemen. Hinzu kommt ein Nutzen für das Gesamtunternehmen durch schnellere Produkteinführung, verbesserte Produktqualität und Senkung der Produktionskosten. Zudem ergeben sich weitere Nutzen wie eine effizientere Informationsbereitstellung und Ressourcennutzung sowie eine bessere Planungsqualität.

Wettbewerbsvorteile die durch Industrie 4.0 entstehen:
Wettbewerbsvorteile ergeben sich u.a. durch die Beherrschung der Technologien, durch die intelligenten Produkte sowie durch die Flexibilisierung der Produktion. Hinter jedem dieser Elemente verbergen sich bei der richtigen Implementierung auch Wettbewerbsvorteile für die Unternehmen. So entsteht z.B. aus der Kombination von technologischer Reife und dem wirtschaftlichen Potenzial von Technologien ein entscheidender Wettbewerbsvorteil. Eine wichtige Rolle dabei spielen die Schlüssel- und die Schrittmachertechnologien. Mit der Integration von KI in die Produkte sowie deren Vernetzung wird die Wettbewerbsposition des eigenen Unternehmens gestärkt. Durch ständige und rasche Weiterentwicklung von intelligenten Produkten kann ein Eindringen von Konkurrenten in das eigene Marktsegment verhindert werden. Die Anpassungsfähigkeit und Flexibilität der Produktion sind ein Schlüsselfaktor, damit Unternehmen in volatilen Märkten bestehen können. Die flexible Verknüpfung der Automatisierung und generell die Einbindung des Menschen als Wissens- und Entscheidungsträger tragen erheblich zur allgemeinen Flexibilisierung bei. So wird die Fähigkeit, schnell und flexibel auf Kundenanforderungen zu reagieren und eine wirtschaftliche Produktion in kleinen Losgrössen zu garantieren, die Wettbewerbsfähigkeit erhöhen.

Anwendungsszenarien für die Demonstrationsanlage
Die Anwendungsszenarien, die sich im Zusammenhang mit Industrie 4.0 ergeben, sind enorm vielfältig und zahlreich. Sie beschränken sich nicht nur auf die Produktion, sondern entstehen in allen Bereichen und Ebenen einer Unternehmung. Über die ganze Wertschöpfungskette lassen sich Szenarien identifizieren. Der Anspruch ist deshalb nicht die Vollständigkeit im Sinne einer abschliessenden Auflistung: vielmehr sollen mögliche Ansätze für Anwendungsszenarien aufgeführt werden. Sie dienen als Basis für die Konkretisierung und die detaillierte Ausarbeitung. Zudem verbergen sich auch noch Forschungsbedarfe hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten, weil diese im Zusammenhang mit der Smart Factory noch nicht gänzlich ergründet sind oder weil die Technologie noch nicht den entsprechenden Reifegrad hat.
Die Themen, die sich in den Anwendungsszenarien wiederfinden sind z.T. nicht neu, erhalten aber mit Industrie 4.0 und den neuen technologischen Möglichkeiten eine neue Bedeutung. Durch die Ansätze von Industrie 4.0 und die Konzepte der Smart Factory ergeben sich grosse Wertschöpfungspotenziale.

4.1.1. Die Übersichtstabellen

Zusammenfassung der Wertetreiber mit ihren «Industrie 4.0-Hebel», Wertschöpfungspotenziale und Anwendungsszenarien:
Die Tabelle 2 fasst, ausgehend von der Wertschöpfungskette, die Themenbereiche und deren Wertschöpfungspotenziale zusammen.
Die Tabelle 3 zeigt beispielhaft die zu jedem Wertetreiber möglichen Anwendungsszenarien.

Wertschöpfungskette und Themenbereiche (vgl. Abschnitt 2.7.)		**Wertetreiber** (vgl. Abschnitt 2.4.)		**Wertschöpfungspotenziale** (vgl. Abschnitt 2.4.2.)
Basis- und Unterstützungsaktivitäten	**Themenbereich**	**Wertetreiber**	**Industrie 4.0-Hebel**	**Mögliches Potenzial**
Unternehmensinfrastruktur	IT-Standards	Ressourcen / Prozess	Intelligente Energieverwaltung	**generell 3 – 5%** im Speziellen: *Reduktion der IT-Kosten 24-30%* *Reduktion der Energiekosen 8-25%* *Reduktion von Investitionskosten 10%*
Unternehmensinfrastruktur	IT-Standards	Ressourcen / Prozess	Intelligente IoT-Vernetzung	
Unternehmensinfrastruktur	IT-Standards	Ressourcen / Prozess	Echtzeit Ertragsverwaltung	
Produktion	Production Optimization	Anlagen- und Maschinenauslastung	Flexibles Routing in der Produktion	**generell 18 – 55%** im Speziellen: *Reduktion der Herstellungskosten 6-20%* *Reduktion der Anlagenausfallzeit 30-50%* *Reduktion der Anlaufkosten 40-50%* *Reduktion der Durchlaufzeiten 50-75%* *Reduktion von Planungsfehlern 70%* *Reduktion von Planungszeit 30%* *Reduktion von Änderungskosten 15%* *Steigerung der Anlagereifegrad 12%* *Steigerung der Maschinen und Anlageneffizienz 20%*
Produktion	Production Optimization	Anlagen- und Maschinenauslastung	Flexible Maschinen	
Produktion	Production Optimization	Anlagen- und Maschinenauslastung	Fernzugriff und Fernsteuerung	
Produktion	Production Optimization	Anlagen- und Maschinenauslastung	Predictive Maintenance	
Produktion	Production Optimization	Anlagen- und Maschinenauslastung	Augmented Reality für MRO	
Produktion	Production Optimization	Arbeit	Mensch-Roboter-Zusammenarbeit	**generell 45 – 55%** im Speziellen: *Reduktion des Fertigungspersonals 18-30%* *Reduktion des indirekten Personals 20-50%*
Produktion	Production Optimization	Arbeit	Fernzugriff und Fernsteuerung	
Produktion	Production Optimization	Arbeit	Digitale Leistungsverwaltung	
Produktion	Production Optimization	Arbeit	Automatisiertes Wissensmanagement	
unternehmensinterne Logistik	Smart Assistance	Lagerverwaltung	Vor Ort 3-D Drucken	**generell 20 – 50%** im Speziellen: *Reduktion der Lagerkosten 20-50%*
unternehmensinterne Logistik	Smart Assistance	Lagerverwaltung	Echtzeit Lageroptimierung	
unternehmensinterne Logistik	Smart Assistance	Lagerverwaltung	Losgrösse 1	

Wertschöpfungskette und Themenbereiche (vgl. Abschnitt 2.7.)		**Wertetreiber** (vgl. Abschnitt 2.4.)		**Wertschöpfungspotenziale** (vgl. Abschnitt 2.4.2.)
Basis- und Unterstützungsaktivitäten	**Themenbereich**	**Wertetreiber**	**Industrie 4.0-Hebel**	**Mögliches Potenzial**
Produktion	Production Optimization	Qualität	Statistische Prozesssteuerung (SPC)	**generell 10 – 20%** im Speziellen: *Reduktion der Qualitätskosten 15-40%* *Steigerung der Qualität bis zu 50%*
Produktion	Production Optimization	Qualität	Erweiterte Prozesssteuerung (APC)	
Produktion	Production Optimization	Qualität	Digitales Qualitätsmanagement	
Beschaffung / unternehmensexterne Logistik	Smart Logistics	Abstimmung von Bedarf/Lieferung	Datengesteuerte Bedarfsvorhersage	**generell bis zu 85%** im Speziellen: *Reduktion der Logistikkosten 15-25%*
Beschaffung / unternehmensexterne Logistik	Smart Logistics	Abstimmung von Bedarf/Lieferung	Datengesteuerte Produktentwicklung	
Marketing / Technologie-Verfahrensmanagement	Virtualization	Markteinführungszeit	Open Innovation	**generell 20 – 50%** im Speziellen: *Reduktion der Time-To-Market 20-50%* *Reduktion der Änderungskosten 40-70%* *Reduktion der Planabweichungen 10-60%* *Steigerung des Produktreifegrads 12%*
Marketing / Technologie-Verfahrensmanagement	Virtualization	Markteinführungszeit	Simultaneous Engineering (gleichzeitige Entwicklung)	
Marketing / Technologie-Verfahrensmanagement	Virtualization	Markteinführungszeit	Prototyping und Simulationsverfahren	
Service	Predictive Maintenance	Service	Predictive Maintenance	**generell 10 – 40%**
Service	Predictive Maintenance	Service	Ferndiagnose / Fernwartung	
Service	Predictive Maintenance	Service	Virtuelle, geführte Serviceabläufe	

Tabelle 2: Themenbereiche und Wertschöpfungspotenziale für Industrie 4.0
(eigene Darstellung)

Wertetreiber (vgl. Abschnitt 2.4.)	**Anwendungsszenarien (Use-Cases) für die Demonstrationsanlage** (vgl. Abschnitt 2.7.)
Industrie 4.0-Hebel	**Anwendungsszenario**
Intelligente Energieverwaltung	Energiemanagementsystem und Energieeffizienz (Standby-Modus der Fertigungszellen, Teillastoptimierung oder energetische Selbstoptimierung) Energie- und Materialverbräuche in der Fertigung werden erfasst und optimiert Konzept für die Ressourceneffizienz Kontinuierliche Erhebung und Verarbeitung von Prozessdaten in Echtzeit Ressourceneffizienz / Konzepte für das Up-cycling
Intelligente IoT-Vernetzung	Keine Medienbrüche im Informationsstrang über die gesamte Wertschöpfungskette Anwendung der Verwaltungsschale für die standardisierte Kommunikation Smart, connected machines: Anwendungen der 5G-Technologie in der Smart Factory Durchgängige und transparente Datenintegration, Vernetzung und Kommunikation über die Wertschöpfungskette inkl. Cloud-Anbindung (horizontale und vertikale Integration) Konzepte für eine sinnvolle Dateninfrastruktur für KMU Cybersecurity und IT-Sicherheitskonzept in der Smart Factory Cloud Manufacturing / Cloud Computing Cloudbasierte ERP und MES Lösungen Verwendung von ERP und PPS im Sinne von Industrie 4.0 Cloud oder eigenes Rechenzentrum? Die Smart Factory und Social Media Aufbereitung und Verwaltung von anfallenden Daten Online-Produktkonfiguratoren / Variantenkonfiguratoren Plattform-Ökosystem für alle Stakeholder / Technologiedaten Marktplatz Nutzung von Daten: Wie können Daten aufbereitet und für die Zukunft genutzt werden? Aufzeigen wie durch die Analyse von Big-Data (Smart Data) ein Mehrwert generiert werden kann Einsatz von Standard-Automatisierungskomponenten in der Industrie 4.0 Smart Factory (herstellerübergreifend) Konzepte für die Datensicherheit und Cybersecurity in der Smart Factory Standardisierung der Datenkommunikation Umsetzung des Referenzarchitekturmodells (RAMI 4.0) und die Anwendung der Verwaltungsschale
Echtzeit Ertragsverwaltung	Darstellung von «Industrie 4.0 ERP und PPS Systemen» in der Smart Factory OEE-Messung unter Berücksichtigung der ganzen Wertschöpfungskette Darstellung von Total Produktive Management Konzepten Kontinuierliche Erhebung und Verarbeitung von Prozessdaten in Echtzeit Optimierung der Produktion und Produktivitätssteigerung durch die Verfügbarkeit von Informationen / Optimierung der Produktionsdurchlaufzeit

Wertetreiber (vgl. Abschnitt 2.4.)	**Anwendungsszenarien (Use-Cases) für die Demonstrationsanlage** (vgl. Abschnitt 2.7.)
Industrie 4.0-Hebel	**Anwendungsszenario**
Flexibles Routing in der Produktion	Smart Products (Produkte mit RFID-Chip / Kommunikation mit der Cloud) Produkte suchen ihren Weg durch die Produktion, von Station zu Station Vernetzte Produktion Vernetzte Maschinen
Flexible Maschinen	Fertigungszellen als CPS / Smart Machines / Plug & Produce Aufzeigen und Visualisieren eines Migrationsszenarios / Strategien zur Transformation der Produktionsumgebung (allenfalls als Rahmenthema) Modularisierung und Dezentralisierung Flexibler Wechsel zwischen Hand- und Automatenmontage (bei schwankenden Stückzahlen) Konzept einer wandlungsfähigen, flexiblen Montage im Hinblick auf die Variantenvielfalt und der volatilen Produktionsanforderungen (maximale Flexibilisierung und Wandlungsfähigkeit)
Fernzugriff und Fernsteuerung	Ortung, Lokalisierung und Überwachung der Fertigungszellen, Maschinenteile und Produkte Aspekte der intuitiven Bedienbarkeit von Mobile Devices
Predictive Maintenance	Smart Machines Reduktion von Stillstandzeiten durch vorausschauende Wartung (mit Hilfe von Analytics) Zustandsüberwachung / Condition Monitoring Prozessverbesserung durch predictive Analytics
Augmented Reality für MRO	Augmented Reality Unterstützung von Maschinenbedienern und Servicepersonal Mobiler Einsatz von AR Das «Smarte Typenschild», eindeutiges, maschinenlesbares Identifikationsmerkmal (QR-Code oder RFID) / Konzept im Bereich Asset-Management für die Lokalisation, Identifikation und Information
Zusammenarbeit Mensch-Roboter, Mensch-Maschine	Handarbeitsplatz mit kollaborativem Roboter Mensch-Roboter Kollaboration / Cobots Hybride Montagesysteme Physische Assistenzsysteme in der Produktion Sicherheit / Arbeitssicherheit (Safety & Security) (noch nicht in der Theorie!) Maschinen passen sich an die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse des Menschen an Konzepte zu Ergonomie am Arbeitsplatz
Fernzugriff und Fernsteuerung	Verwendung von Smart Devices (Einsatz von mobilen Endgeräten)

Wertetreiber (vgl. Abschnitt 2.4.)	**Anwendungsszenarien (Use-Cases) für die Demonstrationsanlage** (vgl. Abschnitt 2.7.)
Industrie 4.0-Hebel	**Anwendungsszenario**
Digitale Leistungs-verwaltung	Der Mensch im Mittelpunkt der Smart Factory als Entscheidungsträger. Schnelle Entscheidungen durch übersichtliche Darstellung (Visualisierung) Unterstützung durch «wearables» wie smarte Brillen, Smart Watches oder Pick-by-Systeme bei der Montage / Kommissionierung Optimale Integration des Mitarbeiters in der Fabrik Übersichtliche Darstellung der gesamten Smart Factory Assistenzsysteme zur Unterstützung der Mitarbeiter Konzepte der Benutzerführung Social-Media in der Produktion (Vernetzung von Shopfloor-Mitarbeitern mit prozessbezogenen Experten) Hybride Entscheidungslogik im komplexen Umfeld
Automatisiertes Wissensmanagement	Einarbeitung der Mitarbeiter / Augmented Learning Kontextadaptive Mitarbeiterassistenzsysteme Neue Konzepte für das Wissensmanagement Darstellung neuer Lernmethoden Schutz des erworbenen Wissens Konzept zur Erarbeitung von Lösungskompetenz Gestaltung des Arbeitsplatzes in der Smart Factory (Ergonomie) Konzepte zur Berücksichtigung des Demographischen Wandels
Vor Ort 3D drucken	Ersatzteil-Produktion mittels 3D-Druck
Echtzeit Lageroptimierung	Intralogistik durch Fahrerlose Transportsysteme Selbstorganisierende adaptive Logistik
Losgrösse 1	Kunde bestellt über eine Online-Plattform sein konfiguriertes Produkt Individuell bedruckte Produkte
Statistische Prozesssteuerung (SPC)	Monitoring von Echtzeitdaten und KPIs der Produktion (Gesamtanlageneffizienz OEE) Konzept für die Produktionsprogrammplanung, Produktionssteuerung und das Betriebskonzept für eine variantenreiche Produktion von Kleinserien
Erweiterte Prozesssteuerung (APC)	Aufzeichnen und Auswerten von Daten für die Gewährleistung der Produktionssicherheit / Überwachung der Betriebszustände / Diagnose und Anomalien Erkennung
Digitales Qualitätsmanagement	Fehlerfrüherkennung Qualitätsmanagement: Konzept des Automation Conformance Testing (ACT)

Wertetreiber (vgl. Abschnitt 2.4.)	**Anwendungsszenarien (Use-Cases) für die Demonstrationsanlage** (vgl. Abschnitt 2.7.)
Industrie 4.0-Hebel	**Anwendungsszenario**
Datengesteuerte Bedarfsvorhersage	Big-Data in der Produktion, Mehrwert durch Datenanalyse Online Verfolgung des Produktionsstatus Kollaboratives Supply Chain Management / Einbindung der Lieferanten in die Konzeptplanung / Lieferantenmanagement Prognosen und Bestandsplanung / Frühwarnsysteme zur Risikoreduktion Connected Logistics (Optmierung der Werstschöpfungskette) Entwicklung von Konzepten, Werkzeugen und Algorithmen
Datengesteuerte Produktentwicklung	Big-Data in der Produktion, Mehrwert durch Datenanalyse Automatisierte, anwender- und situationsgerechte technische Dokumentation von Produkten und Maschinen durch Realisierung eines virtuellen Abbilds Entwicklung von Konzepten, Werkzeugen und Algorithmen
Open Innovation	Einsatz von Systems Engineering für die dynamische Produktentwicklung Produktlifecyclemanagement PLM Engineering für Industrie 4.0 Agile Entwicklungsmethoden für die unternehmensübergreifende Entwicklung von Produkten und Lösungen (z.B. kundenintegriertes Engineering) Konzept zur Beherrschung der Komplexität bei der Produktevielfalt im Portfolio Kundenloyalität durch Industrie 4.0
Simultaneous Engineering (gleichzeitige Entwicklung)	Systems-Engineering in der Smart Factory Modellierung technischer Systeme
Prototyping und Simulationsverfahren	Entwicklung eines Modells für die Fabriksimulation (Digital Twin der Smart Factory) Die Demonstrationsanlage soll im 3D-Modell aufgebaut werden / Vernetzung der realen und der virtuellen Welt in der Produktionsplanung Mixed Reality MR im Prototypenbau und der Designentwicklung Virtuelle Produktentwicklung (Digital Twin) und Anlagensimulation (virtuelles Abbild der Maschinen und Fertigungszellen / Durchgängiges digitales Engineering und Losgrösse 1 Rapid Prototyping mit 3D-Druck XR im Vertrieb. Erweiterte Visualisierung am Point-of-Sales, virtuelle individuelle Konfiguration von Produkten / Interaktive Messen
Predictive Maintenance	Intelligente Wartung Remote und Predictive Maintenance Intelligentes Instandhaltungsmanagement

Wertetreiber (vgl. Abschnitt 2.4.)	**Anwendungsszenarien (Use-Cases) für die Demonstrationsanlage** (vgl. Abschnitt 2.7.)
Industrie 4.0-Hebel	**Anwendungsszenario**
Ferndiagnose / Remote Maintenance	Remote und Predictive Maintenance Online Service-Plattform Augmented-Reality-Anzeigen von Arbeits- und Reparaturanleitungen auf Maschinen und Werkzeugen Diagnose TPM (Total Productive Maintenance) / TPM – Effektive Instandhaltung
Virtuelle, geführte Serviceabläufe	Einsatz von Mobilgeräten zur Effizienzsteigerung in Instandhaltung und Störungsmanagement

Tabelle 3: Wertetreiber und Anwendungsszenarien für die Demonstrationsanlage
(eigene Darstellung)

Anmerkung

Als zusätzliches Anwendungsszenario kann aus Sicht des Autors ausserdem die Migration von bestehenden Maschinen- und Anlagen hinzugefügt werden: Wie können bereits existierende Maschinen und Anlagen Industrie 4.0-fähig gemacht werden? Wie sehen dazu die technischen Lösungen von heute am Markt aus und wie werden sie implementiert?

4.2. Interne Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung des Leuchtturmprojekts

4.2.1. Einflussfaktoren aus der PESTEL-Analyse

Die Mehrheit der Einflussfaktoren besteht aus allgemeinen PESTEL-Faktoren, welche in erster Linie direkt auf die Industrie wirken (siehe Anhang Tabelle 4). Alle Stakeholder sind somit von diesen Faktoren betroffen.

Die Stadt Biel sowie der Kanton Bern können als politische Faktoren mit entsprechenden fördernden Massnahmen Einfluss nehmen. Wirtschaftlich ist das Leuchtturmprojekt vom Erfolg der Schweizer Industrie abhängig – sowohl in der Aufbau- als insbesondere auch in der Betriebsphase. Wird in Innovations- und Kundenprojekte investiert, profitiert auch die Demonstrationsanlage indirekt. Ist das nationale und internationale Umfeld für die Unternehmen jedoch schwierig, bleiben die Investitionen aus der Industrie wahrscheinlich aus. Die Schweizer Industrie ist ein zentral wichtiger Faktor für das Leuchtturmprojekt.

Sozialpolitisch sieht sich der Förderverein mit Auswirkungen wie solchen des demografischen Wandels und des Fachkräftemangels konfrontiert. Technologisch kann die Demonstrationsanlage eine Vorreiterrolle übernehmen und den Einsatz von neuen Technologien vorantreiben. Andererseits ist die Abhängigkeit von der Verfügbarkeit (Reifegrad) der Technologien gegeben.

Auch bei den Umweltfaktoren ist das Leuchtturmprojekt massgeblich von den allgemeinen Faktoren, die für die gesamte Industrie gelten, abhängig. Die Demonstrationsanlage kann durch Innovationen helfen, bestimmte Umweltfaktoren positiv zu beeinflussen (z.B. Energieeffizienz). Wenn sich neue arbeitsrechtliche Fragen im Zusammenhang mit der Risikobeurteilung von Collaborative-Robotics-Anwendungen ergeben, kann dies ebenfalls einen Einfluss auf die Umsetzung des Leuchtturmprojekts haben.

4.2.2. Stakeholder-Analyse

Für das Leuchtturmprojekt, welches den Anspruch hat, eine Plattform für die Industrie Schweiz zu bieten, ergeben sich eine Vielzahl von Stakeholdern. Abbildung 7 zeigt das Leuchtturmprojekt und die Stakeholder. Diese Betrachtung ist eine Momentaufnahme. Während der Umsetzung des Leuchtturmprojekts werden weitere Partnerfirmen dazukommen, die einen Einfluss auf das Projekt haben können.

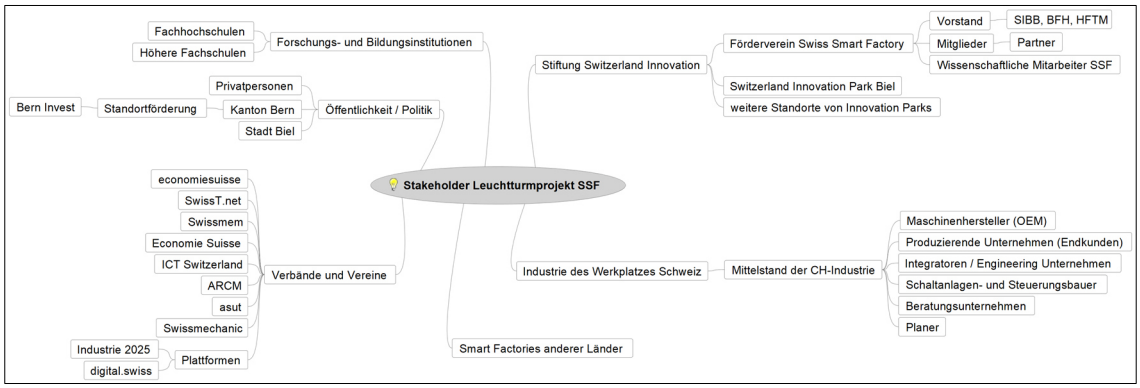

Abbildung 7: Das Leuchtturmprojekt und die Stakeholder
(eigene Darstellung in Anlehnung an Kuster u. a., 2019, S. 94)

Die Stiftung Switzerland Innovation
Als Dachorganisation schafft die Stiftung die Voraussetzungen und die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Forschungs- und Entwicklungskooperation zwischen privaten Unternehmen, den Schweizer Hochschulen sowie weiteren Forschungspartnern.

Der Förderverein Swiss Smart Factory
Der Vorstand setzt sich aktuell aus den drei Gründungsmitgliedern – dem Swiss SIPBB, der Berner Fachhochschule sowie der höheren Fachschule für Technik Mittelland – zusammen. Durch ihre Entscheidungen wird das Projekt gesteuert. Damit ist ihr Einfluss richtungsweisend für das Projekt.
Die Partner sind die Mitgliederfirmen des Fördervereins Swiss Smart Factory. Sie sind die Technologielieferanten und setzen sich aus den verschiedenen Unternehmenstypen unterschiedlicher Grösse zusammen (siehe dazu Abschnitt 4.2.7.). Die Partner haben grosse Erfahrung mit Industrieanwendungen und kennen die Anliegen der Industrie aus der Praxis. Sie haben mit ihrem Mitwirken den grössten Einfluss auf den Erfolg des Projekts. Sie können dem Projektleiter beratend zur Seite stehen und mit ihrem Wissen, ihrer Erfahrung und ihren Ideen einen wesentlichen Beitrag zum Erfolg des Leuchtturmprojekts leisten.
Der gegenseitige Austausch zwischen dem Leuchtturmprojekt in der Schweiz und anderen Smart-Factory-Projekten weltweit kann sich positiv auswirken. Jedes Projekt hat etwas andere Schwerpunkte, und wenn die gewonnenen Erkenntnisse transferiert werden können, profitieren alle davon.

Die Industrie des Werkplatzes Schweiz
Dies ist der Mittelstand, also die grosse, vielschichtige Welt der KMU. Diese sind die Kunden und somit die Anwender. Dazu gehören Unternehmen im Bereich der Fertigung und Produktion (mit diskreter Fertigung oder verfahrenstechnischer Produktion):

- Maschinenhersteller (OEM)
- Produzierende Unternehmen (Endkunden) / Lohnfertiger
- Schaltanlag- und Steuerungsbauer
- Integratoren / Engineering- und Beratungsunternehmen (Dienstleister) / Planer

Der Mittelstand ist die Zielgruppe des Fördervereins. Er ist der wichtigste Abnehmer und Anwender der aus dem Leuchtturmprojekt gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse. Mit seinem Interesse an der Demonstrationsanlage und dem Einbringen von neuen, praxisbezogenen Projekten fördert er die Aktivitäten der SSF und bestätigt damit die Wichtigkeit und den Erfolg dieser interdisziplinären Forschungsplattform.

Verbände und Vereine
Die Verbände und Vereine vertreten die Interessen der KMU in der Industrie. Wenn ihre Mitglieder, die Anwender, vom Leuchtturmprojekt begeistert sind, bestätigt und fördert dies auch das Leuchtturmprojekt. Die Verbände und Vereine betreiben zum Teil eigene Plattformen, um die Themen rund um Industrie 4.0 und Digitalisierung nach aussen zu tragen. Damit erhöht sich die Sichtbarkeit auch für das Leuchtturmprojekt.

Öffentlichkeit und Politik
Hier ist der Kanton Bern mit seiner Standortförderung zu nennen. Berninvest unterstützt das Leuchtturmprojekt finanziell. Hinzu kommt die Stadt Biel, die ein Interesse am Projekt hat, weil dieses eine positive Wirkung auf den Standort ausübt und somit Biel als Forschungs- und Entwicklungsplatz für die Schweizer Industrie hervorhebt. Das Leuchtturmprojekt hat damit auch einen Einfluss auf den Wirtschaftsstandort Biel. Zur Öffentlichkeit gehört auch die Presse.

Fachhochschulen und höhere Fachschulen
Sie sind ein wichtiger Teil dieser Forschungsplattform. Sie können diese mit ihren Ressourcen und ihrem Knowhow unterstützen. Durch die gewonnenen Erkenntnisse aus ihren Forschungsprojekten kann das Leuchtturmprojekt profitieren.
Die Abbildung 8 zeigt das Leuchtturmprojekt als soziales System und versucht, die erwarteten Reaktionen der Stakeholder auf das Projekt darzustellen (vgl. Kuster *u. a.*, 2019, S. 95).

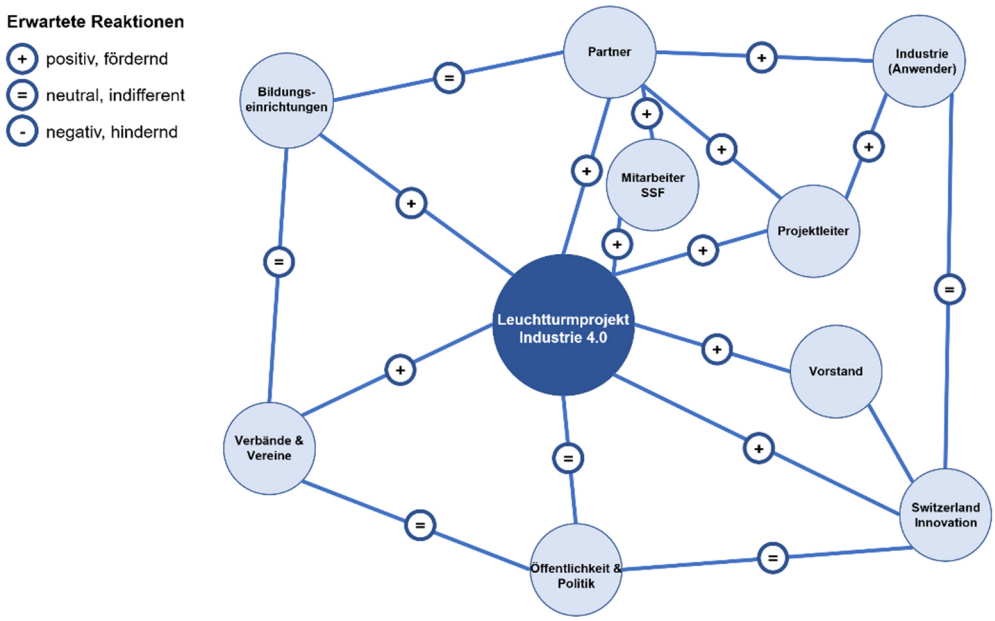

Abbildung 8: Das Leuchtturmprojekt als soziales System
(eigene Darstellung in Anlehnung an Kuster u. a., 2019, S. 95)

4.2.3. SWOT-Analyse

Im folgenden Abschnitt werden die aus der SWOT-Analyse (s. Anhang Tabelle 5) gewonnenen Erkenntnisse vorgestellt, also die herausgearbeiteten Stärken und Schwächen sowie die Chancen und Gefahren mitsamt der daraus resultierenden Strategien als Handlungsmöglichkeiten.

Stärken und Schwächen / Chancen und Gefahren
Die grösste Stärke ist sicher, dass das Leuchtturmprojekt als erste und einmalige Demonstrationsanlage in der Schweiz aufgebaut wird. Es ist ein firmenunabhängiges Projekt, basierend auf dem Vereinsmodell mit gleichberechtigten Mitgliedern. Gestützt wird das Ganze durch den Kanton Bern und die Dachorganisation von Switzerland Innovation. Hinzu kommt die grosse Erfahrung des Leiters der SSF sowie des Projektleiters, die mit ihrer flexiblen Organisation

Zugriff auf Ressourcen und Knowhow haben. Ihre Macher-Mentalität und die pragmatische Herangehensweise helfen ihnen, schnell voranzukommen. Die SSF bietet Freiraum zum Experimentieren und die wissenschaftlichen Mitarbeiter haben eine etwas andere Denk- und Herangehensweise als es in klassischen Industrieprojekten der Fall ist. Dies ist für die Innovation förderlich.
Im Hintergrund spielt ein grosses Netzwerk der SSF, mit verschiedensten Stakeholdern, sowohl national als auch international eine tragende Rolle für die Umsetzung des Projekts. Damit ist auch der Zugang zu Deutschland und somit zu EU-Projekten gesichert. Durch die Partner ist die Verfügbarkeit der neusten Technologien sichergestellt.

Einige Schwächen sind intern in der Organisation zu orten. So besteht das Projektteam aus einigen wenigen Mitgliedern; für so ein grosses Vorhaben scheinen die Ressourcen doch sehr begrenzt zu sein. Die Hauptlast hat der Projektleiter zu tragen, der neben der Leitung auch noch weitere Aufgaben hat. Dies stellt eine enorme Herausforderung dar. Jedes Projektmitglied hat mehrere Aufgaben und Funktionen wahrzunehmen. Zudem verteilt sich das Knowhow auf einige wenige Personen. Ressourcen können im Netzwerk flexibel abgerufen werden, sind aber nicht immer in Kürze verfügbar. Eine genaue Planung der Ressourcen ist somit erforderlich. Im Leuchtturmprojekt ist die Anwendersicht, also die Sicht der KMU, noch zu wenig vertreten. Der Fokus liegt stark auf der diskreten Fertigung; die Anliegen der verfahrenstechnischen Produktionen werden wenig berücksichtigt. Aktuell liegt der Schwerpunkt stark auf der technischen Umsetzung, obwohl es auch die Vermarktung und somit die schweizweite Bekanntmachung sicherzustellen gilt. Weiter ist eine professionelle Betreuung der Partner noch nicht institutionalisiert.

Was die Chancen anbelangt, bietet die SSF eine offene und für alle Stakeholder zugängliche Forschungs- und Entwicklungsplattform. Die Industrie hat in der Schweiz ein hohes Ansehen und ist sehr gut verankert. Somit bietet die SSF eine gute, ausbaubare Basis für die Etablierung einer Projektplattform und eines Marktplatzes für die Industrie. Die Stakeholder können sich am Leuchtturmprojekt aktiv beteiligen und mit ihren eigenen Ressourcen unterstützen. Die Vereine und Verbände können das Projekt mit ihren Aktivitäten publik machen. Und KMU können in starkem Masse von der Demonstrationsanlage profitieren. Damit kann ein Wissenstransfer in die Praxis stattfinden. Hinzu kommt, dass die SSF für das Leuchtturmprojekt eine moderne, zentrale und förderliche Infrastruktur anbietet. So gibt es praktisch keine Einschränkungen in der Umsetzung der Demonstrationsanlage. Zudem können durch die Zweisprachigkeit des Standorts die Interessen und Anliegen sowohl der Deutschschweiz als auch der Westschweiz vertreten werden.

Es bestehen einige Gefahren, die den Zeitplan für die Umsetzung verzögern sowie den Verlauf des Projekts beeinflussen können. Sie liegen einerseits im Spagat zwischen einer Forschungsplattform und einer Demonstrationsanlage, andererseits im Anspruch, den Erwartungen aller Stakeholder gerecht zu werden. Es besteht eine gewisse Gefahr, dass die Stakeholder, insbesondere die Partner, enttäuscht werden. Dies könnte sich nachteilig auswirken, da die ehrenamtlich mitwirkenden Partner zu den wichtigsten Erfolgsfaktoren gehören. Denkbar ist, dass sie

sich zurückziehen, wenn sie keinen wirtschaftlichen Nutzen sehen oder die Konkurrenz zu gross wird. Hinzu kommt, dass die SSF in der Schweiz noch keine Erfahrung hat mit einem derartigen Projekt, und dass auch noch kein vergleichbares Projekt existiert. Weiter besteht die Gefahr, dass die Demonstrationsplattform zu theoretisch und zu forschungsfokussiert bleibt und dass somit die Praxisorientierung für die Anwender zu gering ist.

Resultierende Strategien (s. Anhang Tabelle 6)
Die resultierenden Strategien, also die Handlungsmöglichkeiten, sind sehr vielschichtig. Nachfolgend sind die wichtigsten zusammenfasst.
S-O-Strategien
Als erste Massnahme ist die Bildung von Arbeitsgruppen zu spezifischen Themenbereichen vorzusehen. Hierzu sind die Partner einzubinden. Hinzu kommt die Intensivierung der Vermarktung des Leuchtturmprojekts sowie die Darstellung an den verschiedenen Standorten der Switzerland Innovation Parks. Dies dient der geografischen Abdeckung und ebenfalls der Steigerung der Bekanntheit. Dazu gehören auch unterstützende Aktivitäten an den Standorten wie Präsentationen, Workshops und Schulungen mit Themen zur Smart Factory. Die Zusammenarbeit mit den Verbänden wirkt sich ebenfalls unterstützend aus. Ein weiterer Bereich ist die Etablierung einer Plattform für Geschäftsmodelle. Ausgehend von den Konzepten, Modellen und den Anwendungsszenarien der Smart Factory ist für die industriellen KMU aufzuzeigen, wie daraus neue Geschäftsmodelle entstehen können.
W-O-Strategien
Die auf der Demonstrationsanlage gewonnenen Erkenntnisse sowie die Ergebnisse aus den einzelnen Arbeitsgruppen sollen gemeinsam mit den Stakeholdern publiziert werden. Die Anliegen der Verfahrensindustrie sollen in der Umsetzung mitberücksichtigt werden, wodurch die sich die Attraktivität des Leuchtturmprojekts erhöht. Migrationsprojekte der Industrie sollen als Best-Practice-Anwendungsbeispiele in der Demonstrationsanlage dargestellt und erklärt werden. Der Fokus auf Softwarelösungen ist zu intensivieren.
S-T-Strategien
Die Forscher- und Experimentiermentalität soll mit den Partnern geteilt und gestärkt werden, damit schnelle Resultate erzielt werden können. Die von der SSF und den Partnern benötigten Ressourcen sollen vorausschauend geplant werden, um Engpässe und Verzögerungen zu vermeiden. Zudem ist eine klare Kommunikation bezüglich der Erwartungen an die Stakeholder zu etablieren, um Missverständnisse zu verhindern. Weiter sind die Projektrisiken einzuschätzen und zu beurteilen, damit ein Scheitern bei der Umsetzung verhindert werden kann.
W-T-Strategien
Um die Attraktivität des Leuchtturmprojekts sicherzustellen, müssen die Arbeitsgruppen darüber wachen, dass der Bezug zur Praxis und somit zur Realität der Anforderungen und Bedürfnisse gegeben ist. Die Betreuung sowie die Kommunikation sollen institutionalisiert werden, um Enttäuschungen zu verhindern. Aufgrund der Vielzahl an Anwendungsszenarien muss eine Priorisierung stattfinden, damit möglichst keine Verzögerungen aufgrund von allenfalls fehlenden Ressourcen entstehen.

4.2.4. Ergebnisse aus den Interviews

Erwartungen/Ansprüche sowie Herausforderungen und Erfolgsfaktoren

Grundsätzlich sind sich alle Befragten einig, dass die Industrie auf dem Werkplatz Schweiz vom Leuchtturmprojekt der SSF in irgendeiner Weise profitieren kann. Das Ziel von Industrie 4.0 muss also sein, die Arbeitsplätze in der Schweiz zu sichern und ausgelagerte Geschäftsaktivitäten vom Ausland wieder in die Schweiz zu holen, um die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer KMUs zu erhalten oder möglicherweise gar zu steigern.

Die in der Inhaltsanalyse definierten Hauptkategorien sind:

a) Erwartungen und Ansprüche sowie Herausforderungen und Erfolgsfaktoren in Bezug auf den **Förderverein**.
b) Erwartungen und Ansprüche sowie Herausforderungen und Erfolgsfaktoren in Bezug auf die **Demonstrationsanlage**.

Diese Hauptkategorien werden weiter unterteilt in folgende Subkategorien:

- Förderverein: Leuchtturmprojekt allgemein (allg.), SSF intern (int.), Stakeholder / Partner (stake.), betriebswirtschaftlich (betr.).
- Demonstrationsanlage: technisch (tech.), betriebswirtschaftlich (betr.), organisatorisch (orga.).

Die Auswertung zeigt, dass beim Förderverein die meisten Nennungen sich auf die Stakeholder beziehen. Bei der Demonstrationsanlage zielen die meistgenannten Aspekte auf die technische Ausprägung. Ausgehend von den fallbezogenen, thematischen Zusammenfassungen in der Themenmatrix (s. Anhang Abschnitt 7.5.1) werden die Ergebnisse unten erläutert.

Förderverein

Leuchtturmprojekt allgemein

Das Leuchtturmprojekt ist eine Initiative, die dem regionalen und dem nationalen Innovations- und Forschungssystem verpflichtet ist. Dabei soll Biel auch international für die Industrie 4.0-Forschung als Standort in der Schweiz hervorgehoben werden.

Das Leuchtturmprojekt und seine Interdisziplinarität müssen grundsätzlich der Vision von Industrie 4.0 entsprechen und offen und neutral sein. Ziel ist, Industrie 4.0 fassbar zu machen und für KMU verständlich und realistisch darzustellen.

Das Leuchtturmprojekt hat auch zur Aufgabe, als Netzwerkplattform Aktivitäten für den Austausch unter allen Beteiligten zu bieten. Um diesen Austausch zu fördern und die Leuchtturmwirkung zu erzeugen, soll die Kommunikation institutionalisiert und ausgebaut werden. Der Anspruch ist, dass die SSF diese Aufgabe wahrnimmt und die entsprechenden Ressourcen bereitstellt. Hinzu kommt der Anspruch, den Erwartungen der Partnerfirmen gerecht zu werden. Das Leuchtturmprojekt soll ihnen eine Plattform bieten, auf welcher sie sich und ihre Dienstleistungen präsentieren können. Weiter muss das Leuchtturmprojekt mit der Demonstrationsanlage dem Anspruch der Anwender – d.h. der KMUs auf dem Werkplatz Schweiz – genügen. Es muss für die Schweizer Unternehmen einen Mehrwert liefern. Dabei gibt es verschiedene Spannungsfelder (z.B. komplexe Technik vs. einfache Darstellung). Die Herausforderung ist, in diesen das richtige Mass in der Ausgestaltung zu finden.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass das Leuchtturmprojekt nur schwerlich bis zum Ende durchgeplant werden kann, jedoch die Vision immer präsent sein soll. Es braucht sehr gute Projektleitungs- und Projektmanagementkompetenzen. Die Umsetzung von interdisziplinären Projekten bedeutet oft viel Koordinationsaufwand und stellt hohe Anforderungen an das Projektmanagement.
Für die Umsetzung wäre es gemäss den Befragten sinnvoll, wenn das Projekt nicht nur interne Meilensteine hätte, sondern ein gemeinsames Ziel, wie zum Beispiel die Teilnahme an einer Messe. Mit dem Aufbau einer gewissen Dringlichkeit und mit der Erwartungshaltung, die zur Erreichung dieses Ziels gegenüber den Partnern erzeugt würde, könnte das ganze Projekt profitieren. Für den Verein ist es entscheidend, dass die Partner auch über die Umsetzung der Demonstrationsanlage hinaus Mitglieder bleiben.

SSF intern
Die Interdisziplinarität stellt generell für die SSF intern eine grosse Herausforderung dar. Das gilt insbesondere für die Forschung, wenn vielleicht die Spezifikationen nicht von Anfang an definiert sind. Für die Umsetzung braucht der Projektleiter die nötigen Freiräume und muss sich voll und ganz auf das Leuchtturmprojekt konzentrieren können. Er benötigt interne Unterstützung und eine gute Mitarbeit der wissenschaftlichen Mitarbeiter. Zudem braucht das Team jemanden, der sich der Koordination mit den Partnerfirmen annehmen kann. Die Umsetzung muss gut geplant werden, und es müssen relativ rasch erste Erfolge sichtbar sein.

Stakeholder / Partner
Generell herrscht bei den Befragten die Meinung, dass die Erwartungen an die Partner sehr hoch sind. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass alle Partner ehrenamtlich am Projekt mitarbeiten und somit kein Druck bezüglich der Erwartungen erzeugt werden kann. Sie sollen in erster Linie verstehen, was die SSF mit dem Leuchtturmprojekt versucht aufzubauen, und sich die Vision sowie die Einzigartigkeit dieser Plattform immer wieder bewusst werden. Es wird erwartet, dass sich die Partner aktiv am Leuchtturmprojekt beteiligen und es nicht nur finanziell unterstützen. Sie sollen stolz sein, Mitglied der Smart Factory zu sein, und auch aus Idealismus und Freude an der Innovation mitmachen. Die Partner sollen verstehen, dass es für sie als Unternehmen einen Mehrwert bringt.
Die Erwartung der SSF ist, dass es strategisch gute Partner sind, welche die neuesten Technologien anbieten und damit das Projekt weiterbringen. Die Herausforderung wird sein, dass jeder Partner seinen Platz und eine sinnvolle Aufgabe in der Demonstrationsanlage findet, die sein Unternehmen repräsentiert. Eine Gleichbehandlung muss garantiert und der richtige Mix aus den Produkten und Lösungen aller Partner gefunden werden.
Schlüsselpartner und damit Erfolgsfaktoren, um Industrie 4.0 darzustellen, sind die Integratoren, also die Firmen, die das Wissen haben, wie die Dinge umgesetzt werden müssen. Diese Kompetenz ist im SSF-Team nicht vorhanden. Deshalb ist schon der Aufbau der Demonstrationsanlage eine grosse Herausforderung.
Ein zentraler Anspruch an das Leuchtturmprojekt ist, dass ein Ausgleich zwischen Technologie-Anbietern und den Bedürfnissen der produzierenden Unternehmen geschaffen wird. Dabei soll der Austausch zwischen Anbietern und Anwendern weiter verstärkt und institutionalisiert wer-

den. Die SSF soll als Netzwerkplattform die Koordination von Industrieprojekten als Dienstleistung übernehmen und quasi wie eine Plattform zur Projektvermittlung agieren. Es sind sich alle Befragten einig, dass der Spagat zwischen einer Forschungsplattform und einer Demonstrationsanlage eine sehr grosse Herausforderung ist. Den Grund dafür sehen sie in der Tatsache, dass man sich mit dem Projekt nicht einschränken will und für möglichst alle Stakeholder eine interessante Plattform und ein entsprechendes Angebot bieten will. Ein Ansatz, wie diesem Umstand Rechnung zu tragen ist, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

Demonstrationsanlage

Technische Erwartungen und Ansprüche

Die Demonstrationsanlage soll eine Produktionsumgebung sein, die funktioniert, modular und flexibel aufgebaut ist und sich anpassen und verändern kann. Der Anspruch ist, die Technik realistisch zu zeigen und zu erklären. Die Herausforderung liegt darin, auf der einen Seite die komplexe Technik zu beherrschen und teilweise zu entwickeln, und auf der anderen Seite die Anwendungsszenarien so einfach und verständlich wie möglich darzustellen. Ziel ist, dass die Methoden, Modelle und Konzepte von Industrie 4.0 aufgezeigt werden.

Weitere Herausforderungen sind die Beherrschung der Technologien und der Einsatz von verschiedensten Komponenten von unterschiedlichen Herstellern. Es gilt, die in sich geschlossenen Systeme der einzelnen Hersteller auf einer übergeordneten Ebene miteinander zu verbinden. Als Erfolgsfaktor muss die erforderliche Transparenz in der Demonstrationsanlage realisiert werden. Dazu sind die Normierung und Standardisierung der Schnittstellen und Datenflüsse erforderlich.

Ein Anspruch an die Anlage ist auch, das Konzept der additiven Fertigung und der Losgrösse 1 sowie den Produktionsprozess möglichst anschaulich aufzuzeigen. Durch attraktive Anwendungsszenarien (Use-Cases) sollen neue, innovative Möglichkeiten vordemonstriert werden. Wichtig ist dabei, dass zu den Modellen, der Methodik und der Architektur eine gute Story-Line angeboten wird. Ein interessantes Anwendungsszenario ist die Umstellung und Umrüstung auf ein neues Produkt. Die Anlage soll dies möglichst teilautomatisiert und flexibel umsetzen. Der Fokus muss auf der kundenspezifischen Serienfertigung liegen.

Verschiedene Arbeitsplatzmodelle sollen dargestellt werden: ein manueller Arbeitsplatz, ein Arbeitsplatz mit einem kollaborativen Roboter sowie ein vollautomatisierter Arbeitsplatz. Diese drei Modelle lassen sich gut kombinieren. Damit soll auch die Möglichkeit geschaffen werden, um den Anwendungsfall des Stillstands zu zeigen. Die Produktionsplanung soll darauf entsprechend reagieren und in Zukunft mit Hilfe der KI eine Umplanung realisieren können.

Die Demonstrationsanlage soll als Produktionsumgebung im Verbund mit der Infrastruktur und der Anbindung an verschiedene andere Systeme wie dem PLM oder der Produktionsplanung gezeigt werden. Weiter besteht die Herausforderung, dass insbesondere im IT-Bereich nicht alle im Markt verfügbaren Lösungen gleich gut akzeptiert sind. So ist zu berücksichtigen, dass für KMU gewisse Softwaretools nicht geeignet sind – sei es aus preislichen Gründen oder weil sie einfach zu mächtig sind.

Auf der Demonstrationsanlage sollen auch Messwerte zur Produktivität, OEE und Effizienzsteigerung erzeugt werden können, eine weitere Herausforderung. Auf einer Demonstrations- und Forschungsanlage wird nicht ständig produziert. Die Messresultate müssen daher relativiert

werden, und die Anlage kann nicht als realistisch vergleichbare Referenz herangezogen werden. Trotzdem bestehen Erwartungen, dass Messwerte erzeugt und Kennzahlen angezeigt werden können.
Im Sinne der Nachhaltigkeit muss die Kompatibilität der Schnittstellen sichergestellt werden. Die Anlage muss jederzeit erweitert und ausgebaut werden können. Die Schnittstellen müssen so definiert sein, dass die Interaktion der neuen Anlagenteile auf eine einfache Art und Weise stattfinden kann. So sehen die Befragten die Modularität als Erfolgsfaktor für die Nachhaltigkeit.

Betriebswirtschaftliche Erwartungen und Ansprüche
Es soll der Anwendungsfall für die Anlageoptimierung durch Ermittlung von Engpässen und neuralgischen Punkten gezeigt werden. Die Erwartung ist, dass die Folgen von Änderungen (z.B. ein neues Produkt oder eine Formatumstellung) betriebswirtschaftlich ermittelt werden können. Modelle für die Entscheidungsfindung, ob sich die Produktion auf der bestehenden Anlage rechnet oder ob eine Investition in eine weitere Produktionslinie gerechtfertigt ist, sind gefordert. Weiter bestehen Anforderungen zur Preisberechnung von Produkten. KMU müssen für ein Produkt, welches in Losgrösse 1 produziert wird, im Voraus einen Preis berechnen können. Es sollte möglich sein, die Anlage aufgrund mathematischer Modelle zu simulieren, und mit Hilfe der bekannten Parameter (Energieverbrauch, Verschleiss, Arbeitsstunden, etc.) eine Produkt-Vollkostenrechnung zu generieren. Damit könnten die Kosten pro produziertes Produkt in Echtzeit bestimmt werden.

Organisatorische Erwartungen und Ansprüche
Der Anspruch ist klar, dass die Demonstrationsanlage möglichst wenig stillstehen soll. Es wird eine operative Herausforderung sein, die Funktionsfähigkeit und gleichzeitig die stetige Erweiterung zu garantieren. Um diese Anforderung zu erfüllen, braucht es ein modulares Konzept. Es muss möglich sein, einen automatisierten Prozess durch einen manuellen Arbeitsplatz zu ersetzen oder zu überbrücken, so dass der Betrieb gewährleistet ist. Wird ein neuer Anlageteil für den Einsatz vorbereitet, soll aufgezeigt werden, wie das vorgängige Entwickeln, Testen und Simulieren durch Industrie 4.0 möglich war. Dies mit dem Ziel, ein rasches und unterbruchfreies Portieren auf die Anlage zu ermöglichen.
Für die Umsetzung soll ein Ansatz des Proof-of-Concept gewählt werden, wo die Anwender pragmatisch in kleinen Schritten Erfahrungen machen und Konzepte anwenden können. Eine Art Do-it-yourself-Ansatz zu wählen wäre wünschenswert, wo für definierte Themen eine gut erklärte Herangehensweise in kleinen Schritten aufgezeigt wird, so z.B. die Migration einer älteren Maschine hin zu einer vernetzten. Die Demonstrationsanlage würde somit eine Referenzanlage im Sinne eines Prototyps darstellen.
Ein weiterer wünschenswerter Aspekt des Transfers ist, dass einzelne Ansätze oder Technologieanwendungen abstrahiert und aus der Demonstrationsanlage in die Industrie transferiert werden können; dass sich Anwendungen also in der Praxis wiederfinden lassen.
Die Befragten können sich gut vorstellen, den Transfer in die Praxis durch Veranstaltungen und Workshops an der SSF zu fördern.
Die Besucher der Anlage sollen nicht nur Zuschauer sein, sondern als Akteure in den Produktionsprozess miteinbezogen werden. Durch das Erlebte wird der Besucher selbst aktiv im

Suchen nach neuen Ideen für die Umsetzung in der eigenen Firma. Die Anlage soll die Basis bilden, um die Konzepte zu diskutieren. Sie soll informieren, begeistern, schulen und Anwendungsszenarien aufzeigen.

4.2.5. Erfolgsfaktoren der Smart Factory in Deutschland

Die SFKL (Smart Factory Kaiserslautern) in Deutschland wurde im Jahre 2005 durch Prof. Dr. Zühlke als Verein gegründet. Der Umstand, dass die Forschung mit der Industrie zu einem sehr frühen Zeitpunkt zusammengebracht wurde, war einer der wichtigen Erfolgsfaktoren. Ein weiterer Faktor war, dass relativ früh damit begonnen wurde, eine Anlage zu bauen, die sehr praxisbezogen war. Die Anlage wurde zum ersten Mal auf der Hannover Messe gezeigt. Mit der Initiative Industrie 4.0 im Jahr 2011 kam ein erheblicher Aufschwung. Als ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist die Herstellervielfalt im Verein zu nennen. Jedes Mitglied hat eine Stimme und kann sich aktiv einbringen und seine Themen platzieren.
Für die Umsetzung und den Transfer gibt es in Deutschland die Mittelstands-Kompetenzzentren, welche aufzeigen wie Industrie 4.0 umgesetzt werden kann. Ein weiteres Instrument ist die Transfer-Initiative, die dafür sorgt, dass die Ergebnisse und Ideen in die Praxis umgesetzt werden. Diese Initiative zeigt auf, was es der Industrie an Produktivität und Effektivität bringt.
Die SFKL hat zudem eine eigene Industrie 4.0-Demonstrationsanlage, wo die Mitglieder mit ihren Produkten und Lösungen vertreten sind. Weiter gibt es an der SFKL verschiedene Arbeitsgruppen zu ausgewählten Themen. Die Themen, die sich weiterentwickeln, werden auf der Demonstrationsanlage implementiert. Ziel ist es, jeweils für die Hannover Messe die Neuerungen und Erkenntnisse zu präsentieren, was sich ebenfalls motivierend auf die Partner auswirkt.
Ein Erfolgsfaktor ist auch, dass die Anlage stetig erweitert und erneuert wird; damit behält sie ihren Leuchtturmcharakter. Es wurde ein neues Leitbild 2025 ins Leben gerufen mit dem Ziel, die autonome Produktion darzustellen.
Ein weiterer wichtiger Faktor ist die aktive Mitarbeit der Partnerfirmen. Allein könnte die SFKL z.B. die Teilnahme an der Messe finanziell und personell gar nicht umsetzen. Weiter gibt es eine Abstufung im Vereinsmodell, das heisst es gibt auch Partner, die nur als Sponsoren auftreten und ihr Firmenlogo zur Verfügung stellen. Die Partner erwarten von der SFKL einen konkreten Input zu Industrie 4.0. Sie sehen den Vorteil darin, dass sie mitgestalten können. Neu sind auch einige Anwender dabei. Diese wollen erkennen, wie und wofür sie die Konzepte für sich adaptieren könnten. Um dem gerecht zu werden, wurden sogenannte Anwenderforen gegründet, dadurch konnte konkret auf die Bedürfnisse der Anwender eingegangen werden.

4.2.6. Unterschiede zur Schweiz

Die SFKL wurde in einer Zeit gegründet, als der Begriff Industrie 4.0 noch gar nicht existierte. Heute ist Industrie 4.0 allgegenwärtig und auf einem hohen Entwicklungstand. Als das Projekt in Deutschland gestartet wurde, waren die Firmen bereit, selbst viel Geld in das Projekt zu investieren. Dies im Unterschied zur heutigen Situation in der Schweiz.
Ein weiterer Unterschied liegt in der Zusammensetzung der Partnerfirmen. An der SFKL sind hauptsächlich die Entwicklungsabteilungen, also direkt F&E, in die technische Umsetzung involviert; in der Schweiz sind es oft Niederlassungen von grossen Firmen, deren Ansprechpartner vorwiegend aus Vertrieb und Marketing sind. Somit ist der Zugang ein anderer, und für den Projektleiter entsteht eine andere Herangehensweise. Zudem ist nicht der Druck vonseiten der Entwicklung da, neue Produkte auf einen bestimmten Zeitpunkt hin, z.B. rechtzeitig für eine Messe, zu entwickeln.
In der SFKL liegt der Fokus stärker auf der Optimierung der Serienproduktion – also mehr auf einfachen Serienprodukten, die auf smarten Maschinen produziert werden. In der Schweiz sollen intelligente, individualisierte Produkte auf smarten, flexiblen Maschinen produziert werden.
Ein weiterer Unterschied liegt in der Zusammensetzung der Partnerfirmen. In der Schweiz sind Startups und Integratoren dabei. Dies ist in Deutschland nicht der Fall. Als Empfehlung für das Leuchtturmprojekt in der Schweiz erachten die Befragten vor allem die Macher-Mentalität als sehr wichtig. Einfach mal starten, auch wenn noch nicht ganz klar ist, wohin die Reise geht. Dann müssen die richtigen Partner mit an Bord sein, und es gilt, ihnen die konkreten Spezifikationen zu liefern. Hinzu kommt die klare Kommunikation an die Partner bezüglich des Zeitplans und der Erwartungen, wo im Projekt ihre Unterstützung gewünscht ist. Auch die Verantwortlichen in Deutschland können aus der langjährigen Erfahrung kein Patentrezept nennen, um den Spagat zwischen einer Forschungsplattform und einer Demonstrationsanlage zu meistern.

4.2.7. Ergebnisse aus der Umfrage

Zur Umfragebeteiligung

Insgesamt konnten Antworten von 31 Partnerfirmen verwendet werden, deren Teilnahme vom Sekretariat der SSF bestätigt wurde. Als Ausgangslage wurden im ersten Teil der Umfrage allgemeine Angaben zu den Unternehmen gesammelt. Die wichtigsten Ergebnisse werden nachfolgend gezeigt und erläutert. Der vollständige Report findet sich im Anhang 7.9.

Abbildung 9 zeigt, dass die Komponentenhersteller und die Dienstleister die beiden grössten Gruppen bilden. Mehrfachnennungen waren möglich, da einige Unternehmen z.B. sowohl als Komponentenhersteller agieren als auch Dienstleistungsanbieter (Engineering, Beratung) sind.

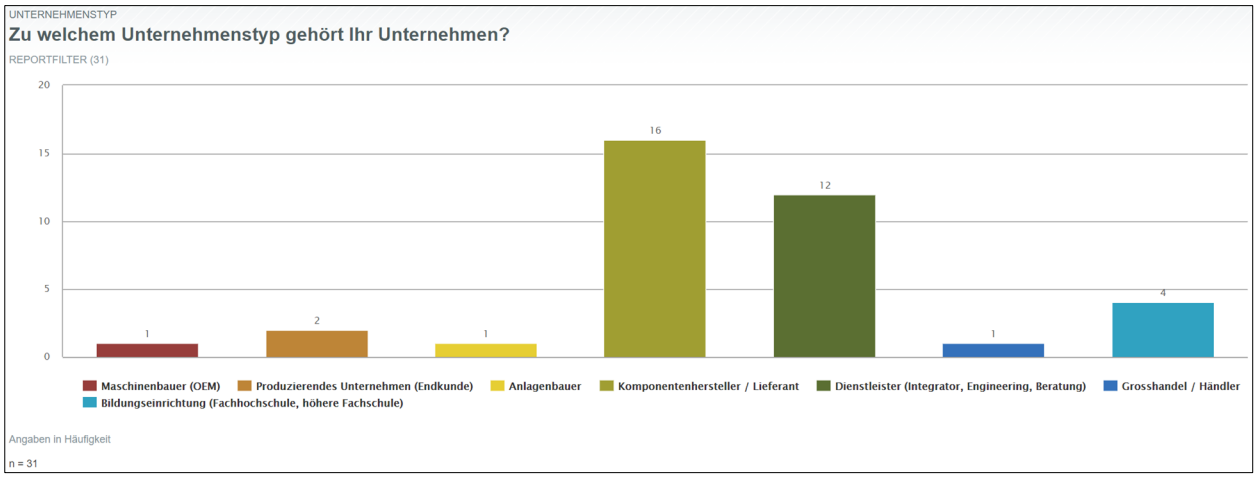

Abbildung 9: Unternehmenstyp, 37 Nennungen von 31 Partnern

(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Von den 31 Partnerfirmen in der Schweiz sind 24 weltweit tätig. Abbildung 10 zeigt, dass in der Schweiz der grösste Teil der Firmen KMU sind, d.h. zwischen 50 und 250 Mitarbeiter zählen. Die Mehrheit der 24 weltweit tätigen Firmen beschäftigen über 1’000 Mitarbeiter.

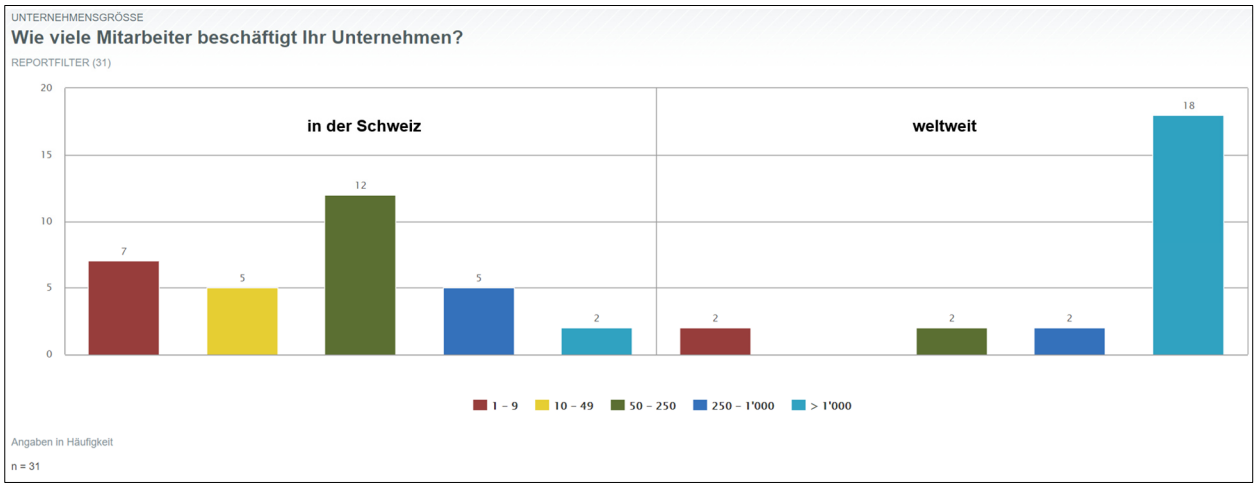

Abbildung 10: Unternehmensgrösse von 31 Firmen

(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Der grösste Teil der Firmen hat ihre Kernkompetenzen im Bereich von OT (23), rund die Hälfte im jenem von IT (15) und ein kleiner Teil (7) in beiden Bereichen.

Kann die Industrie resp. können insbesondere die KMU auf dem Werkplatz Schweiz vom Leuchtturmprojekt der SSF profitieren? Soweit die Einstiegsfrage, die den Partnerfirmen gestellt wurde. Die Abbildung 11 zeigt ein sehr positives Bild. Deutlich über 50 Prozent der Befragten sind der Meinung, dass die Industrie in «starkem bis sehr starkem Masse» davon profitieren kann.

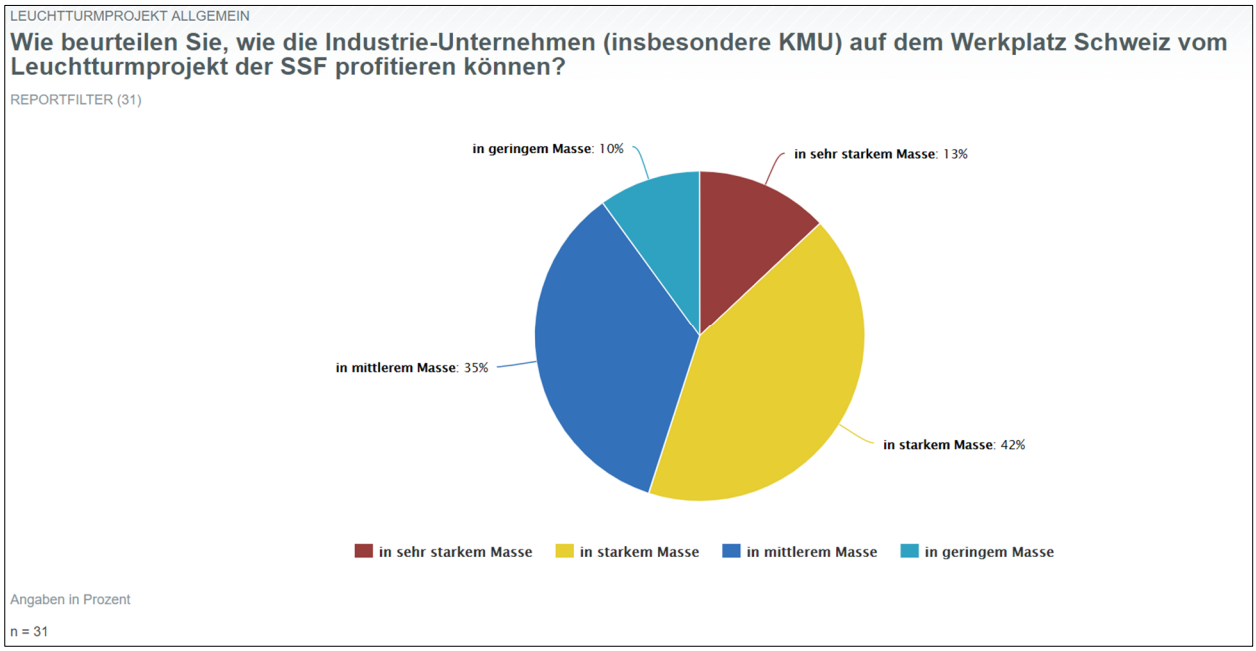

Abbildung 11: Wirkung des Leuchtturmprojekts, n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Bei der Frage nach den relevanten Wertetreibern für das Leuchtturmprojekt, lassen sich die Ergebnisse in Abbildung 12 grob in drei Gruppen einteilen. So sehen die Befragten die Bereiche «Anlagen- und Maschinenauslastung», «Planung und Vorhersage» sowie «Ressourcen und Prozess» mit 80 bis 87 Prozent als wichtig bis sehr wichtig an. Hervorzuheben ist die Bewertung des Bereichs «Planung und Vorhersage» (42 Prozent sehr wichtig). Eine zweite Gruppe bilden die Bereiche «Arbeit» und «Time-To-Market», welche von 77 Prozent als wichtig bis sehr wichtig angesehen werden. Die dritte Gruppe erachtet mit 61 bis 68 Prozent die Bereiche «Lagerhaltung», «Instandhaltungskosten» und «Qualität» als wichtig bis sehr wichtig.

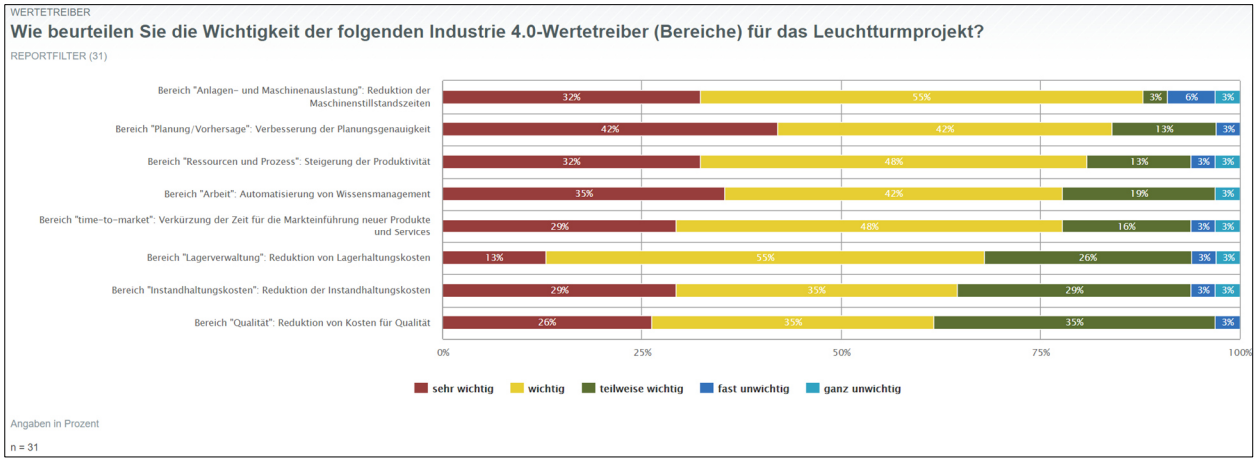

Abbildung 12: Wertetreiber, pro Kategorie gilt n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Abbildung 13 zeigt, dass die Möglichkeit, neue Partnerschaften zu erkennen, als wichtigster Punkt bewertet wird (90 Prozent «trifft zu» und «trifft voll zu»). Ähnlich hoch werden die Punkte «Innovationsfähigkeit ausbauen» und «Projekte schneller umsetzen» angegeben. Die Punkte «neue Geschäftsmodelle entwickeln» und «die eigene Wettbewerbsfähigkeit steigern» werden ebenfalls mit einer hohen Wichtigkeit angesehen. Der Punkt «Produktivität und Kapazität steigern» wird mit einer etwas weniger hohen Wichtigkeit bewertet, die weiteren Punkte mit einer noch geringeren.

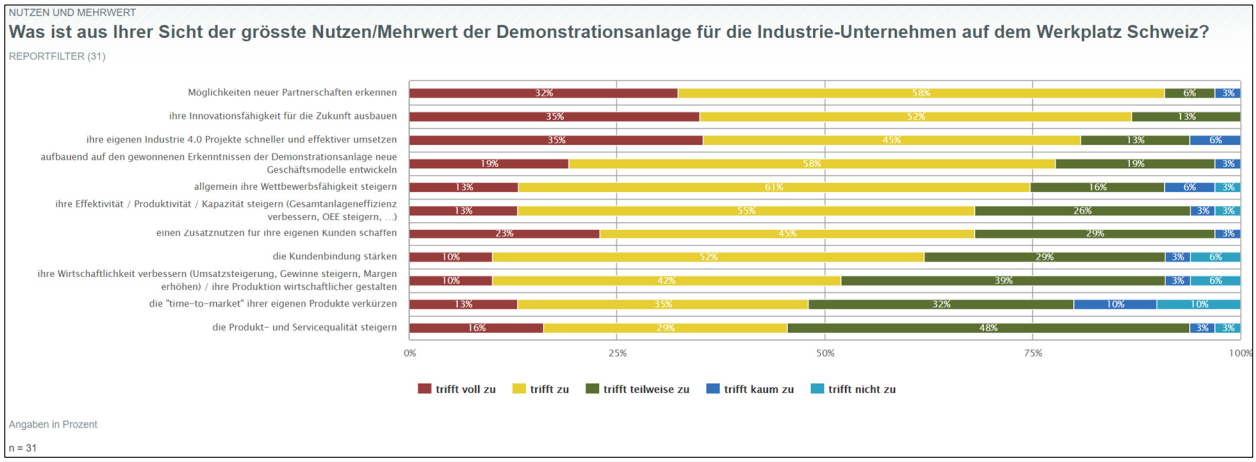

Abbildung 13: Nutzen der Demonstrationsanlage, pro Kategorie gilt n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

In Abbildung 14 werden die Erwartungen sehr deutlich. Alle der Befragten bewerteten die ersten drei Punkte mit «wichtig» bis «sehr wichtig». Das Leuchtturmprojekt soll die Ansätze und Konzepte von Industrie 4.0 darstellen und den Mehrwert sichtbar machen. Erstaunlich hoch bewertet wird der Punkt «Konzepte zu Arbeit 4.0» (100 Prozent «wichtig» bis «sehr wichtig»). Mit 97 resp. 93 Prozenten sind die «Vorteile und den Nutzen einer Smart Factory darstellen» und die «Möglichkeiten aufzeigen, wie mit Daten ein Mehrwert generiert werden kann» ebenfalls hoch bewertet. Eine hohe Bewertung erfahren auch die «Migration bestehender Anlagen» und die «Smart Services». Der letzte Punkt – «eine vollumfänglich 7/24 produzierende Anlage» – wird hingegen als weniger wichtig angesehen.

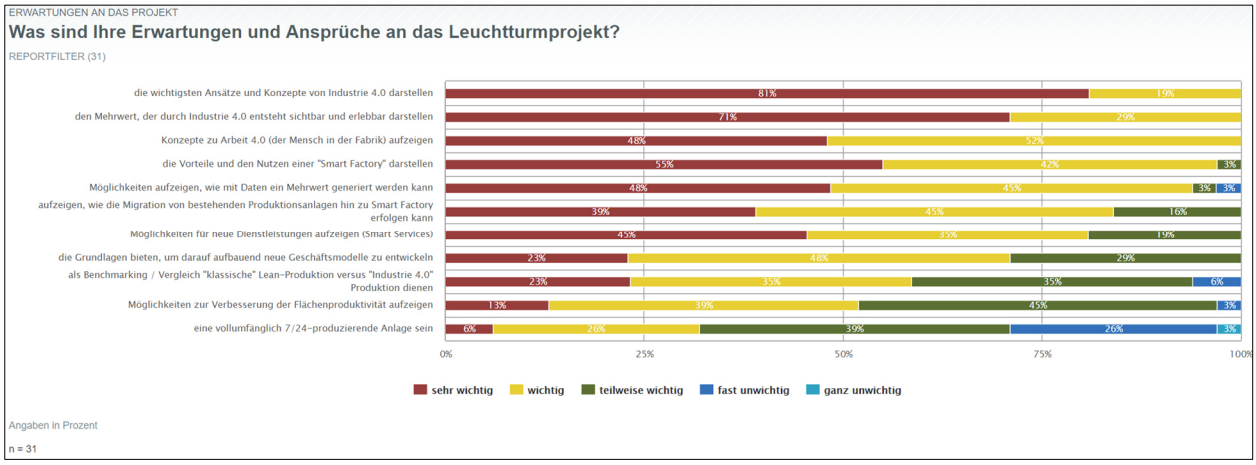

Abbildung 14: Erwartungen / Ansprüche an das Leuchtturmprojekt, pro Kategorie gilt n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Abbildung 15 zeigt, dass sich der Grossteil der Partner (65 Prozent) für die Präsentation der Erkenntnisse und Ergebnisse Unterstützung wünschen. Weiter wünschen sich etwa die Hälfte der Partner Unterstützung bei der Implementierung ihrer Produkte und etwas weniger bei der Umsetzung und Adaptierung auf der Demonstrationsanlage.

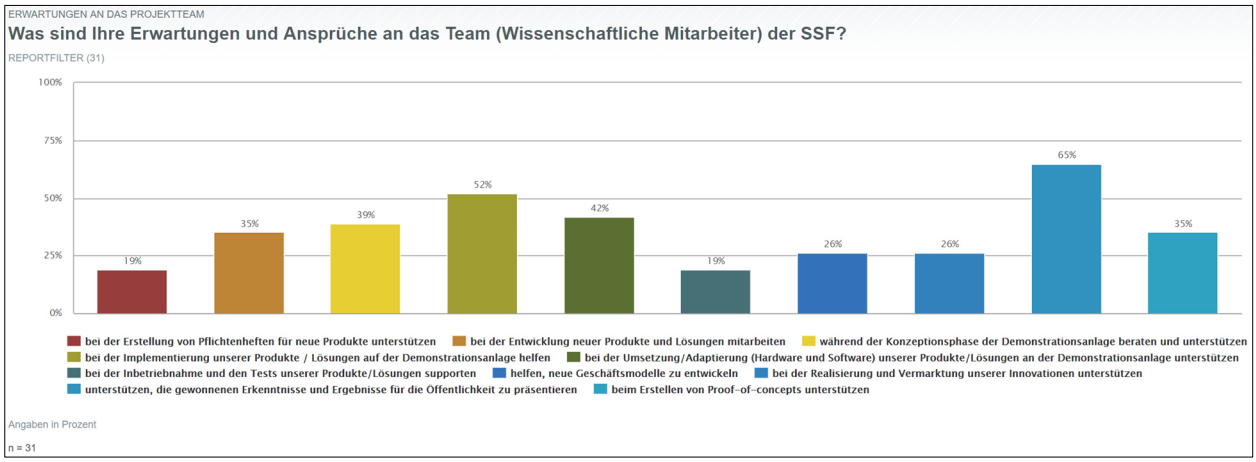

Abbildung 15: Erwartungen / Ansprüche an das Team, pro Kategorie gilt n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Wie die Abbildung 16 zeigt, sind die Bedürfnisse bezüglich der Nutzung sehr unterschiedlich. Mit 19-21 Nennungen wurden am häufigsten gewählt: «die Nutzung des Leuchtturmprojekts als Netzwerkplattform», «Gewinnung neuer Erkenntnisse für die Umsetzung von Industrie 4.0-Ansätzen», «Präsentation der eigenen Produkte» und «Kundenbesuche und Kundenevents». Relativ oft wurden auch genannt: «Kundengewinnung und Umsatzsteigerung», «Demonstration von neuen Technologien» und «Sichtbarkeit am Markt erhöhen». Erstaunlicherweise hat die Nutzung der Demonstrationsplattform für Smart Factory Ansätze (OEE, Produktivitätssteigerung) nur wenig Nennungen erhalten.

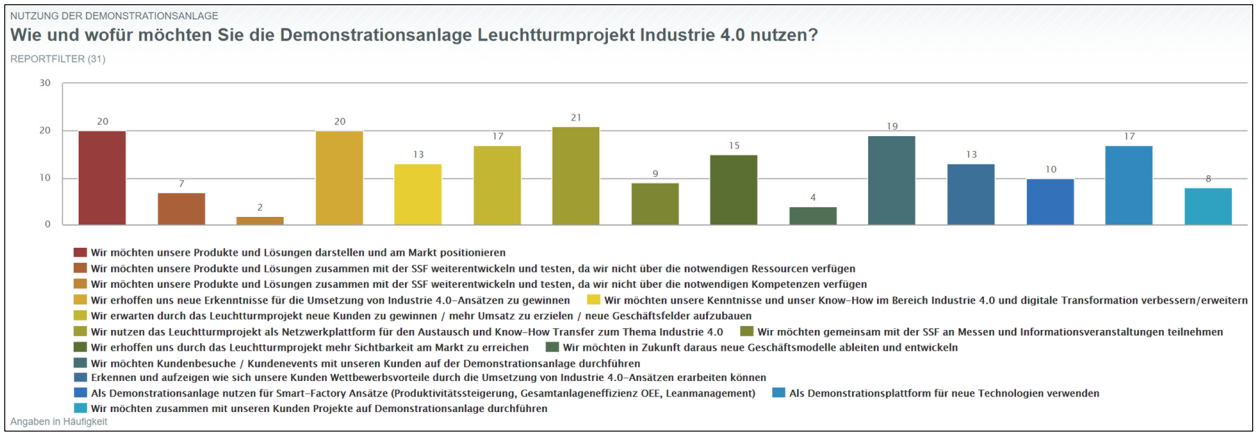

Abbildung 16: Nutzung der Demonstrationsanlage, pro Kategorie gilt n=31
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Abbildung 17 zeigt, dass keine der Kategorien auch nur die Hälfte der möglichen Nennungen erreicht. Die meistgenannten (12 Nennungen) sind: «nur spezifisch auf Produkte und Lösungen bezogen» sowie «für die Mitarbeit in einer Arbeitsgruppe». Am wenigsten Nennungen gibt es für die regelmässige Unterstützung.

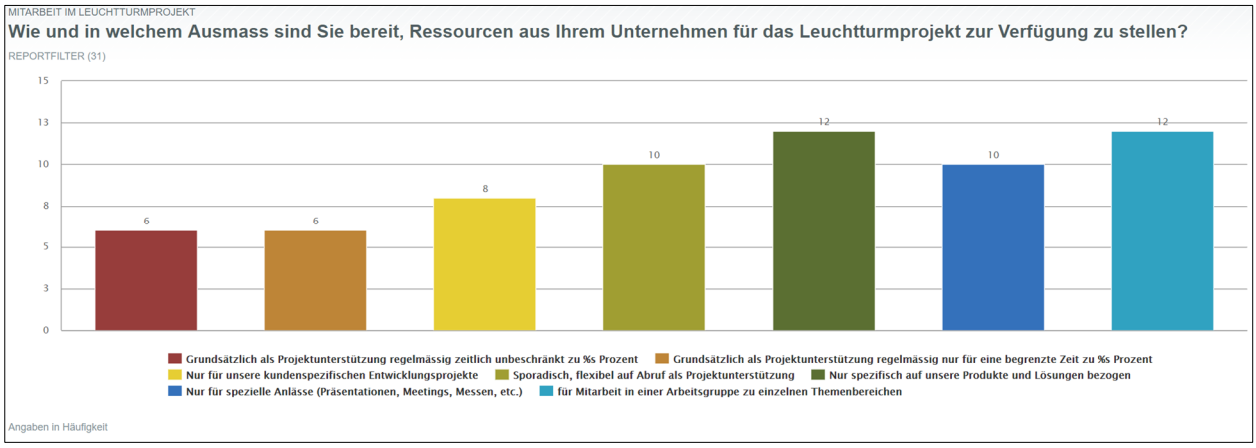

Abbildung 17: Ressourcen der Partner, pro Kategorie gilt n=31
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Abbildung 18 zeigt, dass die vier ersten Kategorien, welche Kommunikation enthalten, zum grössten Teil als «wichtig» bis «sehr wichtig» bewertet werden. Dazu gehören die Kommunikation über den Status, jene zu den Erwartungen, zur Transparenz über Entscheidungen sowie regelmässige persönliche Gespräche. Am geringsten wird die Wirksamkeit eines regelmässigen Newsletters eingestuft.

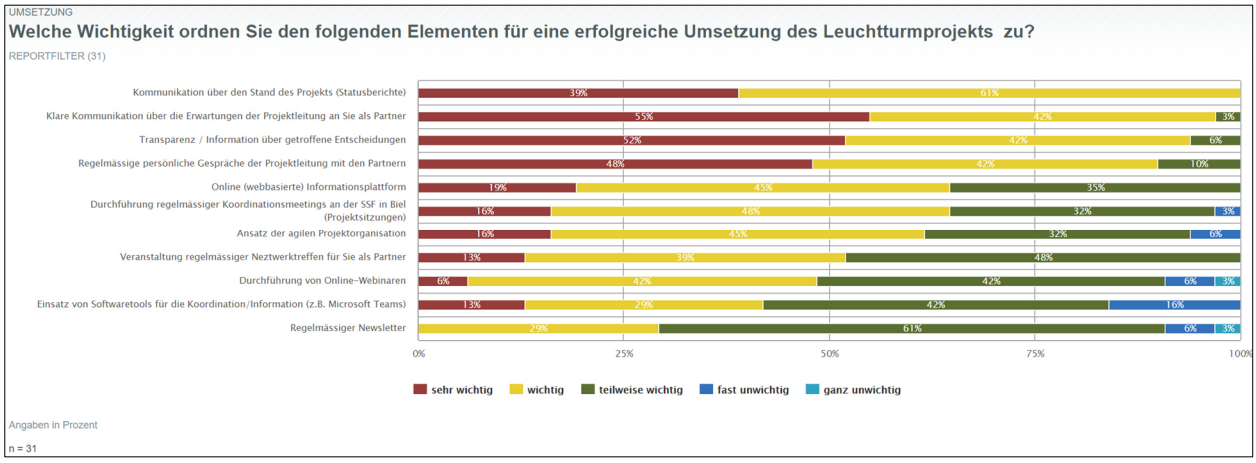

Abbildung 18: Umsetzung des Leuchtturmprojekts, pro Kategorie gilt n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

Aus Abbildung 19 wird ersichtlich, dass verschiedene Kategorien des Transfers in die Praxis hoch bewertet werden. «Kundenevents an der SSF in Biel», «Führungen an der Demonstrationsanlage» und «Internet Plattform/Marktplatz/Foren» werden von 94 bis 97 Prozent der Befragten als «wichtig» bis «sehr wichtig» eingestuft.

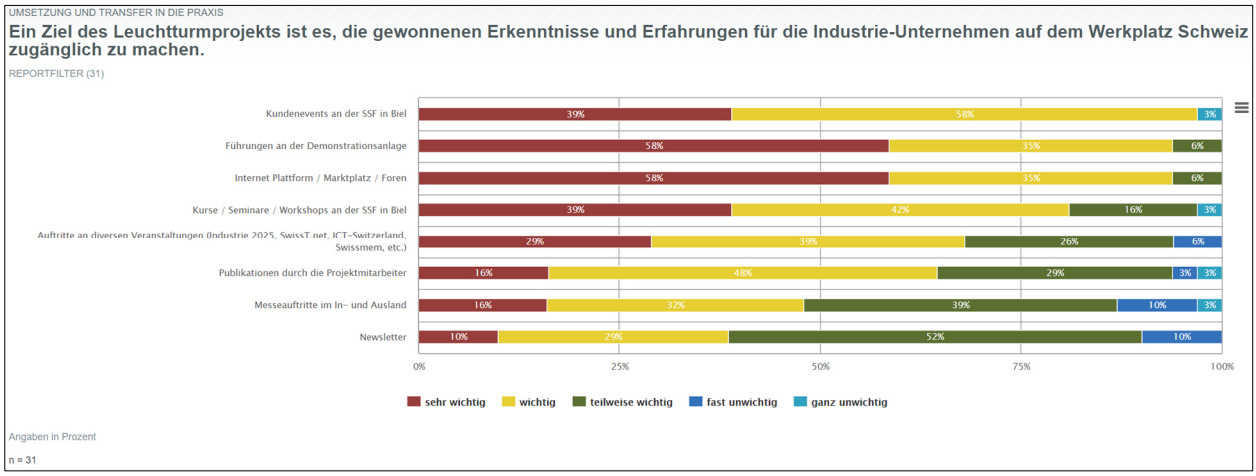

Abbildung 19: Transfer in die Praxis, pro Kategorie gilt n=31=100%
(Darstellung übernommen aus Unipark, 2019 [online])

5. Diskussion / Konklusion / Empfehlungen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst, kommentiert und daraus Empfehlungen für die Umsetzung ausgearbeitet.

Das Leuchtturmprojekt ist eine Demonstrationsanlage, die nach den Prinzipien einer Smart Factory aufgebaut wird. Die Smart Factory weist eine grosse Vielzahl an Aspekten auf. Sie ist die Krönung der industriellen Fertigung und ist eingebettet in das Ökosystem einer digitalisierten Welt mit dem Internet der Dinge und Dienste. Dahinter stehen die Prinzipien von Industrie 4.0. Die in der Arbeit aufgeführten Treiber hinter Industrie 4.0 sind für viele Unternehmen die Motivationsfaktoren, die sie dazu bewegen, aktiv Industrie 4.0-Projekte anzugehen. Die Komplexität muss beherrscht und deren Barriere überwunden werden. Ausgehend vom Lean-Management, wo Verschwendung und Ineffizienz minimiert werden, kann die Produktion durch Industrie 4.0 auf ein neues Niveau von Individualisierung und Selbstorganisation gehoben werden. Anpassungsfähigkeit und Flexibilität sind Voraussetzungen dazu, um am Markt bestehen zu können.

Die in der Literatur beschriebenen Technologien und deren Reifegrad sind eine der wichtigsten Voraussetzungen für Industrie 4.0. Dies gilt demnach auch für das Leuchtturmprojekt; die Ergebnisse der Experteninterviews bestätigen diese These. Die Schweiz als hoch technologisiertes Land kann mit der Forschung eine Vorreiterrolle übernehmen. Wichtig ist, dass die Industrie dabei unterstützt wird, und die wichtigen Technologien in der richtigen Kombination eingesetzt werden. Nur so kann ein maximaler Nutzen daraus resultieren.
Die SSF mit der Demonstrationsanlage kann wichtige Erkenntnisse liefern und die Konzepte für die Smart Factory, welche in der Literatur aufgezeigt werden, umsetzen. Ebenfalls kann die Umsetzung der CPS in der Praxis 1:1 veranschaulicht werden. Bisher sind die CPS immer noch ein theoretischer Ansatz, deshalb sind Anwendungen in der Industrie gefordert. Dies wiederspiegelt sich auch in den Ergebnissen der Interviews sowie der Umfrage; die Stakeholder verlangen nach praxisnahen Beispielen. Eine flexible Fertigungszelle der Demonstrationsanlage kann z.B. als CPS ausgestaltet werden. Was die Darstellung der intelligenten Produkte anbelangt, die auch eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung sind, wird eine entsprechende Implementierung in der Smart Factory erwartet. Hier hat der Autor gewisse Zweifel, ob die in der Literatur erwähnten Ansätze (PDM, D3, PLM, MVP, BOO) auch entsprechend veranschaulicht werden können, wenn kein eigenes Produkt entwickelt wird. Der Schwerpunkt soll auf die Aspekte von Big Data, Smart Data sowie Software und den daraus resultierenden Mehrwert gelegt werden. Dazu gehören auch die Themen der Cybersecurity und IT-Sicherheitsmassnahmen inkl. Risikomanagement.
In allen Bereichen zeigen sich schlummernde Wertschöpfungspotenziale. Ansätze, wie diese Potenziale erschlossen werden können, sind unterschiedlich und immer im Kontext des jeweiligen Unternehmens und seines Umfeldes zu sehen. Der Vorteil von Industrie 4.0 ist, dass es für Unternehmen unzählige Möglichkeiten gibt, einzusteigen.
Dass die Ansätze von Industrie 4.0, wie in der Literatur beschrieben, einen Mehrwert und somit einen Nutzen für den Kunden ergeben, hat sich in der Praxis bestätigt. So wurden jüngst im Rahmen des Industrieforums 2025 Umsetzungsprojekte der Industrie vorgestellt und explizit auf

deren Nutzen hingewiesen. Die Angaben in der Literatur bezüglich der möglichen Potenziale, sind nach Meinung des Autors mit Vorsicht zu betrachten. Die Resultate, die sich mit der Umsetzung der Anwendungsszenarien erzielen lassen, sind immer abhängig vom vorliegenden Kontext des jeweiligen Unternehmens. Eine Garantie für die Erreichung der Werte gibt es nicht. Daher soll der Fokus bei der Umsetzung der Demonstrationsanlage auf dem Prinzip (Konzepte und Modelle) der Anwendungsszenarien liegen. Diese müssen zuerst selektiert und priorisiert werden.
Die der Arbeit zugrunde liegenden Ergebnisse zeigen, dass es verschiedene Erfolgsfaktoren gibt, die zu einem Wettbewerbsvorteil führen können. Die Schweizer Industrie ist für ihre exzellente Qualität bekannt. Wenn jetzt individualisierte Produkte mit derselben Qualität und zu Kosten, die nicht weit über jenen von Serienprodukten liegen, hergestellt werden können, ist dies mit Sicherheit ein Wettbewerbsvorteil. Wobei der Autor der Meinung ist, dass Kunden für den Mehrwert, der ihnen durch die individualisierten Produkte entsteht, auch bereit sind, etwas mehr zu bezahlen. Zu nennen sind zudem die neuen Möglichkeiten von Dienstleistungen, die durch Industrie 4.0 entstehen. Die Schweiz als Dienstleistungsland kann davon profitieren. Hinzu kommt der Einsatz von Robotern in Kollaboration mit dem Menschen. Obwohl die Schweiz in der Robotikforschung und Entwicklung nicht führend ist, stehen die Chancen gut, dass die hiesige Industrie gerade im Hinblick auf die «Produktionsarbeit 4.0» eine Vorreiterrolle einnehmen kann – und dass daraus eine erhöhte Wettbewerbsfähigkeit entsteht.
Wenn die KMU durch das Leuchtturmprojekt rasch den Mehrwert von Industrie 4.0 und die Praxistauglichkeit der Konzepte erkennen, werden sie auch die Herausforderungen in kleinen schnellen Schritten meistern.
Generell wird die Literatur zu Industrie 4.0 und Smart Factory sehr stark von deutschen Autoren geprägt. Dies ist nicht erstaunlich, da der Begriff Industrie 4.0 und das gleichnamige Forschungsprojekt von der deutschen Regierung ins Leben gerufen wurde. Die Überlegungen dazu sind weitgehend aus den Anforderungen und Bedürfnissen der deutschen Industrie entstanden, welche sehr stark von der Automobilbranche geprägt ist. Somit ist der Fokus im Wesentlichen auf Effizienz- und Produktivitätssteigerung der Serienproduktion gerichtet. Die Zusammensetzung des Schweizer Industriemarkts ist jedoch etwas anders, insbesondere im Maschinenbau, wo sich sehr viele Unternehmen auf die Fertigung von Sondermaschinen spezialisiert haben, bei welcher nur mittlere bis kleine Serien mit z.T. kundenindividuellen Anpassungen nachgefragt werden. Der Fokus liegt hier mehr auf Flexibilität und Individualität. Dies äussert sich auch in den Interviews und den Umfragen. So sind die Anforderungen mehr auf eine flexible Smart Factory gerichtet, wogegen in der Literatur die Steigerung der Effizienz und die Maximierung der Produktivität als eine der Grundvoraussetzungen beschrieben werden. Der Vorteil für das Leuchtturmprojekt ist, dass die Ansätze, Modelle und Konzepte sowie die Erkenntnisse zu Industrie 4.0 von allgemeiner Natur und somit grundsätzlich auf die Industrie im Allgemeinen anwendbar sind.

Auf alle Stakeholder wirken die PESTEL-Faktoren auf unterschiedliche Art und Weise und beeinflussen deren Verhalten in Bezug auf das Leuchtturmprojekt. Der Erfolg des Leuchtturmprojekts ist somit indirekt vom Erfolg der Schweizer Industrie abhängig. Die Einflussfaktoren wirken auf den Förderverein und das Leuchtturmprojekt gleichermassen.

In der Analyse konnten keine Faktoren identifiziert werden, welche die Durchführung des Leuchtturmprojekts verhindern könnten. Der erfolgreichen Umsetzung steht demnach aus Sicht des Autors nichts im Wege. Aufgrund der sich verändernden Einflussfaktoren kann es jedoch zu Änderungen und Verzögerungen kommen. Diese Risiken sind zu bewerten und mit in die Projektplanung einzubeziehen. Wichtig ist, dass das Projektteam sich diesen Einflussfaktoren bewusst ist und sie stets im Auge behält.
Die grosse Anzahl unterschiedlichster Stakeholder und die mögliche Konkurrenzsituation sind eine Herausforderung für den Vorstand und insbesondere für das Projektteam. Es gilt den richtigen Mix aus Rücksichtnahme auf die Ansprüche und die Umsetzungsgeschwindigkeit zu finden. Es besteht die Gefahr, dass verschiedene Einwände der Vereinsmitglieder die Umsetzung verzögern. Bei der Zusammensetzung der Partnerfirmen liegt der Schwerpunkt der Kompetenzen auf der OT. Dies deckt sich auch mit der Feststellung eines Experten, welcher darauf hinweist, dass der IT-Bereich im Leuchtturmprojekt ausgebaut werden sollte.

Zusammenfassend zeigt die SWOT-Analyse eine sehr solide Basis an Stärken, die im Verlaufe der Umsetzung ausgebaut werden können. Hinzu kommen zahlreiche Chancen, welche, kombiniert mit den Stärken, ein grosses Potenzial für die erfolgreiche Umsetzung darstellen. Demgegenüber gibt es einige Schwächen und Gefahren, die z.B. darin bestehen können, dass während der Umsetzung die nötigen Ressourcen nicht zur Verfügung stehen. Die resultierenden Strategien werden in den Handlungsempfehlungen nochmals aufgegriffen und zusammenfassend erläutert.

Die Partner sind überzeugt, dass die Industrie vom Leuchtturmprojekt profitieren kann. Die Umfrage zeigt klar, dass im Partnernetzwerk zwei Gruppen stark dominieren, jene der Komponentenhersteller und jene der Dienstleister. Es bleibt zu prüfen, ob bei den Dienstleistern genügend Integratoren mit dabei sind. Gemäss den Expertengesprächen sind sie die Schlüsselpartner für die Umsetzung des Leuchtturmprojekts.
Es zeigt sich, dass insgesamt eine sehr positive und fördernde Haltung gegenüber dem Leuchtturmprojekt herrscht. Die Partnerfirmen sind momentan noch etwas am Abwarten, sobald aber die Umsetzung gestartet ist, werden diese ihre unterschiedlichen Ansprüche kundtun. Vermutlich wird dann eine Priorisierung notwendig.
Die Erwartungen und Ansprüche der befragten Stakeholder sind im Grossen und Ganzen ähnlich gelagert. Während die eine Seite (SSF) schon sehr konkrete und detaillierte Vorstellungen bezüglich der Ausgestaltung der Demonstrationsanlage hat, bestehen auf der anderen Seite (Partner) noch wenig konkrete Erwartungen. Eines ist aber allen gemeinsam: Die Demonstrationsanlage soll eine funktionsfähige Anlage sein, die möglichst wenig stillsteht. Sie muss die Ansätze und Konzepte von Industrie 4.0 verständlich und greifbar darstellen und den Mehrwert, der für die Industrie entsteht, aufzeigen. Es ist ganz wichtig, dass gezeigt wird, wie durch die Industrie 4.0-Ansätze eine Produktion der Losgrösse 1 zu den Kosten der Serienproduktion möglich ist. Damit der Transfer zu den Anwendern funktioniert, müssen die Anwendungsszenarien möglichst realitätsnah sein.

Aus den Experteninterviews geht auch die Erwartung hervor, nicht nur die Themen der diskreten Fertigung, sondern auch die Verfahrensindustrie mit ihren Anliegen in der Demonstrationsanlage entsprechend zu berücksichtigen.

In der Umfrage wurde die Wichtigkeit des Wertetreibers «Anlagen- und Maschinenauslastung» sehr hoch bewertet. Ihm wird in der Literatur ein hohes Potenzial zugesprochen (vgl. Tabelle 2). In Bezug auf den Nutzen und Mehrwert des Leuchtturmprojekts wurden die Aspekte «Möglichkeit neuer Partnerschaften erkennen» und «die Innovationsfähigkeit ausbauen» am höchsten gewichtet. Demgegenüber wird in der Literatur, die Steigerung der Produktivität stärker gewichtet.
Die «Produktequalität» und «Kosten für Qualität» werden vergleichsweise tief bewertet. Dies erstaunt, wird die Qualität insgesamt in der Literatur doch als eine wichtige Voraussetzung gesehen. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass diese Aspekte längerfristig durch solche wie die Kundenzufriedenheit und den Kundenfokus als wichtigste Elemente abgelöst werden.
Die Partner erwarten, dass Konzepte zu «Arbeit 4.0» und der Verarbeitung von Daten aufgezeigt werden, was mit den Aussagen bezüglich der Wichtigkeit in der Theorie übereinstimmt.
Die Bedürfnisse bezüglich der Nutzung der Demonstrationsanlage sind sehr unterschiedlich. Dies ist vermutlich dem Umstand zuzuschreiben, dass die Partner noch nicht abschätzen können, was die Anlage konkret leisten kann. Zudem sind die Partner eher bereit aktiv mitzuarbeiten, wenn ihre eigenen Produkte involviert sind.
Weitere wichtige Punkte sind die Kommunikation und die Öffentlichkeitsarbeit. Das zeigen sowohl die Interviews als auch die Umfrage. Es wird erwartet, dass Transparenz bezüglich getroffener Entscheidungen herrscht, und dass die Erwartungen an die Partner klar kommuniziert werden. Zudem werden regelmässig persönliche Gespräche der Projektleitung gewünscht. Mit der Öffentlichkeitsarbeit kann die Leuchtturmwirkung auf die ganze Schweiz übertragen und ein wichtiger Beitrag zur Attraktivität des Leuchtturmprojekts geleistet werden.

Ein weiteres wichtiges Thema, welches sich in der Inhaltsanalyse der Interviews zeigt, ist die Kostenrechnung. Im Zusammenhang mit der Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Unternehmen ist dies ein zentrales Thema. In der Schweiz, wo in Klein- und Kleinstserien produziert wird, ist die Preisbestimmung z.B. für eine Sondervariante von grosser Bedeutung. Es sind Lösungen zur Produkt-Vollkostenrechnung gefordert, die in Echtzeit aufzeigen, wie der Preis eines Produkts in Losgrösse 1 in der Smart Factory bestimmt werden kann. Weiter sind Lösungen zur Entscheidungsfindung bei produktionstechnischen Fragen erforderlich und wichtig für die Schweizer Industrie.
Bezüglich der Nutzung der Demonstrationsanlage haben die Partner unterschiedliche Ansprüche. In erster Linie soll die Anlage als Netzwerkplattform dienen. Dabei sollen die Kunden- und Projektakquise, die Präsentation der eigenen Produkte und Lösungen sowie die Möglichkeit von Kundenbesuchen im Zentrum stehen. Der Autor ist der Meinung, dass ein gutes Betriebskonzept für die Demonstrationsanlage erforderlich ist, damit der Zugang für alle Stakeholder gewährleistet ist.
In der Literatur ist deutlich zu erkennen, dass sich im Zusammenhang mit Industrie 4.0 und den Mitarbeitern viele neue Fragen bezüglich der Arbeit in einer Smart Factory stellen. Auch die

Umfrage hat ergeben, dass das Interesse bei den Partnerfirmen zum Thema «Arbeit 4.0» von grossem Interesse ist.
Bezüglich der Umsetzung und dem Wissenstransfer in die Praxis erwarten die Partner eine gute Mischung aus einerseits der Möglichkeit, die Demonstrationsanlage vor Ort zu besuchen, andererseits aus der Möglichkeit, mittels einer Online-Internetplattform an den Aktivitäten der SSF teilnehmen zu können. Dies erscheint dem Autor ebenfalls wichtig, damit das Leuchtturmprojekt für die Industrie zu einer Art Marktplatz werden kann, welcher eine gewisse Eigendynamik entwickelt.

Zu den grossen Herausforderungen gehören gemäss Interviews, die richtige Balance zwischen Forschung und Demonstration zu finden, die Demonstrationsanlage so realitätsnah wie möglich aufzubauen, den Ansprüchen der Partnerfirmen gerecht zu werden und diese nicht zu enttäuschen. Auch muss die Neutralität der Forschungsplattform gewähreistet sein. Die grösste Herausforderung sei, den Ansprüchen der Schweizer Industrie zu genügen. Davon hängt schlussendlich der Erfolg und die Fortführung des Leuchtturmprojekts ab.

Ein Aspekt, der in den Erwartungen und Anforderungen der Stakeholder an das Leuchtturmprojekt zu wenig spürbar wird, ist die Wirtschaftlichkeit im Sinne des Kundennutzens. In der letzten Umfrage von Swissmem wird bei der Frage nach dem Nutzen von Industrie 4.0 an erster Stelle die «Schaffung von Zusatznutzen für den Kunden» genannt. Es ist eine zentrale Anforderung an das Leuchtturmprojekt, den KMU zu zeigen, welcher wirtschaftliche Nutzen durch geeignete Massnahmen für ihre Kunden entstehen kann. Auch sieht der Autor bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Smart Factory noch Bedarf. Die Erwartung ist, dass die Wirtschaftlichkeit der ganzen Wertschöpfungskette auf der Demonstrationsanlage dargestellt werden kann. Es ist wichtig, dass die Schweizer Industrie den Nutzen der Demonstrationsanlage erkennt – und dabei realisiert, dass sie im Sinne der eigenen Wettbewerbsfähigkeit von den Ergebnissen und Erkenntnissen profitieren kann. Wenn dies geschieht, entsteht für beide Seiten – für den Förderverein und den Schweizer Mittelstand – eine Win-Win-Situation. Die stetig ansteigende Mitgliederzahl des Fördervereins belegt das Interesse der Industrie am Leuchtturmprojekt.

Bestätigung der Hypothesen
Mit den in der Arbeit vorliegenden Ergebnissen und Erkenntnissen können die eingangs aufgestellten Hypothesen weitgehend bestätigt werden. Mit Industrie 4.0 und dem Konzept der Smart Factory können die Produktivität und die Flexibilität eines produzierenden Unternehmens signifikant erhöht und somit seine Wettbewerbsfähigkeit gesteigert werden. Durch das Leuchtturmprojekt mit seiner Demonstrationsanlage können die Schweizer Industrie und der Werkplatz Schweiz insgesamt gestärkt werden.

Fazit: Die interdisziplinäre Forschungsplattform der SSF kann einen wichtigen und zukunftsweisenden Beitrag für die KMU auf dem Werkplatz Schweiz leisten.

5.1. Handlungsempfehlungen für die Umsetzung

Für die Umsetzung des Leuchtturmprojekts ergeben sich sowohl inhaltliche als auch organisatorische Schwerpunkte, die im Folgenden erläutert werden.

Hinter jedem Anwendungsszenario (vgl. Tabelle 3), welches in der vorliegenden Arbeit nur summarisch dargestellt werden konnte, verbergen sich z.T. sehr umfangreiche und komplexe Themen, die eine vertiefte Auseinandersetzung erfordern würden, um zur Umsetzungsreife zu gelangen. Deshalb empfiehlt es sich, aus der ganzen Vielfalt von Anwendungsszenarien zuerst eine Auswahl zu treffen. Dies geschieht am besten zusammen mit den Partnern in Workshops. Die ausgewählten Szenarien könnten anschliessend in Arbeitsgruppen weiter ausgearbeitet werden. Dazu gehört auch die Erarbeitung eines Pflichtenheftes. Die Arbeitsgruppen setzen sich am ehesten aus Partnern und Anwendern zusammen und werden von den Mitarbeitern der SSF moderiert.

Inhaltliche Handlungsempfehlungen: Der Fokus im Leuchtturmprojekt liegt momentan auf der Automatisierungstechnik. Dies zeigt auch die Zusammensetzung der Partnerfirmen und die internen SSF-Ressourcen. In der Literatur ist erkennbar, dass sich im Bereich der Softwarelösungen viel neues Potenzial im Hinblick auf neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle ergibt. Deshalb ist zu empfehlen, aufbauend auf der OT, inhaltlich den Schwerpunkt auf die IT zu setzen und die entsprechenden Ressourcen bereitzustellen. Weitere Themen, die es mittels Demonstrationsanlage erleb- und visualisierbar zu machen gilt, sind die Kostenrechnung (Preiskalkulation) und die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Berücksichtigung der Wettbewerbsfähigkeit der Industrie.
Bezüglich den Zielmesswerten und deren Darstellung ist zunächst zu überlegen, welche Kennzahlen sich denn in der Demonstrationsanlage auch sinnvoll messen lassen. Wünschenswert wäre, auch wenn es sich nicht um eine Serienproduktion handelt, die in der Übersichtstabelle (vgl. Abschnitt 4.1.1.) aufgeführten Zielmesswerte in einer Art und Weise darstellen zu können, dass zunächst einmal die aktuellen Messwerte aus der Produktion der Smart Factory (Ausstoss, Qualität, OEE, etc.) visualisiert werden. Dies kann z.B. in einem geeigneten Dashboard auf einem grossen Bildschirm erfolgen. In einem weiteren Schritt müssten auch die durch Optimierungsmassnahmen herbeigeführten Produktivitätssteigerungen aufgezeigt werden können, wenn auch nur durch eine Simulation.

Die Integration der Mitarbeiter in der Smart Factory-Produktionsumgebung ist auf der Demonstrationsanlage entsprechend umzusetzen. Es ginge darum zu zeigen, wie der Mensch als Mitarbeiter in einer durchgängig virtualisierten, vernetzten und selbstorganisierten Fabrik seine Erfahrung in Ausnahmesituationen einbringen kann, und wie seine Kreativität und Flexibilität in die Prozesse einfliessen können. Dies vor dem Hintergrund, die Beschäftigung in der Schweiz auch in Zukunft zu sichern, sich gegen die Niedriglohnländer behaupten zu können und somit die zukünftige Produktionsarbeit wettbewerbsfähig zu gestalten.

Organisatorische Handlungsempfehlungen
Damit der Austausch zwischen den Anbietern und den Anwendern besser wird – und somit der Praxisbezug gewährleistet werden kann – soll das Angebot für die Anwender ausgebaut werden. Dafür sind Gefässe wie Workshops und anwenderspezifische Anlässe vorzusehen. Damit der Transfer in die Praxis optimal geschieht, ist zu überlegen, welche geeigneten Instrumente sich anbieten. Ein offizielles Programm als SSF-Angebot wäre wünschenswert. Darin sollte die SSF die Koordination von Forschungsprojekten als eine Dienstleistung übernehmen.
Weiter scheint es sinnvoll, themenbezogene Arbeitsgruppen zu initiieren, wo sich Anwender mit ihren Anliegen und Bedürfnissen einbringen können. Die Anwender müssen dazu nicht zwingend Mitglieder des Fördervereins sein. Eine weitere Massnahme ist die Bekanntmachung und Vermarktung des Leuchtturmprojekts, damit nicht nur die Industrie in der Region Biel davon profitieren kann. Es ist sinnvoll, die Demonstrationsanlage auch in einer Form an den verschiedenen anderen Standorten der Switzerland Innovation Parks zu präsentieren. So können Aktivitäten wie Präsentationen, Workshops, themenbezogene Schulungen oder Publikationen dazu beitragen, die Ergebnisse und Erkenntnisse zu verbreiten. Von der Vermarktung des Leuchtturmprojekts profitieren auch die Partnerfirmen. Im unterstützenden Sinn soll auch die Zusammenarbeit mit den Verbänden intensiviert werden.
Ein zentrales Element für die Umsetzung ist die Kommunikation mit den Stakeholdern, insbesondere mit den Partnerfirmen. Die Ausarbeitung eines Kommunikationskonzepts wird daher empfohlen. Es muss genau festgelegt werden wie, mit welchen Mitteln und über welche Kanäle mit den Partnern kommuniziert wird.

Die Verfügbarkeit der Ressourcen (Mitarbeit) zu jedem Zeitpunkt der Umsetzung ist für den Zeitplan des Projekts zentral wichtig. Es ist deshalb empfehlenswert, hierzu einen Ressourcenplan zu erstellen, um auch die Erwartungen diesbezüglich gegenüber den Partnern kommunizieren zu können. Es muss geprüft werden, wann und in welchem Ausmass ihre Mitarbeit erforderlich sein wird.

Dem Umstand und der Herausforderung, dass die Demonstrationsanlage zum einen eine Forschungsplattform und zum anderen eine produzierende Smart Factory sein soll, kann mit geeigneten Massnahmen begegnet werden:

- Es braucht einen klar strukturierten Betriebs- und Aktivitätenplan.
- Es braucht eine klare, transparente Kommunikation darüber, was die Besucher vor Ort zum entsprechenden Zeitpunkt erwartet.
- Die Demonstrationsanlage muss so konzipiert sein, dass sie flexibel auf äussere Ereignisse reagieren kann, ohne dass die Produktion beeinträchtigt wird.

Wichtig ist zudem, dass die Zugänglichkeit vor Ort gewährleistet ist. Es ist zu definieren, wer, wie und wann auf der Demonstrationsanlage Zutritt hat. Weiter braucht es eine klare Regelung der Besichtigungsmöglichkeiten und eine Verwaltung der Besuchszeiten.
Im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit ist eine Teilnahme an der Leitmesse für industrielle Automatisierung SINDEX im Sommer 2020 vorzusehen. Konzepte, Modelle und Ergebnisse können hier einem breiten Fachpublikum präsentiert werden. Zudem besteht die Möglichkeit, das Leuchtturmprojekt und die SSF-Aktivitäten publik zu machen.

Die Demonstrationsanlage ist mit dem Standort in der Region Biel geografisch gut positioniert. Die Lage ist zentral, und die Verbindung zwischen der Deutsch- und der Westschweiz ist auch sprachlich sichergestellt. Jedoch sind die strukturellen Möglichkeiten und Kapazitäten (Räumlichkeiten, etc.) ein begrenzender Faktor. Andererseits bietet die virtuelle Welt, insbesondere das Internet, hier fast unbegrenzte Möglichkeiten, die Leuchtturmwirkung auf die ganze Schweiz ausstrahlen zu lassen.
Aufgrund der Erkenntnisse aus der vorliegenden Arbeit wird als wichtigste Massnahme deshalb der Aufbau einer Online-Plattform als Marktplatz angesehen. Diese Plattform zeigt die virtuelle Darstellung der Demonstrationsanlage sowie die Dienstleistungen der SSF im Rahmen des Leuchtturmprojekts. Alle Stakeholder haben die Möglichkeit sich zu präsentieren und in irgendeiner Form vom Leuchtturmprojekt zu profitieren. Im Folgenden werden die wichtigsten Eigenschaften und Aktivitäten dieser Plattform exemplarisch aufgeführt:

- Präsentation und Vermarktung der Demonstrationsanlage
- Plattform für Dienstleistungen aller Stakeholder
- Selbstdarstellung der Partnerfirmen
- Marktplatz für Industrieprojekte / Projektvermittlungsplattform
- Demonstrationsplattform / virtueller Rundgang / Simulation / Live-Darstellung
- Darstellung von Beispielprojekten / Use-Cases / Umsetzungsprojekte der Industrie (Referenzprojekte)
- Online-Ansicht der Demonstrationsanlage, der Verfügbarkeit ihres Zustands
- Virtuelle Landkarte mit den Industrie 4.0-Anwendungen (Best-Practice)

Mit diesem Konzept der Online-Plattform wäre das Leuchtturmprojekt die schweizweit erste virtuelle Demonstrationsanlage, eine Smart Factory in der Cloud.

5.2. Ausblick und Vorschläge für weiterführende Untersuchungen

Damit Unternehmen erfolgreich sind, müssen sie langfristig wachsen und profitabel bleiben. Dies kann durch stetige Innovationen erreicht werden. Industrie 4.0 und die Digitalisierung, wie sie in der vorliegenden Arbeit beschrieben werden, bieten neue Möglichkeiten im Bereich der Geschäftsmodellinnovation. Diesem Bereich wird insbesondere bei den KMU ein grosses Potenzial zugeschrieben; er ist mit hoher Priorität zu berücksichtigen (vgl. Brugger *u. a.*, online, 2019). Dazu hat die Plattform Industrie 2025 eine Arbeitsgruppe ins Leben gerufen, die sich mit der Umsetzung von neuen Geschäftsmodellen beschäftigt. Dar Autor kann sich sehr gut vorstellen, dass sich die SSF mit ihrem Leuchtturmprojekt dem Thema der neuen Geschäftsmodelle ebenfalls annimmt. Die KMU sollen auf einfache und verständliche Art und Weise erkennen können, wie, ausgehend von der Industrie 4.0-Demonstrationsanlage, sich für ihr Geschäft neue Modelle und somit neue Monetarisierungsmöglichkeiten ergeben können. Es ist zu prüfen, inwieweit sich der Aufbau einer solchen Aktivität an der SSF realisieren lassen würde.

Weiterführende Untersuchungen sind bei den Anwendern und deren spezifischen Erwartungen und Anforderungen zu verorten. Die Partnerfirmen haben eine grosse Erfahrung im industriellen Umfeld und kennen den Schweizer Markt gut. Durch die tagtägliche Auseinandersetzung mit den Themen der Industrie und Kundengespräche kennen sie die Anliegen und Bedürfnisse der Anwender ebenfalls bestens. Um im Detail zu erfahren, welche Ansprüche und Erwartungen die verschiedenen Anwender-Unternehmen bezüglich der Demonstrationsanlage haben, wäre sicher eine Umfrage z.B. bei den MEM-Mitgliedern sinnvoll. Damit könnte die Darstellung der Anwendungsszenarien noch besser auf die Zielgruppen abgestimmt werden.
Weiter könnten die Anwendungsszenarien bezüglich der Wettbewerbsfähigkeit bewertet werden. Dadurch liesse sich vermutlich feststellen, mit welchen Massnahmen der grösste Effekt am Markt erzielt werden kann.

6. Literaturverzeichnis

Abdi, M. R. *u. a.* (2018): *Integrated Reconfigurable Manufacturing Systems and Smart Value Chain*. Cham: Springer International Publishing 2018.

Abele, E. und Reinhart, G. (2011): *Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen*. München: Carl Hanser Verlag 2011.

Appelfeller, W. und Feldmann, C. (2018): *Die digitale Transformation des Unternehmens. Systematischer Leitfaden mit zehn Elementen zur Strukturierung und Reifegradmessung*, *Die digitale Transformation des Unternehmens*. Berlin: Springer-Verlag 2018.

Atteslander, P. *u. a.* (2010): *Methoden der empirischen Sozialforschung*. 13. Auflag. Berlin: Erich Schmidt Verlag 2010.

Ballif, C. *u. a.* (2019): *Technology Outlook 2019*. Herausgegeben von SATW. Zürich. Online: https://www.satw.ch/fileadmin/user_upload/documents/02_Themen/01_Frueherkennung/SATW_Technology-Outlook-2019_DE.pdf (Zugegriffen: 5. Juni 2019).

Bauer, H. *u. a.* (2015): *Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector*, *McKinsey Digital*. Online: https://www.mckinsey.com/~/media/McKinsey/Business Functions / Operations/Our Insights/Industry 40 How to navigate digitization of the manufacturing sector/ Industry-40-How-to-navigate-digitization-of-the-manufacturing-sector.ashx (Zugegriffen: 11. Februar 2019).

Bauer, W. *u. a.* (2014): *Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland*. BITKOM, Frauenhofer IAO 2014.

Bauer, W. *u. a.* (2018): «Future Work Lab. Arbeitswelt der Zukunft», in Neugebauer, R. (Hrsg.) *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2018, S. 179–195.

Bechtold, J. *u. a.* (2014): «Industrie 4.0 – Eine Einschätzung von Capgemini Consulting», *Capgemini Consulting*. Online: https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/ sites/ 5/ 2017/07/industrie-4.0-de.pdf (Zugegriffen: 11. Februar 2019).

Bertagnolli, F. (2018): *Lean Management. Einführung und Vertiefung in die japanische Management-Philosophie*. Wiesbaden: Springer Gabler 2018.

Bildstein, A. und Seidelmann, J. (2014): «Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung», in Bauernhansl, T., ten Hompel, M., und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2014, S. 581–597.

Bitsch, G. (2017): «Smart Decisions als integraler Bestandteil von Industrie 4.0», in Obermaier, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2017, S. 121–136.

Bracht, U., Geckler, D. und Wenzel, S. (2018): *Digitale Fabrik. Methoden und Praxisbeispiele Basis für Industrie 4.0*. 2. Auflage. Berlin: Springer-Verlag 2018.

Bracht, U. und Spillner, A. (2009): «Ergebnisse einer Umfrage zum Umsetzungsstand und zu weiteren Entwicklungen der Digitalen Fabrikplanung bei deutschen OEM», *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*. München: Carl Hanser Verlag 2009, 104(7–8), S. 648–653.

Braglia, M. und Petroni, A. (2000): «Towards a taxonomy of search patterns of manufacturing flexibility in small and medium-sized firms», *Omega*, 28(2000), S. 195–213.

Brombach, J. und Leisgang, M. (2017): «Ergonomie in der Klein- und Serienfertigung», in Koether, R. und Meier, K.-J. (Hrsg.) *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung*. Wiesbaden: Springer Gabler 2017, S. 215–230.

Brugger, R. *u. a.* (2019): *Opportunity 2025*. Online: https://www.opportunity2025.ch/ (Zugegriffen: 25. August 2019).

Bundesministerium für Bildung und Forschung (o. J.): *Industrie 4.0*. Online: https://www.bmbf.de /de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html (Zugegriffen: 14. August 2019).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016a): *IT-Sicherheit für die Industrie 4.0*, *Studie*. BMWI. Online: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/it-sicherheit-fuer-industrie-4-0.pdf?__blob=publicationFile&v=4 (Zugegriffen: 10. Juni 2019).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016b): *Plattform Industrie 4.0 - Was ist Industrie 4.0?*, *Plattform Industrie 4.0*. Online: https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html (Zugegriffen: 7. März 2019).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016c): *Struktur der Verwaltungsschale*. Online: https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/struktur-der-verwaltungsschale.html (Zugegriffen: 11. Februar 2019).

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2019): *Was ist eine intelligente Fabrik, «Smart Factory»?*, *BMWi*. Online: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/FAQ/Industrie-40/faq-industrie-4-0-03.html (Zugegriffen: 6. Februar 2019).

Daenzer, W. F. und Haberfellner, R. (2002): *Systems engineering : Methodik und Praxis*. Zürich: Verl. Industrielle Organisation 2002.

Dangelmaier, M., Westner, P. und Sulzmann, F. (2013): «Mixed Reality Environments für die montagegerechte Konstruktion und Montageplanung von komplexen Produkten», in Westkämper, E. u. a. (Hrsg.) *Digitale Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer Verlag 2013, S. 223–240.

Dillerup, R. und Stoi, R. (2011): *Unternehmensführung - Management & Leadership*. München: Vahlen 2011.

Drossel, W.-G. *u. a.* (2017): «Cyber-Physische Systeme», in Neugebauer, R. (Hrsg.) *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2017, S. 197–222.

Eckert, C. und Waidner, M. (2018): «Safety und Security», in Neugebauer, R. (Hrsg.) *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2018, S. 275–293.

Fleischer, J. *u. a.* (2018): *Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0 Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen*. Online:https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/23965916/ Leitfaden_ Sensorik_I40_1520527273290.pdf/09b7ac94-bbe2-4fdd-a258-00c90c9d1e4d (Zugegriffen: 21. Mai 2019).

Freund, R. *u. a.* (2018): «5G-Datentransport mit Höchstgeschwindigkeit», in Neugebauer, R. (Hrsg.) *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag 2018, S. 89–111.

Ganschar, O. *u. a.* (2013): *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0*, *Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO*. Online: https://www.iao.fraunhofer.de/images/iao-news/produktionsarbeit-der-zukunft.pdf (Zugegriffen: 5. März 2019).

Geisberger, E. *u. a.* (2011): *Cyber-Physical Systems - Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion*. Herausgegeben von acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Berlin: Springer 2011.

Geisberger, E. und Broy, M. (2012): *agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Online: https://www.bmbf.de/files/acatech_STUDIE_agendaCPS_Web_ 20120312 _superfinal.pdf (Zugegriffen: 4. Juni 2019).

Geissbauer, R. *u. a.* (2014): *Industrie 4.0 - Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution*. Online: https://www.pwc.ch/de/publications/2016/pwc_studie_industrie_d.pdf (Zugegriffen: 5. März 2019).

Geissbauer, R. *u. a.* (2017): *Digital Factories 2020*. Online: https://www.pwc.de/de/digitale-transformation/digital-factories-2020-shaping-the-future-of-manufacturing.pdf (Zugegriffen: 23. Mai 2019).

Grottke, M. und Obermaier, R. (2017): «Unternehmerische Herausforderungen bei Industrie 4.0-Projekten – Einsichten aus zwei Prozessstudien», in Obermaier, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2017, S. 309–322.

Günthner, R. und Dollinger, D. (2019): *Hirn 1.0 trifft Technologie 4.0*. Wiesbaden 2019: Springer Verlag.

Heller, T. und Prasse, C. (2017): *Total Productive Management - ganzheitlich*. Berlin: Springer-Verlag 2017.

Huber, W. (2018): *Industrie 4.0 kompakt – Wie Technologien unsere Wirtschaft und unsere Unternehmen verändern*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2018.

Hübschle, K. (2017): «Digitale Anwendungen / Datenverarbeitung in der Industrie», in Schulz, T. (Hrsg.) *Industrie 4.0 - Potenziale erkennen und Umsetzen*. 1. Auflage. Würzburg: Vogel Business Media.

IAO (2019): *Future Work Lab*. Stuttgart: Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation. Online: https://futureworklab.de/ (Zugegriffen: 19. Juni 2019).

Industrie 2025 (2019): *Quickstarter 2025*. Online: https://www.quickstarter2025.ch/ (Zugegriffen: 7. Juni 2019).

Initiative Industrie 2025 (2018): *Definition Industrie 4.0*. Online: http://www.industrie2025.ch/themen/definitionen.html (Zugegriffen: 11. Juni 2019).

Jacobi, H.-F. und Landherr, M. (2013): «Bedeutung des Treibers Informations- und Kommunikationstechnik für die Wettbewerbsfähigkeit industrieller Produktion», in Westkämper, E. u. a. (Hrsg.) *Digitale Produktion*. Berlin: Springer-Verlag 2013, S. 41–44.

Jost, J. *u. a.* (2017): «Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality», in *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1*. Berlin: Springer Verlag 2017, S. 153–174.

Kagermann, H., Wahlster, W. und Helbig, J. (2013): *Umsetzungsempfehlungen für das Zukunfts projekt Industrie 4.0*, *Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech)*. München. Online: https://www.bmbf.de/files/Umsetzungsempfehlungen_Industrie4_0.pdf (Zugegriffen: 11. Februar 2019).

Kirchhoff, S. *u. a.* (2010): *Der Fragebogen: Datenbasis, Konstruktion und Auswertung*. 5. Auflage. Wiesbaden: VS Verlag 2010.

Klemp, E. und Pottebaum, J. (2017): «Additive Fertigungsverfahren im Kontext von Industrie 4.0», in Vogel-Heuser, B., Bauernhansl T., ten Hompel, M. (Hrsg.) *Handbuch Industrie 4.0 Bd.3*. 2. Auflage. Berlin: Springer-Verlag 2017, S. 311–331.

Koether, R. und Meier, K.-J. (2017): *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung: Flexibilität wird zum neuen Standard*. Wiesbaden 2017: Springer Gabler.

Kolberg, D. *u. a.* (2017): «Strategien zur Transformation der Produktionsumgebung», in Reinhart, G. (Hrsg.) *Handbuch Industrie 4.0*. München: Carl Hanser Verlag 2017, S. 213–256.

Krumm, S. und Kraus, J.-H. (2017): «Komplexitätsmanagement in Zeiten von Industrie 4.0», *Complexity Management Journal*. Aachen: Schuh & Co. GmbH, 1. Online: https://schuh-group.com/site/assets/files/1936/cm-journal_2017-08-23_online.pdf (Zugegriffen: 15. Mai 2019).

Kuckartz, U. (2016): *Qualitative Inhaltsanalyse - Methoden, Praxis, Computerunterstützung*. 3. Auflage. Weinheim: Beltz Juventa 2016.

Kuster, J. *u. a.* (2019): *Handbuch Projektmanagement: Agil - Klassisch - Hybrid*. 4. Auflage. Berlin: Springer-Verlag 2019.

Lucke, D. (2013): «Smart Factory», in Westkämper, E. u. a. (Hrsg.) *Digitale Produktion*. Berlin, Heidelberg: Springer-Vieweg Verlag 2013, S. 251–269.

Manzei, C. (2017): «Ein Blick nach vorn», in Manzei, C., Schleupner, L., und Heinze, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 im Internationalen Kontext - Kernkonzepte, Ergebnisse, Trends*. 2. Auflage. Berlin: Beuth Verlag 2017.

Marseu, E., Kolberg, D. und Weyer, S. (2017): *Exemplarische Übertragung der RAMI 4.0-Verwaltungsschale auf die SmartFactoryKL - Systemarchitektur für Industrie 4.0-Produktionsanlagen*. Kaiserslautern. Online: https://smartfactory.de/wp-content/uploads/ 2017/11/SF_ White Paper_2-1_DE-1.pdf (Zugegriffen: 2. Juli 2019).

MÜNCHNER KREIS e.V. (2015): *Digitalisierung. Achillesferse der deutschen Wirtschaft?* München. Online: www.zuku14.de (Zugegriffen: 15. Juni 2019).

Niggemann, O., Jasperneite, J. und Vodencarevic, A. (2014): «Konzepte und Anwendungsfälle für die intelligente Fabrik», in Bauernhansl, T., ten Hompel, M., und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2014, S. 173–190.

Obermaier, R. (2016): «Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe», in Obermaier, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden: Springer Fachmedien 2016, S. 3–34.

Otto, B., ten Hompel, M. und Wrobel, S. (2018): «Industrial Data Space», in Neugebauer, R. (Hrsg.) *Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft*. Berlin: Springer-Verlag 2018, S. 113–133.

Panetta, K. (2018): *5 Trends Emerge in the Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies, Smarter With Gartner*, *Gartner Inc.* Online: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/ 5-trends-emerge-in-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2018/ (Zugegriffen: 11. Februar 2019).

Peissner, M. und Hipp, C. (2013): *Potenziale der Mensch-Technik Interaktion für die effiziente und vernetzte Produktion von morgen*. Herausgegeben von D. Spath und A. Weisbecker. Stuttgart 2013.

Piller, F. T. (2003): *Mass Customization. Ein wettbewerbsstrategisches Konzept im Informationszeitalter*. 4. Auflage. Herausgegeben von A. Picot, R. Reichwald, und E. Franck. Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag 2003.

Porter, M. E. (1985): *Competitive Advantage - Creating and Sustaining Superior Performance*. New York, London: Free Press 1985.

Porter, M. E. (2014): *Wettbewerbsvorteile - Spitzenleistungen erreichen und behaupten*. 8. Auflage. Herausgegeben von Campus 2014. Frankfurt a.M.: Campus Verlag.

Porter, M. E. und Heppelmann, J. E. (2015): «Wie smarte Produkte Unternehmen verändern», *Harvard Business Manager*, 12, S. 23–60. Online: http://www.ptc-de.com/~/media/DE/Files/ PDFs/IoT/de_HBR-How-Smart-Connected-Products-Are-Transforming-Companies2.pdf?la=en (Zugegriffen: 16. Mai 2019).

Reichwald, R. *u. a.* (2006): «Wirtschaftlichkeitsbetrachtung individualisierter Produkte», in Lindemann, U., Reichwald, Ralf, und Zäh, M. F. (Hrsg.) *Individualisierte Produkte — Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion*. Berlin: Springer-Verlag 2006, S. 165–178.

Reisinger, S., Gattringer, R. und Strehl, F. (2013): *Strategisches Management*. München 2013: Pearson.

Roth, A. und Merz, S. L. (2016): *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*. Herausgegeben von A. Roth. Berlin, Heidelberg 2016: Springer Berlin Heidelberg.

Sandau, J. *u. a.* (2019): *From a lean to a smart factory of the future*. Herausgegeben von Deloitte. Online: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/ operations/ Deloitte_Smart-Factory.pdf (Zugegriffen: 11. August 2019).

Schaeffer, E. und Bertheau, N. (2017): *Industry X.0 : Digitale Chancen in der Industrie nutzen*. 1. Auflage. München 2017: REDLINE Verlag.

Scheer, A.-W. (2015): «Industrie 4.0: Von der Vision zur Implementierung», in Obermaier, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden 2015: Springer Fachmedien, S. 35–52.

Schlaepfer, R. C. und Koch, M. (2012): *Weissbuch Werkplatz Schweiz - Herausforderungen und Zukunftsaussichten im globalen Wettbewerb*. Online: https://www.industrie-schweiz.ch/downloads/deloitte_weissbuch_werkplatz_schweiz.pdf (Zugegriffen: 6. Februar 2019).

Schlick, J. *u. a.* (2017): «Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung», in Vogel-Heuser, B., Bauernhansl, T., und ten Hompel, M. (Hrsg.) *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*. 2. Auflage. Berlin 2017: Springer-Verlag, S. 3–29.

Schlotmann, R. (2018): *Digitalisierung auf mittelständisch*. Berlin 2018: Springer-Verlag.

Schuh, G. *u. a.* (2014): «Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme», in Bauernhansl, T., ten Hompel, M., und Vogel-Heuser, B. (Hrsg.) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Berlin 2014: Springer Verlag, S. 75–92.

Seiter, M., Grünert, L. und Berlin, S. (2017): *Betriebswirtschaftliche Aspekte von Industrie 4.0*. Wiesbaden 2017: Springer Fachmedien.

Spath, D. *u. a.* (2017): «Produktionsassessment 4.0 – Integrierte Bewertung variantenreicher Einzel- und Kleinserienfertigung in den Bereichen Lean Management und Industrie 4.0», in Koether, R. und Meier, K.-J. (Hrsg.) *Lean Production für die variantenreiche Einzelfertigung*. Wiesbaden 2017: Springer Fachmedien, S. 45–68.

Statistisches Bundesamt (2013): *IKT-branche in Deutschland*. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt. Online: https://www.destatis.de/GPStatistik/servlets/MCRFileNodeServlet/DEHeft_derivate_00031170/IKT_BrancheDeutschland5529104139004.pdf;jsessionid=9C17DB1497C3536C9D1A6DFA7461DFFD.

Staufen AG (2015): *Deutscher Industrie 4.0 Index*. Köngen. Online: http://www.hannover-messe.de/de/presseservice/pressemitteilungen/pressemitteilungen-deutsche-messe/?id=717953&lang=D&page=&page_.

Swissmem (2018a): «Die MEM-Industrie im nationalen Kontext», in Swissmem (Hrsg.) *Panorama 2018: Zahlen und Fakten*. Zürich, S. 42. Online: https://www.swissmem.ch/fileadmin/user_upload/Swissmem/Publikationen/Panorama/Panorama_2018_DE_Web.pdf (Zugegriffen: 17. Mai 2019).

Swissmem (2018b): *Umsetzungsstand Industrie 4.0 Umfrage in der Schweizer MEM-Branche 2018*. Online: https://www.swissmem.ch/fileadmin/user_upload/ Swissmem/Industrie ___Politik/Industrie40/Umsetzungsstand_Industrie4_Umfrage2018.pdf (Zugegriffen: 6. Februar 2019).

Taphorn, C. *u. a.* (2015): *Erschließen der Potenziale der Anwendung von Industrie 4.0 im Mittelstand*, *agiplan GmbH, Frauenhofer IML, Zenit GmbH*. Mülheim an der Ruhr. Online: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Studien/erschliessen-der-potenziale-der-anwendung-von-industrie-4-0-im-mittelstand.html.

Thiede, S., Posselt, G. und Herrmann, C. (2017): «Industrie 4.0 und die Steigerung der Energieeffizienz in der Produktion», in Reinhart, G. (Hrsg.) *Handbuch Industrie 4.0*. München 2017: Carl Hanser Verlag, S. 279–292.

Unipark (2019): *Online-Befragungstool Questback*. Herausgegeben von Unipark. Online: https://www.unipark.com/ (Zugegriffen: 17. Juni 2019).

VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (GMA) (2013): *Thesen und Handlungsfelder - Cyber-Physical Systems: Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation*. Online: https://www.vdi.de/uploads/media/Stellungnahme_Cyber-Physical_Systems.pdf (Zugegriffen: 11. Februar 2019).

VDMA, Fraunhofer Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit (AISEC) und accessec GmbH (2018): *Leitfaden Industrie 4.0 Security - Handlungsempfehlungen für den Mittelstand*. Frankfurt am Main. Online: https://industrie40.vdma.org/documents/4214230/15280277/1492501068630_Leitfaden_I40_Security_DE.pdf/836f1356-12e6-4a00-9a4d-e4bcc07101b4 (Zugegriffen: 10. Juni 2019).

Verein Deutscher Ingenieure VDI (2008): *VDI Richtlinie 4499 - Digitale Fabrik, Grundlagen*. Düsseldorf 2008.

Verein Deutscher Ingenieure VDI (2019): *VDI-Statusreport Industrie 4.0*, *Industrie 4.0 Begriffe/Terms 2019*. Online: https://www.vdi.de/ueber-uns/presse/publikationen/details/industrie-40-begriffeterms-2019 (Zugegriffen: 3. September 2019).

Wendling, M. (2019): *Leuchtturm Projekt Industrie 4.0 - Problemstellung, Use-Case und Vision*. Biel 2019.

Westkämper, E. (2013): «Rahmenmodell der digitalen Produktion», in Westkämper, E. u. a. (Hrsg.) *Digitale Produktion*. Berlin 2013: Springer, S. 15–16.

Wildemann, H. (2018): *Produktivität durch Industrie 4.0*. 1. Auflage. München 2018: TCW-Transfer Centrum.

Willmann, R. (2016): «Optimierung Anlagenanlauf und Fertigungsumstellung», in Obermaier, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden 2016: Springer Fachmedien, S. 137–147.

Winkler, H., Seebacher, G. und Oberegger, B. (2017): «Effizienzbewertung und -darstellung in der Produktion im Kontext von Industrie 4.0», in Obermaier, R. (Hrsg.) *Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*. Wiesbaden 2017: Springer Fachmedien, S. 219–243.

ZVEI (2019): *Industrie 4.0*. Herausgegeben von ZVEI. Online: https://www.zvei.org/themen/industrie-40/ (Zugegriffen: 16. Mai 2019).