



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Entwicklung einer Industrie 4.0 spezifischen kombinierten strategischen Planungsmethode und deren Anwendung in der Automobilindustrie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Dr. rer. soc. oec. Selim Erol

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Sebastian Gerbel

1027445 (066-482)

Strmý Vřšok 7

84106 Bratislava - SK

Bratislava, im September 2016

Sebastian Gerbel



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiterhin Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiterhin erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Bratislava, im September 2016

Sebastian Gerbel

Danksagung

Anfänglich möchte ich meinen ausdrücklichen Dank an Herrn Hans-Christian Heidecke richten, der es ermöglicht hat diese Arbeit zu verfassen und mir während der gesamten Dauer eine umfangreiche fachliche und wissenschaftliche Unterstützung entgegen brachte.

Mein besonderer Dank geht außerdem an Herrn Dr. Selim Erol, für seine hervorragende akademische Betreuung und seinen erhöhten Einsatz besonders während der Anfangsphase bei der Themengestaltung.

Des Weiteren möchte ich allen danken, die an dieser Arbeit partizipiert und ihren Teil zur Fertigstellung beigetragen haben. Dazu zählen insbesondere Interviewpartner und alle, die mich durch ihre kritischen Anmerkungen und wertvollen Ratschläge weitergebracht haben.

Zu guter Letzt gilt mein ganz herzlicher Dank meinen Eltern, die mich während des gesamten Studiums mit Geduld unterstützt haben, mich auch in schweren Zeiten motiviert und mir währenddessen Freiraum zur Selbstentfaltung geboten haben.

Kurzfassung

Im Jahre 2011 wurde Industrie 4.0 im Rahmen der Hightechstrategie der deutschen Bundesregierung erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt. Der Grundgedanke lag dabei im Eindringen künstlicher Intelligenz und modernster Informations- und Kommunikationstechnologien in alle Bestandteile der Wertschöpfungskette. Heutzutage bietet Industrie 4.0 ein breites Spektrum an Potentialen an, wobei diese oft nur begrenzt genutzt werden.

Unternehmen fehlt häufig ein klarer Plan zur Realisierung der unternehmenseigenen Industrie 4.0 Vision und der damit verbundenen strategischen Neuausrichtung. Um sich in der Industrie 4.0 Thematik zurechtzufinden und einen eindeutigen zukunftsweisenden Plan in Form einer Roadmap zu entwickeln, wird im Rahmen dieser Diplomarbeit eine reifegradbasierte kombinierte Planungsmethode entwickelt. Dieses lehnt sich an das Vorgehensmodells von Erol, Schumacher und Sihn an.

Begonnen wurde mit einer systematischen Literaturrecherche zum Thema „Roadmapping“, umso den aktuellen Stand der Literatur zu ermitteln und diverse Roadmapping Methoden zu identifizieren. Insgesamt wurden rund 4000 relevante Suchergebnisse gefunden, wovon 60 Publikationen weiter verwendet wurden. Das Ergebnis der Recherche waren fünf identifizierte Roadmapping-Methoden, wobei keine spezifisch für Industrie 4.0 ausgelegt war. Im nächsten Schritt wurden Anforderungen an Industrie 4.0 Planungsmethoden ermittelt und daraus Merkmale einer Industrie 4.0 Roadmap abgeleitet. Diese wurde folglich mit einem Reifegradmodell kombiniert, was in einem Vorgehensmodell zur Planung und Visualisierung von Industrie 4.0 Maßnahmen in vier Schritten resultierte. Beginnend mit dem „Kick-off“, um eine unternehmensspezifische Industrie 4.0 Definition zu finden, wird im zweiten Schritt der Industrie 4.0 Status-quo mittels Reifegrad bestimmt. Darauf folgend werden konkrete Projektvorschläge abgeleitet, die im letzten Schritt auf einer Roadmap visualisiert werden.

Die entwickelte Planungsmethode wurde im Rahmen einer Fallstudie beim Automobilhersteller Volkswagen Slovakia pilotiert und so erstmals validiert. Im Unternehmen erfolgte die Datenerhebung über persönliche Interviews und Workshops.

Abstract

In 2011, for the first time Industry 4.0 was introduced to the public as part of the high-tech strategy of the German government. The basic idea here was the implementation of artificial intelligence and advanced information and communication technologies into all parts of the value chain. Today Industry 4.0 offers a wide range of potentials, which in many cases are not fully used.

Companies often lack a clear plan for the realization of the company's Industry 4.0 vision and the related strategic realignment. To find orientation in the highly complex Industry 4.0 matter and to develop a distinct pioneering plan in form of a roadmap, in this thesis a maturity model based combined planning method is developed. This draws on the process model by Erol, Schumacher and Sihn.

In first instance a systematic literature review on the topic "roadmapping" was made, to determine the current state of literature on this topic and to identify various roadmapping methods. A total of approximately 4000 relevant results were found, of which 60 publications were used. The result of the research were five identified roadmapping methods, wherein no was specifically designed for Industry 4.0. In the next step requirements from Industry 4.0 on planning methods were determined and features of an Industry 4.0 Roadmap were derived. This was hence combined with a maturity model, which resulted in a process model for planning and visualization the Industry 4.0 Vision in four steps. Starting off with the "Kick-off" in order to find a company-specific Industry 4.0 Definition, in the second step the Industry 4.0 Status-quo is determined with a maturity model. Subsequently, concrete measures are derived which are visualized in the last step on a roadmap.

The developed planning method was piloted as part of a case study at the automobile manufacturer Volkswagen Slovakia and thereby validated for the first time. Data collection in the enterprise took place through personal interviews and workshops.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Problembeschreibung – Herausforderungen durch Industrie 4.0	1
1.2	Grundlegende Fragestellung	1
1.3	Forschungsziele	2
1.4	Angewendete Methoden	3
1.5	Gewählte Vorgehensweise, Aufbau der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen	6
2.1	Industrie 4.0	6
2.1.1	Industrie 4.0 spezifische Terminologie	6
2.1.2	Historischer Hintergrund von Industrie 4.0 und ihre ökonomischen Erwartungen	7
2.1.3	Industrie 4.0, ihre Bestandteile und Auswirkungen.....	10
2.1.4	Industrie 4.0 in der Automobilindustrie	13
2.1.5	Industrie 4.0 spezifische Planungsmethoden	16
2.2	Roadmapping.....	19
2.2.1	Strategisches Management in Unternehmen	19
2.2.2	Einleitung in die Roadmapping-Thematik.....	20
2.2.3	Allgemeine Aufbaustruktur und der Erstellungsprozess von Roadmaps.....	25
2.3	Reifegradmodelle	27
2.3.1	Grundlagen der Reifegradmodelle	27
2.3.2	Anwendung und Einschränkungen von Reifegradmodellen	30
3	Entwicklung einer Industrie 4.0 spezifischen kombinierten Planungsmethode ...	32
3.1	Systematische Literaturrecherche	32
3.1.1	Der Bedarf einer systematischen Literaturrecherche	32
3.1.2	Gewählte Vorgehensweise bei der Literaturrecherche	33
3.1.3	Befunde der systematischen Literaturrecherche	36
3.2	State-of-Art Roadmapping-Methoden	38
3.2.1	Eversheim u.a.	39
3.2.2	EIRMA	40
3.2.3	Phaal/Farrukh	41

3.2.4	Specht/Behrens	41
3.2.5	Laube/Abele	43
3.3	Auswertung der systematischen Literaturrecherche	43
3.3.1	Vergleich der identifizierten Roadmapping-Methoden	43
3.3.2	Anforderungen von Industrie 4.0 an Planungsmethoden.....	44
3.3.3	Ableitung der Merkmale einer Industrie 4.0 Roadmap.....	47
3.4	Industrie 4.0 Planungsmethode	48
3.4.1	Schritt 1: Industrie 4.0 Kick-off	49
3.4.2	Schritt 2: Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo	50
3.4.3	Schritt 3: Entwicklung und Priorisierung von Projektvorschlägen	52
3.4.4	Schritt 4: Erstellung einer Industrie 4.0 Roadmap	54
4	Fallstudie Volkswagen Slovakia.....	57
4.1	Vorstellung des Unternehmens	57
4.2	Gewählte Vorgehensweise bei der Datenerhebung im Unternehmen.....	57
4.2.1	Vergleich qualitativer Befragung und persönlicher Interviews	58
4.2.2	Vorgehensweise bei den gehaltenen Interviews	59
4.3	Industrie 4.0 Status-quo in Volkswagen Slovakia - Reifegradbericht	61
4.4	Pilotierung der Industrie 4.0 Planungsmethode im IT-Bereich von VW Slovakia	63
4.4.1	Schritt 1: Industrie 4.0 Kick-off für VW Slovakia	64
4.4.2	Schritt 2: Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo für VW Slovakia (IT-Bereich).....	65
4.4.3	Schritt 3: Entwicklung und Priorisierung von Projekt-vorschlägen für VW Slovakia (IT-Bereich)	66
4.4.4	Schritt 4: Erstellung einer Industrie 4.0 Roadmap für VW Slovakia (IT-Bereich)	70
4.5	Diskussion der Ergebnisse aus der Fallstudie	72
5	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick.....	73
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	73
5.2	Ausblick.....	76
6	Anhang	77
6.1	Industrie 4.0 Reifegradmodell von Schumacher	77
6.2	Ausführliche Ergebnisse der Reifegradbestimmung von VW-Slovakia	82

7	Literaturverzeichnis.....	90
8	Abbildungsverzeichnis	97
9	Formelverzeichnis.....	98
10	Tabellenverzeichnis.....	99
11	Abkürzungsverzeichnis.....	100

1 Einleitung

1.1 Problembeschreibung – Herausforderungen durch Industrie 4.0

Die vierte industrielle Revolution mit ihrem marketingtechnisch wirkungsvollen Schlagwort „Industrie 4.0“ ist momentan in aller Munde, voraus auch eine steigende Anzahl von Publikationen zu diesem Thema im deutschsprachigen Raum hindeutet - 2013 waren es 258, 2015 bereits über 1400.¹ Der Begriff „Industrie 4.0“ wurde im Jahre 2011 auf der Hannovermesse erstmals der Öffentlichkeit vorgestellt und ein Jahr später wurden erste Umsetzungsempfehlungen der Bundesregierung, im Rahmen ihrer Hightech-Strategie zur Sicherung von Deutschlands Position als Produktionsstandort, vorgestellt.² Industrie 4.0 ist als Rahmenbegriff für unterschiedlichste technologische Entwicklungen zu verstehen, wobei es im Grunde eine Verschmelzung von Informations- und Kommunikationstechnologien mit Bestandteilen der Produktion, sowie eine konsequente Einbettung künstlicher Intelligenz in Produktionssysteme ist.³ Um dieser Vision nachzugehen und dabei ihre Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig zu sichern und auszubauen, sollten Industrieunternehmen rechtzeitig auf bevorstehende Veränderungen reagieren. Es müssen unter anderem Unternehmensstrategien neu ausgerichtet oder Produkt- und Servicepaletten weiterentwickelt werden.⁴ Im Laufe dieser Neuausrichtung werden Unternehmen unter anderem vor diese Herausforderungen gestellt:

- Bestimmung des jeweiligen Status quo in Bezug auf die Industrie 4.0 Vision
- Entwicklung einer geeigneten Strategie, die die Industrie 4.0 Vision als Chance und Wettbewerbsvorteil begreift
- Entwicklung geeigneter Maßnahmen, um Industrie 4.0 Technologien und Geschäftsmodelle zeitnah für Effizienzgewinne und Qualitätssteigerungen nutzen zu können

1.2 Grundlegende Fragestellung

Industrie 4.0 bietet Unternehmen ein breites Spektrum von Optionen und Gelegenheiten an. Um sich in diesem neuartigen und schnell ändernden Umfeld nicht zu verlieren, müssen sich Unternehmen einer Strategieberücksichtigung unterziehen. Strategisches Planen erfolgt häufig durch die Unterstützung verschiedener Planungsmethoden.⁵ Wegen der Neuheit des Themas, sind in aktuellen Literaturquellen keine lang-

¹ <https://scholar.google.de> zu „Industrie 4.0“

² (Sendler, 2013)

³ (DKE, 2013)

⁴ (Roth, 2016)

⁵ (Siegfried, 2015)

fristig bewährten Vorgehensweise bei der strategischen Planung und Ausrichtung zur Industrie 4.0 vorzufinden, woraus die erste Forschungsfrage abgeleitet ist.

1. Forschungsfrage: Welche strategischen Planungsmethoden im Hinblick auf die Industrie 4.0 Ausrichtung von Produktionsunternehmen gibt es und welche sind ziel führend?

Aufbauend auf die erste Forschungsfrage, müssen auch strategische Planungsmethoden dem Paradigmenwechsel zur Industrie 4.0 angepasst werden. In dieser Arbeit wird speziell die Methode des Roadmapping betrachtet, welche sich durch neue Geschäftsmodelle, Technologien und Strukturänderungen in ihrer Form ändern wird.

2. Forschungsfrage: Welche Form des Roadmapping eignet sich, um konkrete Maßnahmen und Projekte im Hinblick auf deren Beitrag und Einfluss auf die Erfüllung der unternehmensspezifischen Industrie 4.0 Vision einzuordnen und zu bewerten?

Unternehmen stehen oft vor der Frage wie sie in Hinblick zur Industrie 4.0 stehen, wofür in den vergangenen Jahren einige Ansätze zur Industrie 4.0-Reifegradbestimmung vorgestellt wurden. Um erhaltene Ergebnisse weiter zu verwerten, können Unternehmen ausgehend von einer Reifegradbestimmung ihre strategische Ausrichtung gestalten.

3. Forschungsfrage: Wie können Methoden der organisationalen Reifegradbestimmung und des Roadmapping sinnvoll kombiniert werden, um die strategische Industrie 4.0 Ausrichtung eines Produktionsunternehmens zu unterstützen?

1.3 Forschungsziele

Schwerpunkt dieser Diplomarbeit liegt in der Entwicklung eines für Industrie 4.0 geeigneten strategischen Roadmapping-Verfahrens. Dies soll durch eine umfassende Literaturrecherche zu diesem Thema erfolgen, im Rahmen welcher diverse Verfahren verglichen und ein geeignetes Roadmapping-Verfahren ausgewählt werden soll.

Im Praxisteil dieser Diplomarbeit, einer Fallstudie „Industrie 4.0 bei VW-Slovakia“, soll anfangs aufbauend auf Arbeiten des Instituts für Managementwissenschaften der Status-quo des Unternehmens in Bezug auf Industrie 4.0 mit einem Reifegradmodell bestimmt werden. In weiterer Folge sollen geplante Industrie 4.0 Investitionsmaßnahmen mit der ausgewählten Roadmapping-Methode visualisiert werden. Alle im Rahmen der Fallstudie gewonnen Erkenntnisse sollen systematisch dokumentiert und diskutiert werden.

Konkrete Ziele dieser Diplomarbeit sind:

- Ermittlung des aktuellen Standes der Literatur zum Thema Roadmapping-Methoden im Hinblick auf Herausforderungen der vierten industriellen Revolution mittels einer vergleichenden systematischen Literaturrecherche.
- Entwicklung eines geeigneten Industrie 4.0 Roadmapping-Verfahrens auf Basis der zu diesem Thema durchgeführten Literaturrecherche.
- Pilotierung der entwickelten Methode im Rahmen einer Fallstudie in der Automobilindustrie. Dazu wird zuerst der Status-quo des Unternehmens im Hinblick auf Industrie 4.0 bestimmt. Darauf aufbauend wird im zweiten Schritt das entwickelte Roadmapping-Verfahren angewandt. Alle gewonnenen Erkenntnisse werden systematisch dokumentiert.

1.4 Angewendete Methoden

Für das Verfassen dieser Arbeit wurde eine wissenschaftliche Herangehensweise gewählt, welche zum Ziel hat, Wissen zu schaffen und zu transferieren. Die Arbeit kann als Ingenieurwissenschaftlicher Prozess (s. *Abbildung 1*) gesehen werden, wobei Ingenieurwissenschaften angewandte Wissenschaften bezeichnen, welche auf Grunderkenntnissen der Naturwissenschaften aufbauen.⁶

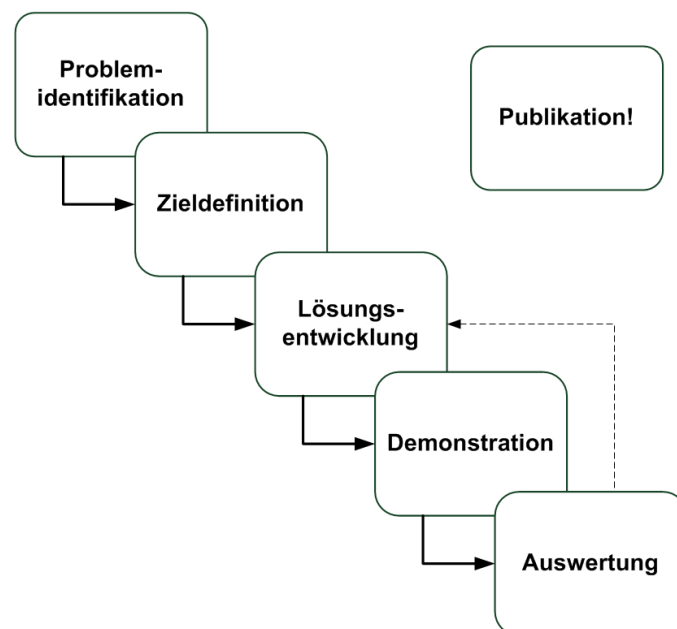


Abbildung 1: Ingenieurwissenschaftlicher Forschungsprozess⁷

Um die für diese Arbeit grundlegenden Forschungsfragen zu beantworten, kommen folgende Methoden zum Einsatz:

- Systematische und semi-systematische Literaturanalyse⁸

⁶ (Kuhlang, Erol, Edtmayr, Sunk, & Nemeth, 2015)

⁷ (Kuhlang u. a., 2015)

- Industrie 4.0 Phasenmodell vom IMW (Institut für Managementwissenschaften)⁹
- Industrie 4.0 Maturity Modell vom IMW¹⁰
- Persönliche Interviews¹¹
- Fallstudie¹²
- Vernetztes Denken¹³

1.5 Gewählte Vorgehensweise, Aufbau der Arbeit

Die Diplomarbeit wurde inhaltlich in fünf Abschnitte unterteilt, die in einer logischen Nachfolge gereiht sind. Kern dieser Arbeit ist der Hauptteil, in welchem eine geeignete Industrie 4.0 Roadmapping-Methode entwickelt wird. Die einzelnen Abschnitte mit einer kurzen Inhaltsbeschreibung:

- 1. Einleitung** – als Beginn der Arbeit werden in diesem Kapitel die Problemstellung identifiziert und die daraus folgenden Forschungsziele abgeleitet.
- 2. Theoretische Grundlagen** – dieses Kapitel ist in drei Themengebiete unterteilt und enthält die benötigten theoretischen Grundlagen für den nachfolgenden Hauptteil, welcher sich mit der Lösungsentwicklung befasst. Beginnend mit einer Einleitung in die Industrie 4.0 Thematik, bietet das erste Unterkapitel dem Leser einen Einblick in den historischen Hintergrund und die Begriffsentstehung von Industrie 4.0 sowie eine genauere Definition und Bedeutung für die Automobilindustrie. Inhaltlich befasst sich das zweite Unterkapitel mit unterschiedlichen Roadmapping-Ansätzen als einem Instrument zur strategischen Ausrichtung von Unternehmen. Letztens, liefert das dritte Unterkapitel einen kurzen Einblick in das Thema Reifegradmodelle.
- 3. Entwicklung einer Industrie 4.0 spezifischen kombinierten Planungsmethode** – als Kern dieser Diplomarbeit, befasst sich dieser Teil mit der Lösungsentwicklung und dem Beantworten der grundlegenden Forschungsfragen. In diesem Kapitel wurde auf Basis einer systematischen Literaturanalyse ein für Industrie 4.0 geeignetes Roadmapping-Verfahren entwickelt, welches in Kombination mit einer Reifegradbestimmungsmethode ein Instrument zur Unterstützung der strategischen Industrie 4.0 Ausrichtung für Unternehmen anbietet.
- 4. Fallstudie Volkswagen Slovakia** – die in Kapitel 3 entwickelte Planungsmethode wurden im Rahmen einer Fallstudie im Produktionsunternehmen Volkswagen Slovakia angewendet, was einer praktischen Ergebnisdemonstration

⁸ (Kitchenham, 2004)

⁹ (Erol, Schumacher, & Sihm 2016)

¹⁰ (Schumacher, 2015)

¹¹ (Herkner & Müllner, 2011)

¹² (Johanson, 2003)

¹³ (Vester, 1999)

entspricht. Anfangs wurde der Status-quo des Unternehmens in Hinblick auf Industrie 4.0 mit einem Reifegradmodell bestimmt. Aufbauend auf die Reifegradbestimmung und die in Kapitel 3 gewonnenen Erkenntnisse wurde eine Roadmap mit geplanten Industrie 4.0 Investitionen erstellt. Das Kapitel endet mit einer Auswertung der Ergebnisse.

- 5. Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick** – die aus dieser Arbeit (Kapitel 3 und 4) erhaltenen Ergebnisse werden nochmals zusammenfassend beschrieben und besondere Erkenntnisse diskutiert. Weiter werden neue Forschungsfragen, welche diese Arbeit aufgedeckt hat, beschrieben und die Arbeit kritisch gewürdigt.

Abbildung 2 veranschaulicht die in dieser Arbeit gewählte Vorgehensweise, wobei diese, ausgehend von der inhaltlichen Einteilung der Arbeit, in drei Arbeitspakete - den Theorieteil, den Hauptteil und die Fallstudie, unterteilt ist.

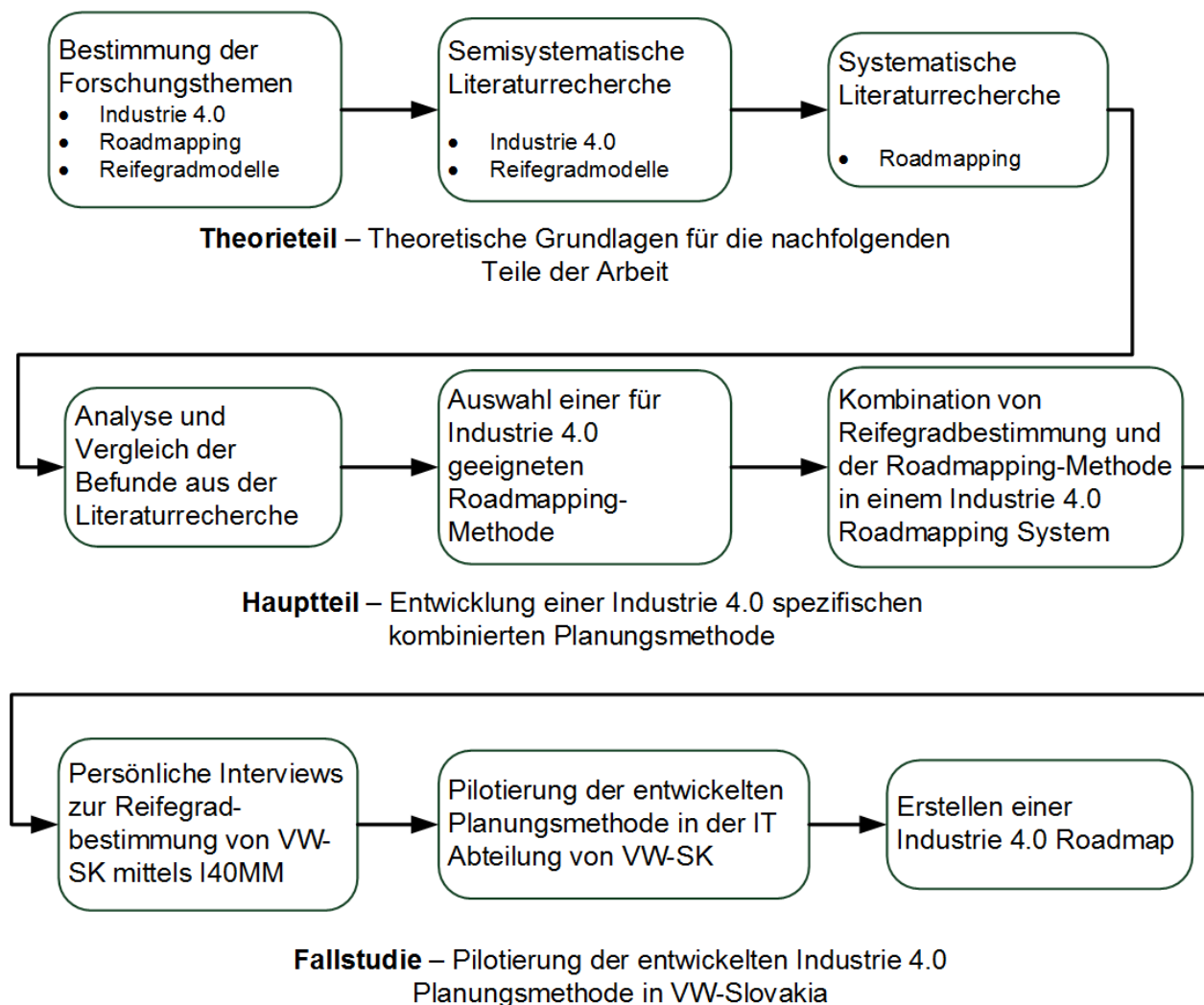


Abbildung 2: Geplante Vorgehensweise dieser Diplomarbeit

2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel bietet eine Einleitung in die Industrie 4.0 Thematik, beginnend mit einer kurzen Erläuterung Industrie 4.0 relevanter Begriffe. Im Weiteren werden der historische Hintergrund, sowie der eigentliche Ursprung von Industrie 4.0 beschrieben und ökonomische Prognosen und Potentiale als eine ihrer Haupterwartungen dargestellt. Eine genauere Definition von Industrie 4.0 und ihrer Bestandteile, sowie eine Begriffserörterung in Bezug auf die Automobilindustrie sind Bestandteile der nachfolgenden Unterkapitel. Im zweiten Teil werden Roadmapping-Ansätze als eine Methode des strategischen Managements vorgestellt. Es werden unterschiedliche Erscheinungsformen samt ihrer Einsatzgebiete beschrieben und eine methodische Vorgehensweise erläutert. Roadmapping wird in der Praxis häufig mit anderen Managementansätzen kombiniert. In dieser Arbeit wird eine Roadmapping-Methode entwickelt, welche auf der Reifegradbestimmung von Unternehmen mittels Reifegradmodellen basiert. Diese werden im dritten Kapitel ausführlicher beschrieben – genauer ihre Definition, Einteilung, Hauptmerkmale und Einschränkungen.

2.1 Industrie 4.0

2.1.1 Industrie 4.0 spezifische Terminologie

Um ein einheitliches Begriffsverständnis für diese Arbeit zu schaffen, werden in diesem Kapitel Terminologien erläutert, welche in enger Beziehung mit der Industrie 4.0 stehen. In der Diplomarbeit von Schumacher wurde eine Liste Industrie 4.0 spezifischer Begriffe erstellt, welche für diese Arbeit um weitere Begriffe ergänzt wurde.^{14 15 16 17 18 19 20}

- **Big Data** – Ansammlung sehr großer Datenmengen, welche aus unterschiedlichen analogen und digitalen Datenquellen gewonnen werden.
- **Cloud Computing** – ist ein Modell, welches auf Nachfrage ermöglicht, einen allgegenwärtigen und bequemen Netzwerkzugang auf einen gemeinsamen Pool von konfigurierbaren Computing-Ressourcen (Netzwerke, Server, Datenbasen, Services usw.) zu haben.

¹⁴ (Schumacher, 2015)

¹⁵ (Pfrommer, Schleipen, Usländer, & al, 2014)

¹⁶ (Scheer, 2013)

¹⁷ (Mitsubishi, Ueda, & Kimura, 2008)

¹⁸ (Mell & Grance, 2011)

¹⁹ (Fleisch & Mattern, 2005)

²⁰ (Sendler, 2013)

- **Cyber-physisches System (CPS)** – ein System, welches reale Objekte oder Prozesse mit informationsverarbeitenden virtuellen Objekten und Prozessen über offene Informationssysteme verknüpft.
- **Cyber-physisches Production System (CPPS)** – Anwendung von CPS in der produzierenden Industrie.
- **Embedded System** – deutsch „eingebettetes System“, beschreibt einen elektronischen Rechner, bestehend aus Software- und Hardwarekomponenten, welcher in einen technischen Kontext eingebunden ist.
- **Internet der Dienste** – ein Teil des Internets, welches Dienste und Funktionalitäten als granulare, web-basierte Softwarekomponenten abbildet. Diese werden von Providern im Internet zu Verfügung gestellt und können auf Anforderung genutzt werden.
- **Internet der Dinge** – der Computer als eigenständiges Gerät verschwindet und wird durch „intelligente Objekte“ ersetzt. Diese bilden ein globales Netzwerk in welchem sie eigene Identitäten besitzen und mittels intelligenter Schnittstellen bedient werden.
- **Smart Factory** – deutsch „intelligente Fabrik“, ist eine Fabrik welche mittels moderner Computertechnologien Menschen und Maschinen auf Basis eigener Entscheidungen assistiert und ihnen bei dem Ausführen ihrer Aufgaben hilft.
- **Smart Products** – Erweiterung von technischen Produkten durch dezentrale Intelligenz zur Kommunikation mit anderen Objekten und Systemen.
- **Soziotechnisches System** – das Zusammenwirken von Menschen und Technologien (Maschine, System usw.) beim Ausführen einer Arbeitsaufgabe.
- **Wertschöpfungsnetzwerk** – dezentrales mehrzentrisches Netzwerk, welches durch komplexe mehrseitige Beziehungen zwischen selbständigen Akteuren/Wertschöpfungspartnern gekennzeichnet ist. Zusammen bilden diese eine Interessengemeinschaft, deren Ziel ist, einen ökonomischen Mehrwert zu bilden.

2.1.2 Historischer Hintergrund von Industrie 4.0 und ihre ökonomischen Erwartungen

In den letzten 260 Jahren kam es zu drei industriellen Revolutionen, welche die bestehenden wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse auf Dauer tiefgreifend veränderten (*Abbildung 3*):²¹

1. Die 1. industrielle Revolution begann um 1750, getrieben von der Entwicklung der Dampfmaschine kam es zur Industrialisierung. Die Beschäftigungsverteilung verlagerte sich vom klassischen Handwerk und der Landwirtschaft in neu entstandene Fabriken.

²¹ (Bauernhansl, Ten Hompel, & Vogel-Heuser, 2014)

2. Um 1850 setzte die 2. industrielle Revolution ein, welche von einer bürgerlichen Revolution begleitet wurde. Begleitet von einer verstärkten Nutzung elektrischer Energie ging man zur Massenproduktion über, was sich am Bedeutendsten in der Elektro-, Chemie- und Automobilindustrie bemerkbar machte.
3. Getrieben durch die Elektronik, gefolgt von Informations- und Kommunikationstechnologien kam es in den 1960er Jahren zum Beginn der 3. industriellen Revolution. Diese bewirkte eine starke Automatisierung von Produktionsprozessen sowie variantenreiche Serienproduktionen.

Im Laufe der 3. industriellen Revolution verringerte sich in vielen Ländern der Anteil der Wertschöpfung am Bruttoinlandsprodukt und man konnte den Trend, wie sich Volkswirtschaften zu Dienstleistungswirtschaften ausbildeten und ihr Industrieanteil zurückging, beobachten. Deutschland folgte diesem Trend nicht und hielt seinen Industrieanteil konstant um die 25%, wodurch es sich von der Finanzmarktkrise 2007/08 binnen verhältnismäßig kurzer Zeit erholen konnte.²²

Der Begriff Industrie 4.0, auch als 4. industrielle Revolution ausgelegt, hat seinen Ursprung in Deutschland, genauer wurde er von der Bundesregierung im Rahmen ihrer Hightech-Strategie zur Sicherung von Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort, definiert. Der Grundgedanke liegt im vollständigen Durchdringen von Software in die Industrie, ihre Produkte und Dienstleistungen, sowie der Vernetzung von Produkten und Diensten mittels Internet oder anderer Netzwerke.²³ Ziel des Zukunftsprojekts Industrie 4.0 ist nicht nur die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands zu steigern, sondern auch gesellschaftspolitische Herausforderungen, wie „optimale“ Ressourcennutzung, sowie ökologische und ökonomische Anforderungen an energieeffiziente Produktionen oder Gestaltung des demographischen Wandels, zu bewältigen.²⁴ Nach dem BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung) liegen die Schwerpunkte für seine Aktionsstrategie in der gezielten Förderung des Mittelstandes, Entwicklung von IT-Architekturen und den dazu gehörenden offenen Standards, dem gewährleisten von IT-Sicherheit und der Bewältigung der Qualifikationsanforderungsänderungen.²⁵

²² (Bauernhansl u. a., 2014)

²³ (Sendler, 2013)

²⁴ (BMBF, 2012)

²⁵ <https://www.bmbf.de/de/zukunftsprojekt-industrie-4-0-848.html> (21.3.2016)

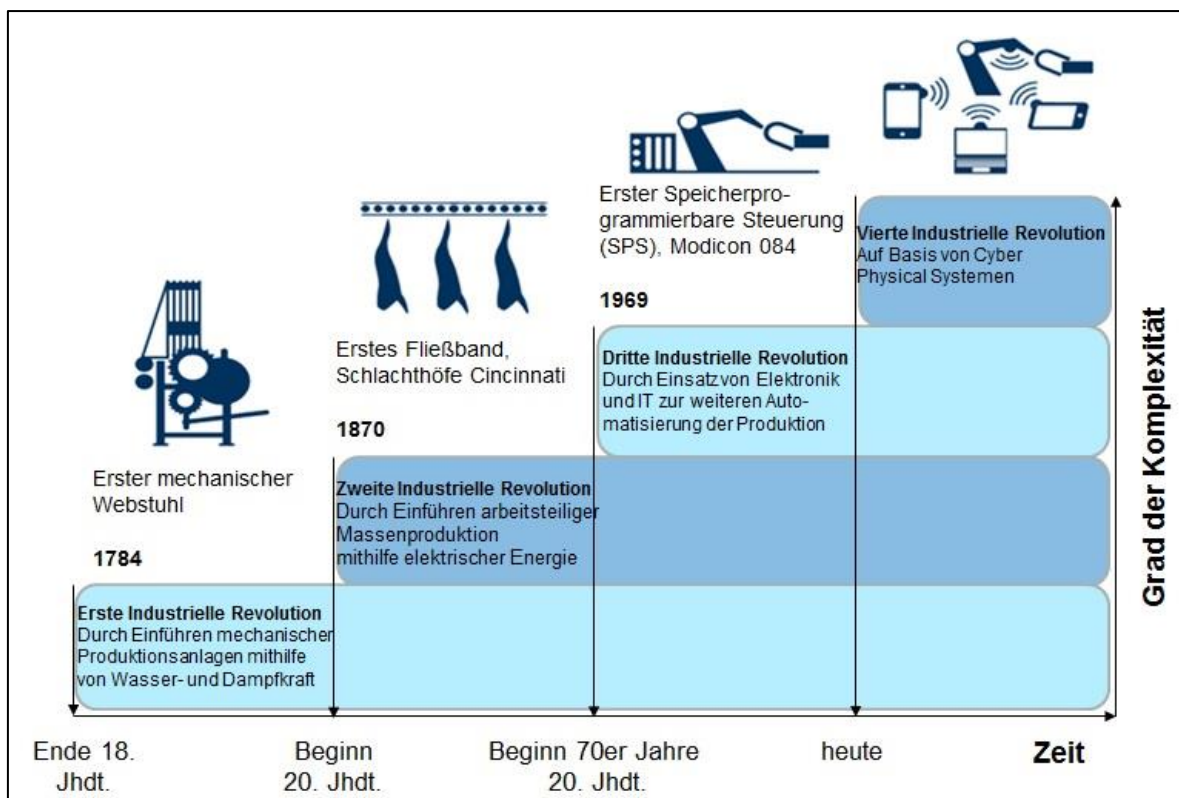


Abbildung 3: Darstellung der 4 industriellen Revolutionen²⁶

Ausgehend vom Paradigmenwechsel zur Industrie 4.0 erwarten Industrieunternehmen zukünftig eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. Ein bedeutendes Nutzenpotential wird in der Steigerung der Produktions- und Ressourceneffizienz erwartet. Laut einer, in 235 deutschen Produktionsunternehmen durchgeführten Umfrage wird durch Digitalisierung in den nächsten 5 Jahren eine durchschnittliche Effizienzsteigerung von 18% erwartet.²⁷ Abschätzungen der einzelnen Kostenbereiche zeigen, dass die größten Ersparnisse bei Komplexitätskosten zu erwarten sind (60-70%). Bestandskosten haben das Potential, durch optimale Sicherheitsbestände und Vermeidung des Bullwhip-Effekts durch Echtzeitinformationen bis zu 40% gesenkt zu werden. Große Nutzenpotentiale (20-30%) liegen ebenfalls bei der Instandhaltung, welche zum Beispiel durch CPS-Systeme zu einer intelligenten zustandsorientierten Wartung mit dynamischer Priorisierung optimiert werden kann.²⁸ Industrie 4.0 bietet neben der Effizienzsteigerung ein breites Spektrum von Potentialen an: Individualisierung der Kundenwünsche, Flexibilisierung, Wertschöpfung durch neue Dienstleistungen, optimierende Entscheidungsfindung, demografiesensible Arbeitsgestaltung, usw.²⁹

Im Jahre 2015 betrug das Bruttoinlandprodukt von Deutschland 3,025 Billionen €, wovon 25,8% (780 Mrd. €) aus dem produzierenden Gewerbe stammten.³⁰ Deutsch-

²⁶ (Sendler, 2013)

²⁷ (Koch, Kuge, Geissbauer, & Schrauf, 2014)

²⁸ (Bauernhansl u. a., 2014)

²⁹ (Kagermann, Wahlster, & Helbig, 2013)

³⁰ <http://www.statista.com/markets/422/topic/506/germany/> (23.3.2016)

land wird bis 2020 jährlich 40 Mrd. € in die Umsetzung von Industrie 4.0 investieren, wobei in der gesamten EU Investitionen von jährlich 140 Mrd. € erwartet werden.³¹ Laut der Boston Consulting Group wird in den nächsten fünf bis zehn Jahren eine durchschnittliche Produktivitätssteigerung von 5-8% erzielt, in der Automobilindustrie kann diese bis zu 20% betragen. Das Wachstum des deutschen Bruttoinlandsproduktes durch Industrie 4.0 wird auf 30 Mrd. € (1%) prognostiziert. Ein weiteres Potential der Industrie 4.0 liegt in der Schaffung neuer Arbeitsplätze – auf kurzfristiger Basis werden durch Automatisierung gering-qualifizierte Arbeitsplätze abgeschafft, für eine Zeitspanne von 10 Jahren wird jedoch ein Beschäftigungswachstum von 6% vorausgesagt. Zukünftig werden vor allem Arbeitskräfte mit IT-Kompetenzen und Mechatroniker benötigt.³² *Tabelle 1* zeigt verschiedene Prognosen des jährlichen wirtschaftlichen Potentials von Industrie 4.0 in Deutschland (DE) und Österreich (AT). Die Varianz der Ergebnisse resultiert in den verschiedenen Annahmen auf denen die Prognosemodelle aufbauen.³³

DE	McKinsey (2013)	~ 145 Mrd. €	Grobe und optimistische Schätzung
DE	Roland Berger (2014)	~ min. 20 Mrd. €	Konservative Schätzung
DE	BITKOM (2014)	~ 28 Mrd. €	Optimistische Schätzung
DE	PwC (2014)	~ 30 Mrd. €	Optimistische Schätzung
AT	McKinsey (2013)	~ 24 Mrd. €	Umsatz- und Effizienzpotential
AT	PwC (2014)	~ 3 Mrd. €	Optimistische Schätzung

Tabelle 1: Prognostiziertes wirtschaftliches Potential von Deutschland und Österreich nach verschiedenen Studien^{34 35 36}

2.1.3 Industrie 4.0, ihre Bestandteile und Auswirkungen

Industrie 4.0 unterliegt keiner einheitlichen Definition und wird in aktuellen Literaturquellen unterschiedlich ausgelegt. Eine Vielzahl der Autoren versteht darunter im Wesentlichen eine durch Digitalisierung und Vernetzung getriebene Umgestaltung produzierender Unternehmen. Für dieses Werk ist, auf Basis der durchgeführten Literaturrecherche und Interviews in dem Produktionsunternehmen VW Slovakia, unter Industrie 4.0 Folgendes zu verstehen:

³¹ (Koch u. a., 2014)

³² (Rüßmann u. a., 2013)

³³ (Wischmann, Angler, & Botthof, 2015)

³⁴ (Wischmann u. a., 2015)

³⁵ (PricewaterhouseCoopers, 2015)

³⁶ (McKinsey, 2015)

Industrie 4.0 beschreibt eine umfassende Digitalisierung und Vernetzung der gesamten Wertschöpfungskette samt ihrer menschlichen und maschinellen Akteure mittels modernster Technologien, um so relevante Informationen in Echtzeit zu gewinnen und auszuwerten, welches eine Effizienz- und Flexibilitätssteigerung der Produktion erzielen soll. Neben der technologischen Neuausrichtung umfasst Industrie 4.0 auch die daraus folgende Anpassung von Organisationsstrukturen, Geschäftsmodellen und Arbeitsinhalten.

Aus technischer Sicht wird mit Industrie 4.0 grundsätzlich die Integration von Cyberphysischen Systemen in die Produktion und Logistik, sowie die Verwendung des Internets der Dinge und Dienste in industriellen Prozessen verstanden – einschließlich der sich daraus ergebenden Konsequenzen für die Wertschöpfung, Geschäftsmodelle als auch die nachgelagerten Dienstleistungen und Arbeitsorganisation.³⁷ Industrie 4.0 wird sich auf übergeordnete Merkmale (*Abbildung 4*), welche sich durch die neuen technischen Lösungen ergeben, konzentrieren.^{38 39 40}

- **Vertikale Integration** – bedeutet für die Industrie 4.0 physische und technische Prozesse einschließlich ihrer Ressourcen und Geschäftsprozesse innerhalb eines Unternehmens vertikal über unterschiedliche Hierarchieebenen hinaus, wie auch Informations-, Steuerungs-, Kommunikations-, und Managementsysteme untereinander zu verbinden. Vertikale Integration ermöglicht Produktionssystemen flexibel und selbstorganisierend zu handeln.
- **Horizontale Integration** – es wird das unternehmensübergreifende Vernetzen einzelner Prozessschritte in der Produktion und Unternehmensplanung zwischen welchen ein Material-, Energie- und Informationsfluss verläuft verstanden. Durch durchgängige Transparenz, flexible Reaktionszeiten auf Störungen und die Möglichkeit einer globalen Optimierung kann ein echtzeitoptimierendes Wertschöpfungsnetzwerk erschaffen werden.
- **Digitale Durchgängigkeit** – Ziel der Industrie 4.0 ist ein durchgehendes, firmenübergreifendes Engineering über die gesamte Wertschöpfungskette unter Einbeziehung von Kundenanforderungen. Es entsteht eine Verknüpfung zwischen Produktionssystem und Produkt, in welchem die richtige Verwendung der zu Verfügung stehenden Daten im Mittelpunkt steht.

³⁷ (Kagermann u. a., 2013)

³⁸ (Kagermann u. a., 2013)

³⁹ (Bischoff u. a., 2015)

⁴⁰ (Kagermann u. a., 2013)

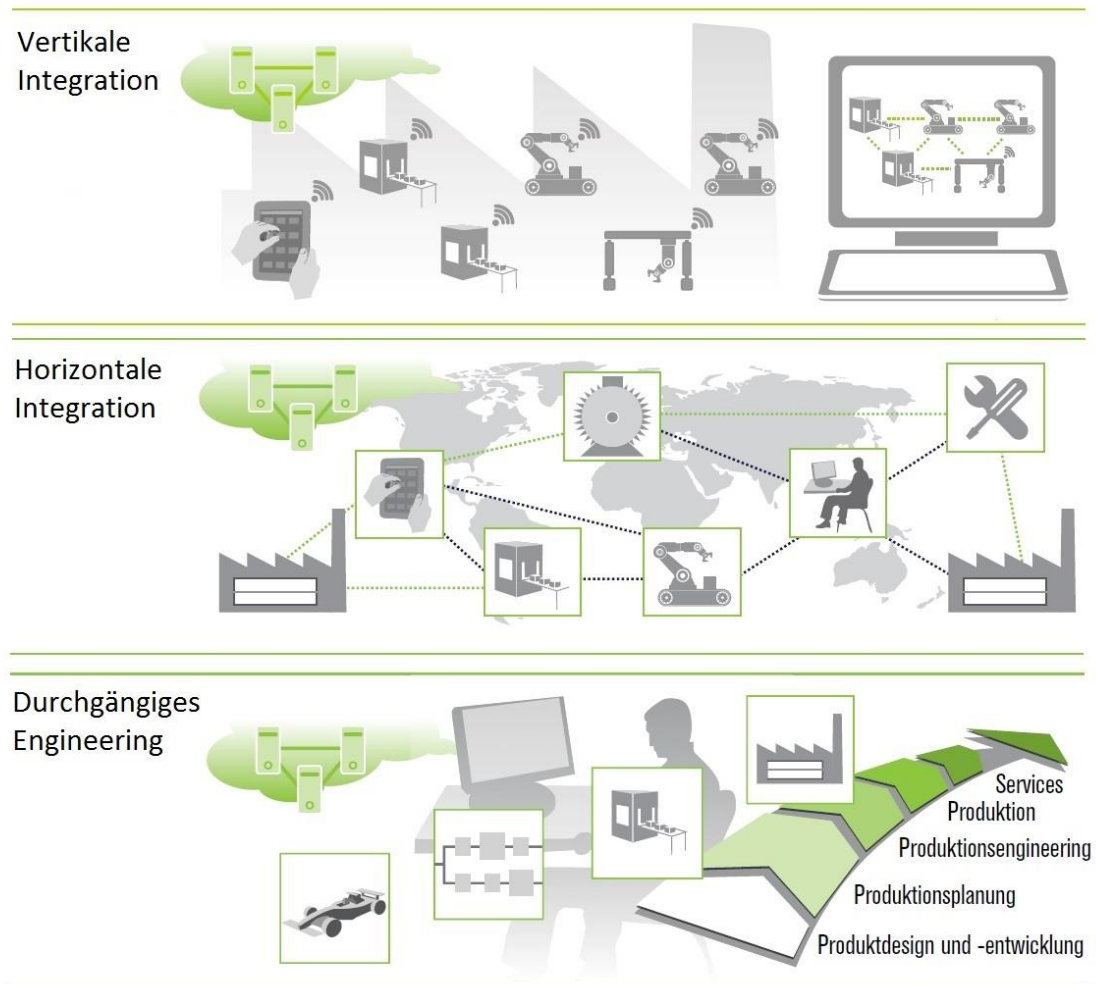


Abbildung 4: Übergeordnete Merkmale der Industrie 4.0⁴¹

Neben den finanziellen Auswirkungen, prägt die 4. industrielle Revolution auch das gesamte Unternehmen samt Umfeld. Dies betrifft besonders folgende drei Gebiete:⁴²

- **Mensch** – Mitarbeitern, die zukünftig eine wichtige Rolle spielen werden, ermöglichen neue Technologien eine humanorientierte Gestaltung der Arbeitsorganisation, welche die Herausforderungen des demographischen Wandels mitbewältigen kann. Als soziotechnisches System ergeben sich aus Industrie 4.0 neue Arbeitsaufgaben, erhöhte Mitarbeiterqualifikationen und ein besseren Zugang zum Wissen.
- **Technik** – Die Vernetzung der Wertschöpfungskette ermöglicht neue Ansätze für Planung, Problemlösung und Selbstorganisation. Systeme sollen für Anwender einfach und intuitiv zu bedienen sein. Einzelne Systemkomponenten

⁴¹ (Kagermann u. a., 2013)

⁴² (Plattform Industrie 4.0, 2015)

und Produkte sind identifizier- und adressierbar, wodurch die virtuelle Planung unterstützt wird, um so Ressourceneffektivität und –effizienz zu steigern.

- **Organisation** – Durch neu etablierte Wertschöpfungsnetzwerke werden dynamische Variationen der Arbeitsteilung ermöglicht. Zusammenarbeit zwischen Unternehmen führt zu neuen Geschäftsmodellen und rechtlichen Strukturen, wie auch zu neuen Vertragsmodellen (z.B. Ressourcen als Service kaufen).

Eine genauere Auswirkung auf bestehende Technologien beschreibt der Verband BITKOM, welcher seine Industrie 4.0 Definition auf fünf Technologiefeldern (Eingebettete Systeme CPS, IT-Sicherheit, Cloud Computing, Smart Factory, Robuste Netze) aufbaut, die durch Industrie 4.0 am bedeutendsten beeinflusst werden (siehe Abb. 5). Diese wurden im Rahmen einer Studie in sechs Branchen identifiziert und sollen Unternehmen ein Gerüst für eine Unternehmenseigene Industrie 4.0 Definition anbieten.⁴³

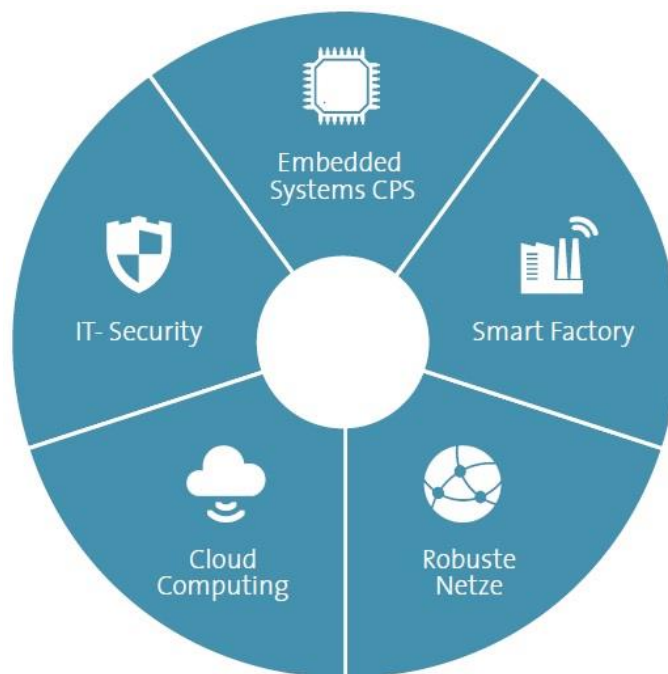


Abbildung 5: Industrie 4.0 Technologiefelder nach BITKOM⁴⁴

2.1.4 Industrie 4.0 in der Automobilindustrie

Die Automobilindustrie ist 2015 mit einem erwirtschafteten Umsatz von mehr als 404 Mrd. €, davon 141 Mrd. € Inlandumsatz, die größte Branche des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland. Sie beschäftigt direkt mehr als 790000 Personen. Im Vergleich zum Vorjahr wurde 2015 ein Wachstum von 9,9% des Gesamtumsatzes er-

⁴³ (Bauer, Schlund, Marrenbach, & Ganschar, 2014)

⁴⁴ (Bauer u. a., 2014)

reicht.⁴⁵ Laut Hochrechnungen wird in Deutschland die gesamte Automobilindustrie bis 2020 jährlich über 11 Mrd. € in Industrie 4.0 Lösungen investieren, dies entspricht 2,9% des Jahresumsatzes. Durch diese Investitionen wird eine Umsatzsteigerung von 10,5 Mrd. € (13,6%) in der gesamten Automobilindustrie erwartet.⁴⁶

In den vergangenen hundert Jahren haben sich die Wertschöpfungsstrukturen der Automobilindustrie nur gering verändert – es wird nach wie vor mit dem arbeitsteiligen Tayloristischen Prinzip gearbeitet, in welchem Band und Takt den Kern der Wertschöpfung bilden. Die Bemühungen der Automobilindustrie liefen in den letzten Jahren stark in die Optimierung der Produktivität und die Beherrschung von Variantenvielfalt. Industrie 4.0 spielt eine bedeutende Rolle bei der Bewältigung dieser Herausforderungen.⁴⁷ In Deutschland nimmt die Automobilindustrie im Gebiet softwareintensiver eingebetteter Systeme eine Führungsrolle ein und wird auch bei der Umsetzung von Industrie 4.0 als Vorreiter betrachtet.⁴⁸

Abgesehen von der Technologie, hat die Automobilindustrie durch Implementierung von Industrie 4.0 einige weitere Hürden zu bewältigen:⁴⁹

- **Effizienzdruck in der Kernwertschöpfung** – Serienfertigung am Band wird seit seiner Einführung vor 100 Jahren stark auf Effizienz optimiert, wodurch ein nachhaltiges, komplexes und fragiles Gebilde entstanden ist. Ein Umgestalten dieser Produktionssysteme im Sinne von Industrie 4.0 bis hin zur sogenannte Stationsfertigung (das Fahrzeug sucht sich den Weg durch die Produktion selbst) ist sehr aufwendig und wird deshalb oft vermieden.
- **Verschiedene Betrachtungsweisen** – Das Verschmelzen der realen und digitalen Welt bringt immer häufiger verschiedene Fachbereiche mit IT zusammen, wobei es zu Verständnisproblemen durch andere Zielvorgaben kommen kann.
- **Fehlende Steuerung und Zusammenarbeitsmodelle** – In vielen Fällen bekommt das IT vom oberen Management den Auftrag, Industrie 4.0 und Innovationen voranzutreiben, wobei diese Rolle vom Vorstand eingenommen werden sollte, um so eine Steuerung aller Stakeholder zu ermöglichen. Die Fachbereiche und IT haben verschiedene Zielvorgaben, welche sich häufig nur bei der Schnittstelle zwischen MES (*Manufacturing Execution System*) und ERP (*Enterprise Resource Planning*) abstimmen – hier wird viel Energie für Standardisierung und Kommunikation verschwendet. Durch horizontale und verti-

⁴⁵ vgl. <https://www.bmwi.de/DE/Themen/Wirtschaft/branchenfokus,did=195924.html> (29.3.2016)

⁴⁶ (Geissbauer, Schrauf, Koch, & Schrauf, 2014)

⁴⁷ (Bauernhansl u. a., 2014)

⁴⁸ (Kagermann u. a., 2013)

⁴⁹ (Siems, 2015)

kale Integration entsteht in der „MES-Pyramide“ eine zusätzliche Ebene (*Abbildung 6*). Dies eröffnet die Frage, wer zukünftig die Verantwortung tragen wird, da direkt in die Produktion (Verantwortung Fachbereiche) eingegriffen wird und gleichzeitig eine sichere Vernetzung garantiert werden muss (Verantwortung IT).

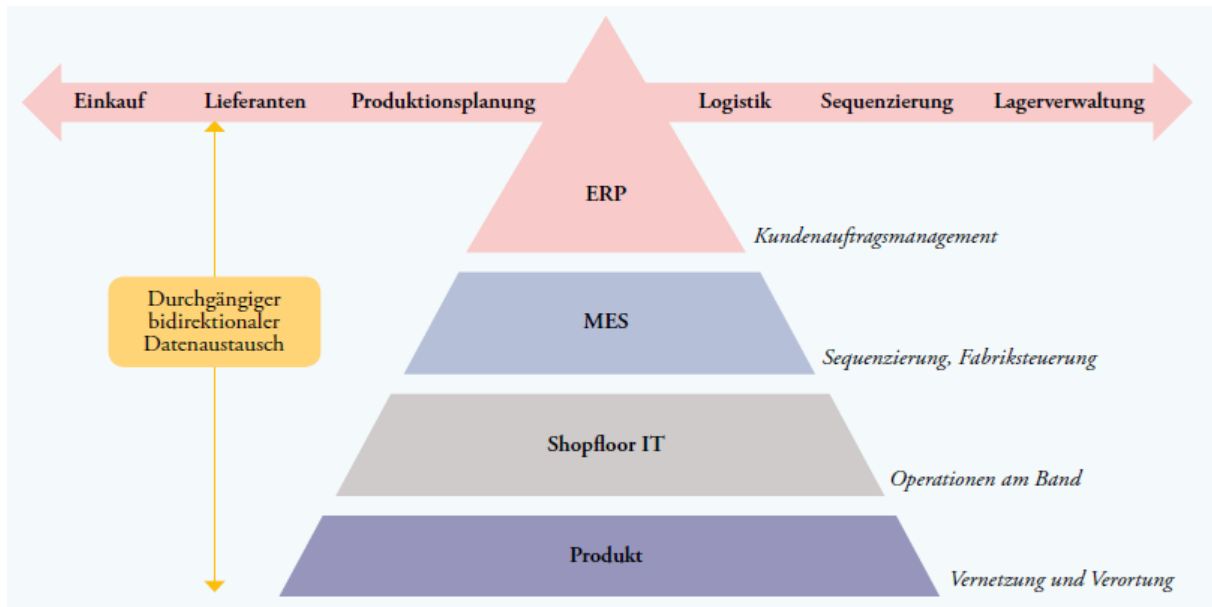


Abbildung 6: IT in der Produktion im Kontext Industrie 4.0⁵⁰

- **Kein definierter Soll-Zustand oder fehlende Industrie 4.0 Strategie** – Es wird in vielen Fällen kein erstrebter Soll-Zustand mit einer dazugehörigen Roadmap definiert. Industrie 4.0 wird durch einen reinen technologiegetriebenen Bottom-Up-Ansatz ohne jegliche Strategie getrieben.
- **Vernachlässigung des Sicherheitsaspekts** – Durch eine datendurchgängige horizontale und vertikale Integration erhöht sich das Risikopotential aus IT-Sicht, weswegen eine sichere End-to-End-Architektur benötigt wird.

Aus Sicht der Daimler AG liegt das Potential von Industrie 4.0 für die Automobilindustrie in zwei Hauptfeldern – Effizienzsteigerung der Prozesse durch horizontale und vertikale Integration und multifunktionale Produkte durch vernetzte Systeme. Heutzutage wird schon eine Vielfalt von Industrie 4.0 Technologien in Unternehmen eingesetzt, wobei diese ununterbrochen weiterentwickelt und vernetzt werden. Ein Schwerpunkt der zukünftigen Produktion liegt in der Steigerung des Automatisierungsgrades, welche sich im Sinne einer intelligenten „Mensch-Roboter-Kooperation“ tragen wird.⁵¹ In der intelligenten Fabrik von Morgen (*smart Factory*) soll die getaktete Bandproduktion durch eine flexible Stationsfertigung abgelöst werden. In dieser

⁵⁰ (Siems, 2015)

⁵¹ (Kienzle, 2014)

fahren Fahrzeuge autonom als *smart Products* durch CPS-fähige Fertigungsstationen, welches eine Variantenvielfalt in der Ausstattung ohne Taktverzögerung ermöglicht.⁵² Laut einer von MHP, in der Automobil- und Fertigungsproduktion durchgeführten Studie wird die Zusammenarbeit mit IT zukünftig in allen Unternehmensbereichen von großer Bedeutung. Technologien wie *Big Data* und das Internet der Dinge und Dienste werden in den nächsten fünf Jahren ebenfalls stark an Bedeutung gewinnen.⁵³

2.1.5 Industrie 4.0 spezifische Planungsmethoden

Eine Vielzahl recherchierter Literaturquellen, welche sich mit Industrie 4.0 befassen, bieten für Unternehmen Umsetzungsempfehlungen an, ohne sich mit der strategischen Planung zu beschäftigen oder diese methodisch zu unterstützen. Erste Industrie 4.0 spezifische Planungsmethoden wurden erst ab dem vergangenen Jahr vorgestellt. Nachfolgende strategische Planungsmethoden in Hinblick auf Industrie 4.0 konnten identifiziert werden:

- **PwC**

Pricewaterhouse Coopers stellte im Jahre 2016 ein drei stufiges kombiniertes Vorgehensmodell zur Unterstützung Industrie 4.0 bezogener strategischer Planung vor. Dieses basiert auf einem Reifegradmodell und erzielt das Erstellen einer Roadmap. Im ersten Modellschritt wird der Status-quo des Unternehmens im Hinblick auf Industrie 4.0 mit einem Reifegradmodell bestimmt. Dieses umfasst sechs Dimensionen, welche jeweils mit vier Reifegraden bewertet werden können, vom „*Digital Novice*“ bis zum „*Digital Champion*“. Ergebnisse der Reifegradbestimmung werden visualisiert und analysiert und im zweiten Schritt werden aufbauend auf eine Gap-Analyse Maßnahmen bestimmt und priorisiert, welche zur Erreichung des Soll-Zustandes beitragen. Im letzten Schritt werden die geplanten Maßnahmen drei Layern (Production & Engineering, Service, Sales) einer Roadmap zugeordnet.⁵⁴

- **Industrie 4.0-Einführungsstrategie von Merz**

Das Vorgehensmodell von Merz soll Unternehmen helfen, eine Strategie zur Industrie 4.0 Einführung zu entwickeln. Es besteht aus drei Schritten, welche weiter in Abschnitte unterteilt sind. Schritt 1, die Industrie 4.0-Ist-Analyse, befasst sich mit der strategischen Betrachtungsebene. In diesem Schritt wird das Unternehmen anhand von fünf Industrie 4.0 Paradigmen (vertikale und hori-

⁵² (Kagermann u. a., 2013)

⁵³ (Kelkar, Heger, & Dao, 2014)

⁵⁴ (PwC, 2016)

zontale Integration, dezentrale Intelligenz, dezentrale Steuerung, durchgängiges digitales Engineering, CPPS) und dem 3C-Modell (strategisches Dreieck – Kunde, Wettbewerber, Unternehmen) in Bezug auf seine Industrie 4.0 Strategie auf einer Matrix mit vier Quadranten eingeordnet. Im zweiten Schritt (taktische Betrachtungsebene) identifiziert das Unternehmen durch Entwicklung verschiedener Szenarien, wo es sich zukünftig auf der Matrix positionieren möchte. Der letzte Schritt (operative Betrachtungsebene) befasst sich mit der Umsetzung definierter Maßnahmen auf unterschiedlichen Unternehmensebenen. *Abbildung 7* visualisiert die einzelnen Schritte des Vorgehensmodells von Merz.⁵⁵

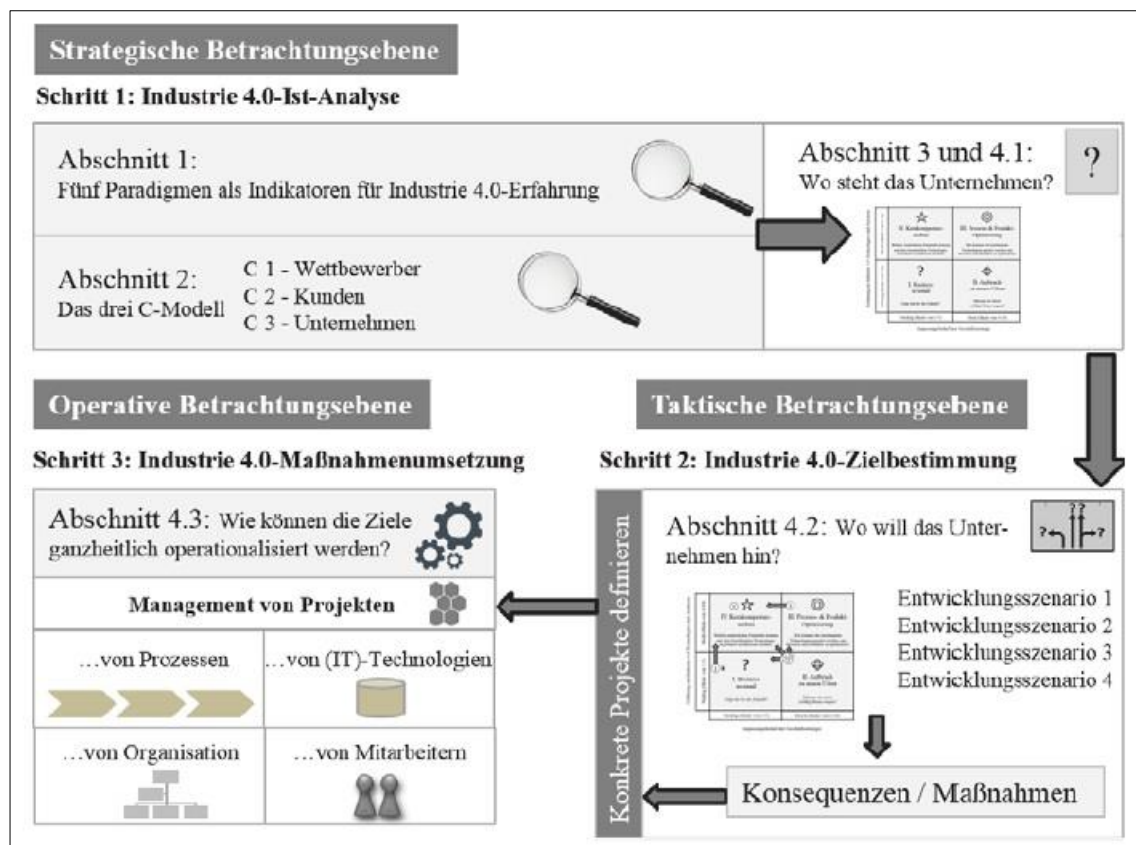


Abbildung 7: Vorgehensmodell zur Industrie 4.0 Einführung⁵⁶

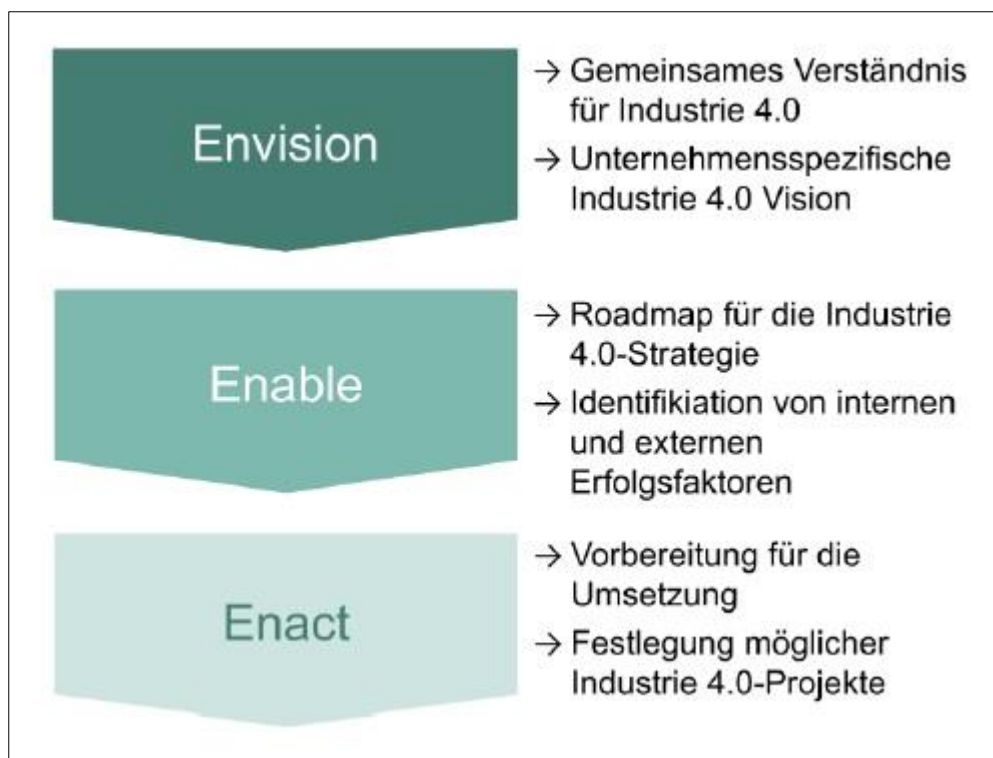
- **Dreistufiges Vorgehensmodell für die Industrie 4.0 Ausrichtung von Erol, Schumacher, Sihn**

Das am Institut für Managementwissenschaften der TU-Wien entwickelte dreistufige Vorgehensmodell zur strategischen Industrie 4.0 Ausrichtung bietet Unternehmen ein unterstützendes Gerüst bei der Entwicklung einer unter-

⁵⁵ (Merz & Siepmann, 2016, S. S. 85ff)

⁵⁶ (Merz & Siepmann, 2016, S. 96)

nehmensspezifischen Industrie 4.0 Vision an. Das Modell besteht aus drei Stufen - *Envision*, *Enable* und *Enact*. Beginnend wird in der Stufe *Envision* anhand bestehender Unternehmensvisionen und Marktanforderungen eine unternehmenseigene Industrie 4.0 Vision geschaffen. Somit soll ein einheitliches Industrie 4.0 Verständnis geschaffen werden. Ziel der zweiten Stufe (*Enable*) ist es, eine Industrie 4.0 Strategie auf einer Roadmap mit vier Layern (Markt-, Produkt-, Prozess-, Netzwerkperspektiven) zu veranschaulichen. In der Stufe *Enact* werden aus der bestimmten Strategie konkrete Handlungsmaßnahmen in Form von Projekten abgeleitet, wobei sich diese auf die wichtigsten Industrie 4.0 Handlungsfelder konzentrieren. Die drei Stufen des Vorgehensmodells samt ihrer Ziele werden in *Abbildung 8* veranschaulicht.⁵⁷



*Abbildung 8: Drei Stufen des Vorgehensmodells zur Industrie 4.0 Transformationen von Unternehmen*⁵⁸

- **Einführungsstrategie für Industrie 4.0 von Lanza u.a.**

Lanza u.a. stellten im Jahre 2016 eine mehrstufige Vorgehensweise zur Integration von Industrie 4.0 in Unternehmen vor. Ausgehend von Industrie 4.0 Methoden (Verknüpfung von IKT mit klassischen Methoden zur Produktionsoptimierung), wie dynamische Kanbansteuerung, papierlose Fabriken, digi-

⁵⁷ (Erol u. a., 2016, S. 247ff)

⁵⁸ (Erol u. a., 2016)

tales PokaYoke usw. werden im ersten Schritt durch einen Quick-Check mit integriertem Reifegradmodell Industrie 4.0 Potentiale bestimmt und die einzelnen Industrie 4.0 Methoden priorisiert. In einer Toolbox werden zusammenfassend alle Industrie 4.0 Methoden genauer beschrieben. Im nachfolgenden Schritt werden auf Basis des erworbenen Reifegrades mittels einer Gap-Analyse die einzelnen Methoden auf ihre Ausprägung in den einzelnen Reifegraddimensionen überprüft und es werden Maßnahmen entwickelt um sie an den bestehenden Ist-Zustand anzupassen. Die Maßnahmenentwicklung erfolgt über eine generische Risiko- und Potentialabschätzung und sie werden während des Projektes in sogenannten Anwendungsfällen getestet und weiterentwickelt.⁵⁹

2.2 Roadmapping

2.2.1 Strategisches Management in Unternehmen

Die strategische Steuerung von Unternehmen unterlief in den vergangenen Jahrzehnten signifikanten Veränderungen. In den 50er Jahren entstand durch die Etablierung von Zukunftswissenschaften die langfristige Unternehmensplanung, in den 60er Jahren wurde von Steiner die erste umfangreichere Dokumentation und Systematisierung der Planungsmethodik vorgestellt. Die Entwicklung strategischer Planung erlebte in den 70er Jahren durch die Entdeckung des Lernkurven-Effekts und der Entwicklung des Portfolio-Managements einen sprunghaften Fortschritt. Ab den 80er Jahren wurde strategische Steuerung nicht mehr als Planungsanalyse gesehen, vielmehr wurde daraus eine Managementaufgabe – der Begriff „strategisches Management“ etablierte sich weitgehend.⁶⁰

Die Hauptaufgabe des strategischen Managements besteht in der strategischen Planung, welche die Bestimmung von Ziel- und Aktionsräumen beinhaltet, die ein Unternehmen zur Sicherung und Erschießung von Erfolgspotentialen durch spezifische Operationen ausfüllen will. Im Grunde umfasst strategisches Planen alle unternehmenspolitischen Entscheidungen, die das Geschehen im Unternehmen und hauptsächlich in seinen Umweltbeziehungen nachhaltig bestimmen. Das wesentliche Ziel besteht in der Beherrschung und Gestaltung der Beziehung zwischen dem Unternehmen und seiner Umwelt.⁶¹

Im theoretischen Modell von Gilmore und Brandenburg, ist der Prozess der strategischen Planung in vier Hauptphasen gegliedert, siehe *Abbildung 9*. Diese Hauptpha-

⁵⁹ (Lanza, Nyhuis, Ansari, Kuprat, & Liebrecht, 2016, S. 76ff)

⁶⁰ (Schreyögg, 1999, S. 387ff)

⁶¹ (Zahn, 1989, S. 893)

sen werden weiter in 43 Einzelschritte unterteilt, die zur Definition einzelner Arbeitsoperationen führen.⁶²

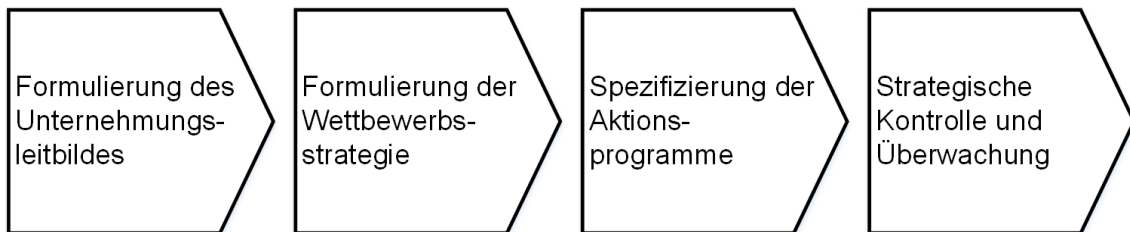


Abbildung 9: Hauptphasen des Prozesses der strategischen Planung⁶³

Nach Wild weist strategische Planung allgemein folgende Merkmale auf:⁶⁴

- **Zukunftsbezogenheit:** die Planung beschäftigt sich ausschließlich mit zukünftig gewünschten Zuständen und den zu ergreifenden Maßnahmen für ihre Erreichung.
- **Rationalität:** Planung unterscheidet sich vom intuitiven Handeln durch das methodisch-systematische Vorgehen im Problemlösungsprozess und kann als zielgerichtetes rationales Denken gesehen werden.
- **Gestaltungscharakter:** im Gegensatz zur reinen Prognose, liegt das Ziel der Planung immer im Erreichen erwünschter Zustände.
- **Prozessphänomen:** die Planung kann als ein im Zeitablauf fortschreitender Prozess gesehen werden.
- **Informationeller Charakter:** Planung ist ein komplexer Informationsprozess, in dem unterschiedliche Informationen aufgenommen, gespeichert und verarbeitet werden.

2.2.2 Einleitung in die Roadmapping-Thematik

Die rasche Geschwindigkeit der technologischen und wissenschaftlichen Entwicklung, sowie die Globalisierung und die steigende Marktanforderungen erhöhen ununterbrochen die Anforderungen an langfristige und strategische Planung.⁶⁵ Strategische Planung bezeichnet hier „ein systematisches zukunftsbezogenes Durchdenken und Festlegen von Zielen, Maßnahmen, Mitteln und Wegen zur zukünftigen Zielerreichung“⁶⁶. Sie wird vor allem durch Formalisierung, einen langfristigen Planungshori-

⁶² (Hammer, 1998, S. 115f)

⁶³ (Hammer, 1998, S. 115)

⁶⁴ (Kreilkamp, 1987, S. 3)

⁶⁵ (Phaal, Farrukh, & Probert, 2004, S. 5)

⁶⁶ (Peters, Brühl, & Stelling, 2005, S. 25)

zont und den Gebrauch verschiedener Planungsinstrumente gekennzeichnet.⁶⁷ Als ein innovatives Instrument zur Unterstützung strategischer Planungsaktivitäten auf Unternehmens- und Nationalebene wurden in den vergangenen Jahren häufig Roadmapping-Ansätze diskutiert.⁶⁸

Erste Ansätze des Technologie-Roadmapping (TRM) gab es bereits in den 1970er Jahren. Heutzutage hat sich daraus eine der meist eingesetzten Managementtechniken zur Unterstützung von Innovation und Strategie auf Unternehmens-, Branchen- und Nationalebenen, entwickelt.⁶⁹ Das englische Wort „Roadmap“ (RM) wird als Metapher für einen „Fahrplan“ gesehen, mit dem Unternehmen als „Fahrzeug“, welches auf bekannten und unbekannten Wegen zu seinem Ziel fährt.⁷⁰ „Roadmapping“ beschreibt den Vorgang des Erstellens einer Roadmap.⁷¹ Im deutschsprachigen Raum gilt der Begriff „Roadmap“ seit Anfang der 2000er Jahre als verbreiteter Anglizismus, wobei er erst 2004 in den Rechtsschreibeduden aufgenommen wurde.⁷² Deutschsprachige Literatur verwendet überwiegend die Bezeichnung „Technologie Roadmap“ und unterscheidet in den meisten Fällen nicht zwischen strategischem und technologischem Roadmapping, es wird eher von einer strategischen Ausrichtung mit Hilfe von Technologie Roadmaps gesprochen.⁷³ Laut englischer Literaturquellen sind Roadmaps ihrer Form nach sehr flexibel und ihr Erstellungsprozess, sowie ihre Struktur können so angepasst werden, dass sie für eine strategische und innovative Ausrichtung geeignet sind. Phaal und Muller sehen Roadmaps als strategische Linse, über welche ein komplexes System betrachtet werden kann und die gleichzeitig einen Rahmen für Verständnis und Dialog anbietet (s. *Abbildung 10*). Diese Linse umfasst zwei ausgeprägte Layer (Ebenen):⁷⁴

1. Die zugrundeliegende Informations-basierende Struktur (Roadmaparchitektur) – wie die von der Roadmap gezeigten Informationen organisiert sind (betrachtete Layer über einen zeitlichen Verlauf).
2. Die darüberlegende graphische Layer – ausgewähltes Format, Farbe und Styl für die Darstellung von Roadmapstruktur und –inhalt.

⁶⁷ (Siegfried, 2015, S. 39)

⁶⁸ (Phaal & Muller, 2009, S. 39)

⁶⁹ (Phaal & Muller, 2009, S. 39)

⁷⁰ (Möhrle & Isenmann, 2008, S. 2)

⁷¹ (Kostoff & Schaller, 2001, S. 132)

⁷² vgl. <http://www.duden.de/rechtschreibung/Roadmap> (9.5.2016)

⁷³ (Möhrle & Isenmann, 2008, S. 2ff)

⁷⁴ (Phaal & Muller, 2009, S. 40f)

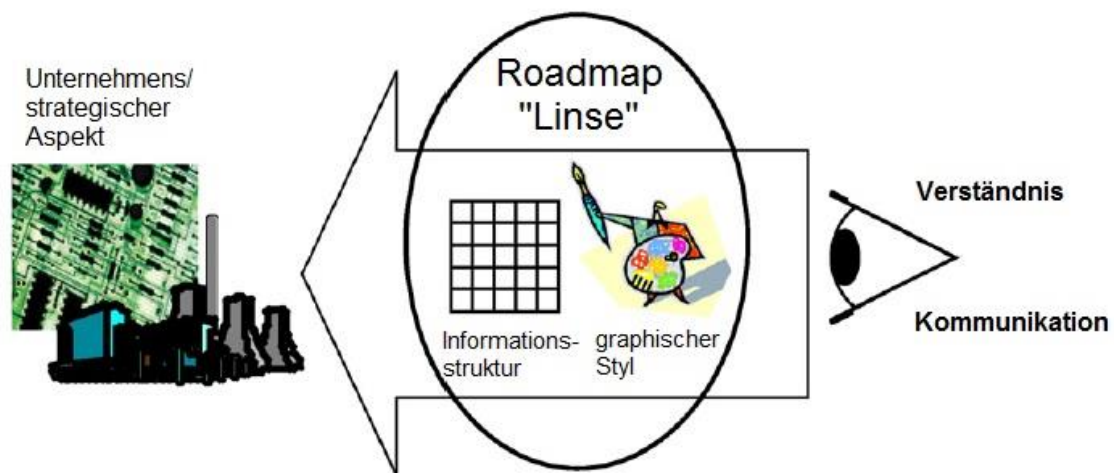


Abbildung 10: Roadmap als strategische Linse komplexer Systeme⁷⁵

Abbildung 11 veranschaulicht ein Beispiel einer multilayer TRM, der drei Fragen zur Grunde liegen, mittels welchen Unternehmensaktivitäten nach Technologie- und Produktentwicklung, sowie der übergeordneten Unternehmensstrategie und den Marktchancen ausgerichtet werden kann.⁷⁶

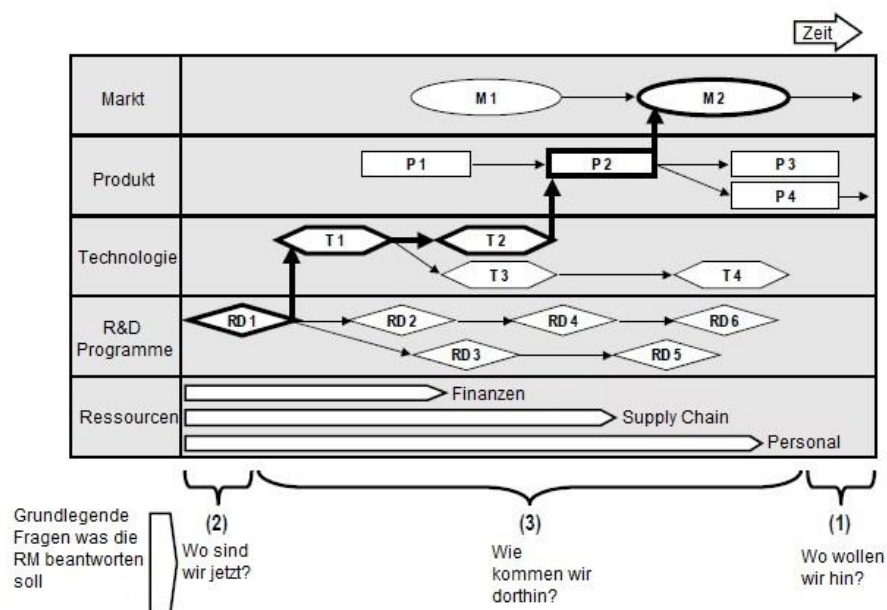


Abbildung 11: Beispiel einer multilayer TRM mit strategischer Ausrichtung⁷⁷

Heutzutage steht uns Vielzahl unterschiedlicher Roadmapping-Methoden zu Verfügung. Um sie grob zu strukturieren, bietet Albright und Schaller einen Klassifikationsansatz an, in welchem Roadmaps in ein Portfolio mit den Achsen „Anwendungsge-

⁷⁵ (Phaal & Muller, 2009, S. 40)

⁷⁶ (Phaal, Farrukh, & Probert, 2005, S. 99)

⁷⁷ (Phaal u. a., 2005, S. 99)

biet“ und „Bezugsobjekte/Ziele“ einordnet sind.⁷⁸ Anhand der eingenommenen Position im Portfolio, wird zwischen vier Roadmaptypen unterschieden, die sich grundsätzlich in 7 Aspekten (Gegenstand des Umfangs, Durchführung des RM, Zielgruppe der RM, verfolgte Ziele, Methodik, Zeithorizont, dominierende Orientierungslogik) differenzieren (Abbildung 12):⁷⁹

- **Forschungspolitische-Roadmaps**, mittelfristig 10-20 Jahre
- **Branchen-Roadmaps**, mittelfristig 5-10 Jahre
- **Problemorientierte-Roadmaps**, langfristig bis zu 20 Jahren
- **Unternehmensspezifische-Roadmaps**, kurzfristig bis zu 5 Jahren

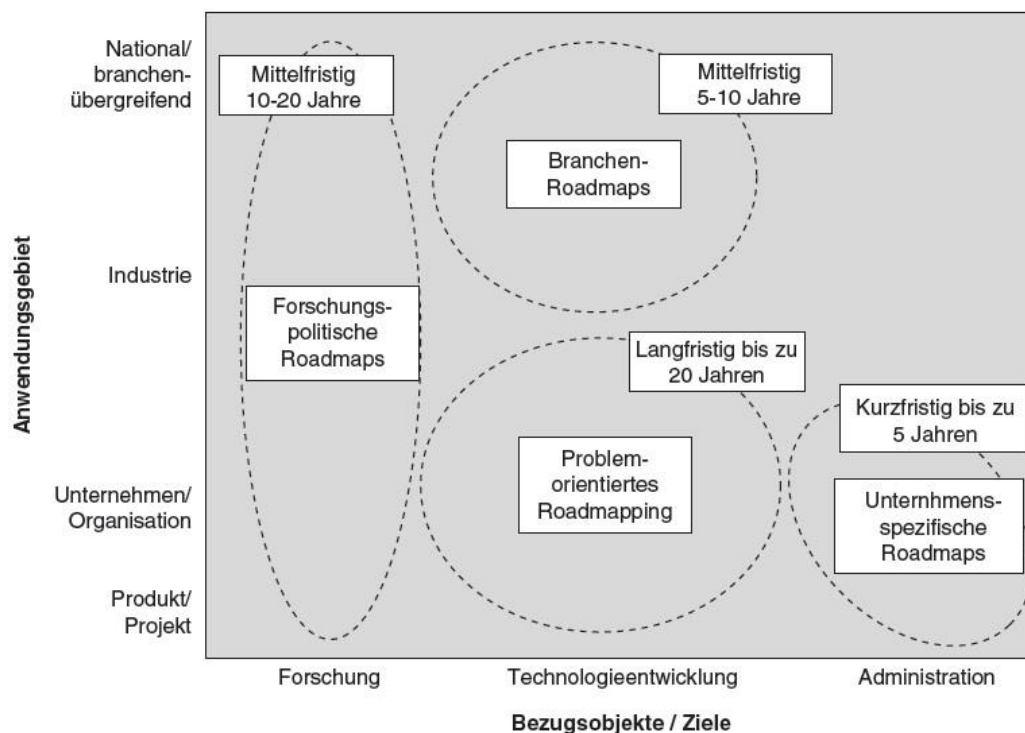


Abbildung 12: Roadmap Klassifikation nach Albright und Schaller⁸⁰

Roadmaps, die Unternehmensziele verfolgen, wurden bei einer Analyse von rund 40 Roadmaps in acht Gruppen anhand ihres Anwendungszwecks eingeteilt und es wurden 6 verschiedene Darstellungstechniken identifiziert. In Abbildung 13 und Tabelle 2 werden diese genauer erläutert.⁸¹

⁷⁸ (Phaal u. a., 2005, S. 99)

⁷⁹ (Behrendt, 2009, S. 257f)

⁸⁰ (Behrendt, 2009, S. 257f)

⁸¹ (Phaal u. a., 2004, S. 11)

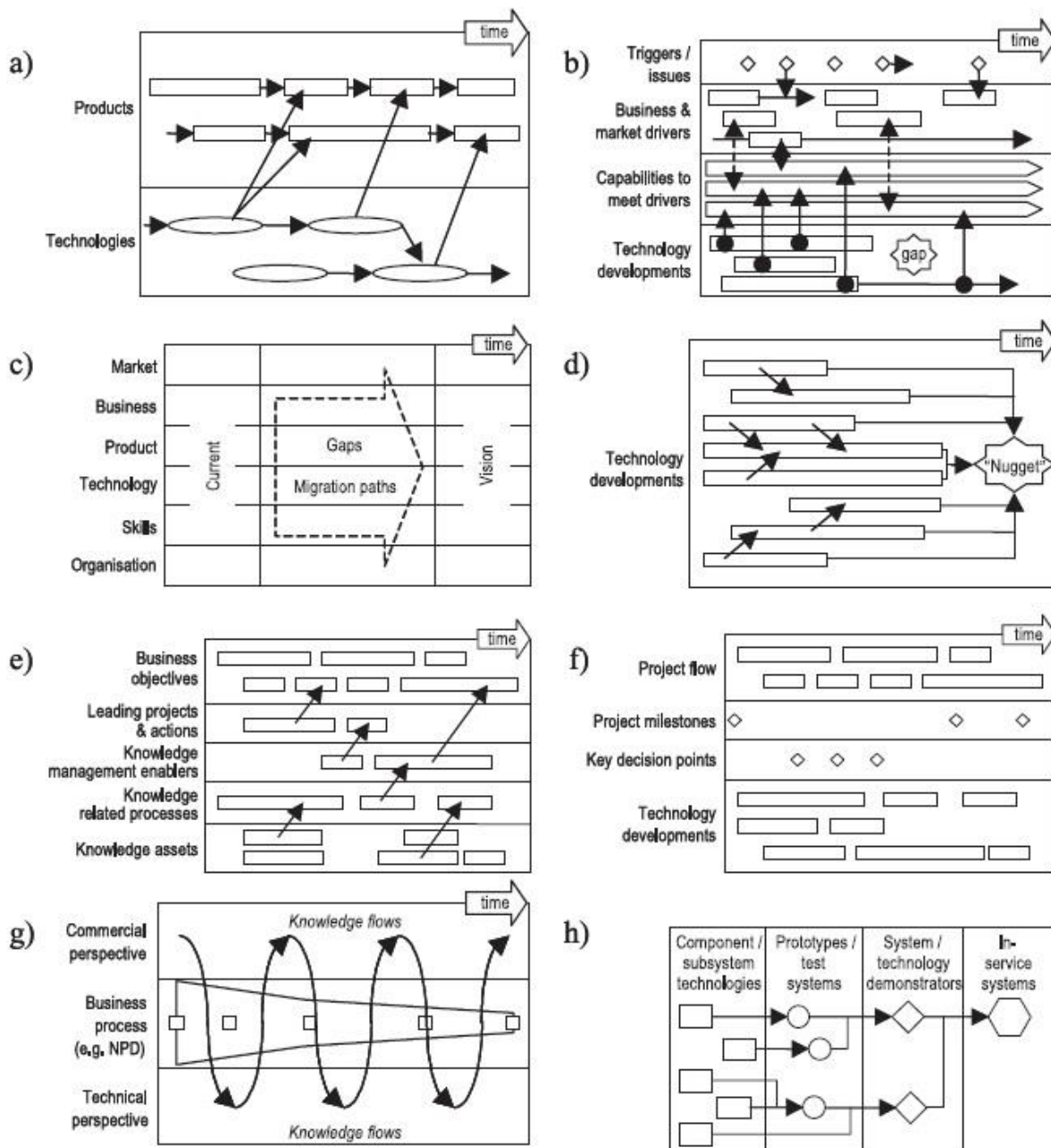


Abbildung 13: Technologie Roadmaparten hinsichtlich ihres Anwendungszwecks⁸²

	Anwendungszweck	Beschreibung
a)	Produktplanung	häufigste Art von RM, zeigt die Technologieeinbindung in einzelne Produkte, beinhaltet oft mehrere Produktgenerationen
b)	Kapazitätsplanung	für serviceorientierte Unternehmen, Fokus auf technologieunterstützter Kapazitätsplanung
c)	Strategieplanung	geeignet für allgemeine strategische Beurteilung, unterstützt die Evaluierung von Chancen und Risiken

⁸² (Phaal u. a., 2004, S. 13)

d)	Langfristige Planung	unterstützt die langfristige Planung, häufig auf nationaler Ebene ausgeführt, als Radar zur Identifikation disruptiver Technologien eingesetzt
e)	Wissensgutplanung	zur Angleichung des Wissens samt ihres Managements an Unternehmensziele
f)	Programmplanung	Fokus auf Strategieimplementierung,
g)	Prozessplanung	Unterstützt Wissensmanagement für eine spezifische Prozessumgebung
h)	Integrationsplanung	Fokus auf die Technologieintegration Produkte/Systeme

Tabelle 2: Anwendungszwecke von Roadmaps in Unternehmen⁸³

Die graphische Veranschaulichung von Roadmaps kann über verschiedene Methoden erfolgen: **mehrere Layer** (s. Abb.13 Punkt a, b, e, f, g) - werden am häufigsten verwendet, haben über- und untergeordnete Layer (z.B. Markt, Produkt, Technologie); **Balkenformat** (s. Abb.13 Punkt d) - viele RM verwenden wegen der Übersichtlichkeit und Einfachheit eine Balkendarstellung für die einzelnen Layer; **Tabellen** (s. Abb.13 Punkt c) - für quantifizierbare Roadmapdaten geeignet; **Flussdiagramm** (s. Abb.13 Punkt h) - zur Darstellung von Zusammenhängen der RM Elemente; weitere Erscheinungsformen sind: **Graphen**, **Bilddarstellungen**, **Roadmaps mit einem Layer** und rein **textuelle Roadmaps**.^{84 85}

Roadmapping kann als Methode zur Unterstützung der strategischen und technologischen Planung eingesetzt werden, welche gut geeignet für Unternehmensumgebungen mit starker Konkurrenz ist. Wesentliches Ziel von RM ist es, eine Richtung für die zukünftige Ausrichtung von Aktivitäten und Planung anzugeben. Dabei enthüllt die Roadmapentwicklung verschiedene Barrieren und bringt Lernmöglichkeiten mit sich, wodurch der Entwicklungsprozess oft von größerem Nutzen als die eigentliche RM ist.⁸⁶ Für die strategische Planung in Unternehmen ist es oft sinnvoll verschiedene Management-Ansätze, wie Balanced-Innovation-Card, Time-to-Market Management, SWOT-Analysen oder die Portfoliotechnik ins Roadmapping zu integrieren, wodurch sich das Anwendungsspektrum nochmals erweitert.^{87 88}

2.2.3 Allgemeine Aufbaustruktur und der Erstellungsprozess von Roadmaps

Die Struktur einer Roadmap muss so gewählt werden, damit sie den Schwerpunkt und Anwendungsbereich der angesprochenen Angelegenheit entsprechend abbildet und so eine gemeinsame Sprache für das Entwickeln und Umsetzen gewünschter

⁸³ (Phaal u. a., 2004, S. 13)

⁸⁴ (Phaal u. a., 2004, S. 13)

⁸⁵ (Phaal & Muller, 2009, S. 44)

⁸⁶ (Martin & Daim, 2012, S. 96)

⁸⁷ (Möhrle & Isenmann, 2008, S. 22f)

⁸⁸ (Phaal u. a., 2005, S. 108f)

Innovationen, Strategien oder Regeln anbietet.⁸⁹ Grafisch dargestellte Roadmaps visualisieren einen zweidimensionalen Suchraum.^{90 91}

1. **Zeitraahmen** (normalerweise die Horizontalachse) – kann kurz- bis langfristige Zukunftsperspektiven abbilden, sowie Visionen oder die Vergangenheit. Die Zeitachsenskalierung kann je nach Anwendungszweck verschieden sein – für abstrakte Prognosen ist eine Generationsbetrachtung ausreichend (z.B. heute-morgen-übermorgen), bei konkreten zeitlich gebundenen Vorhersagen wird der Skalierungsgrad erhöht, je kleiner der betrachtete Zeithorizont ist.
2. **Layer und Unterlayer** (normalerweise die Vertikalachse) – werden durch eine systembasierende hierarchische Klassifizierung veranschaulicht, mit welcher verschiedene Genauigkeitsstufen angesprochen werden können. Die strategische Linse der Roadmap liefert einen genaueren Einblick auf bedeutende Teile des betrachteten Systems. *Abbildung 14* zeigt, wie hierarchische Klassen aus Teilen des betrachteten Systems deduziert werden können. Verbindungen zwischen einzelnen Elementen auf der Roadmap können bereits in die Roadmap eingezeichnet werden, wobei Zusammenhänge zwischen den Layern oft schwer darzustellen sind.

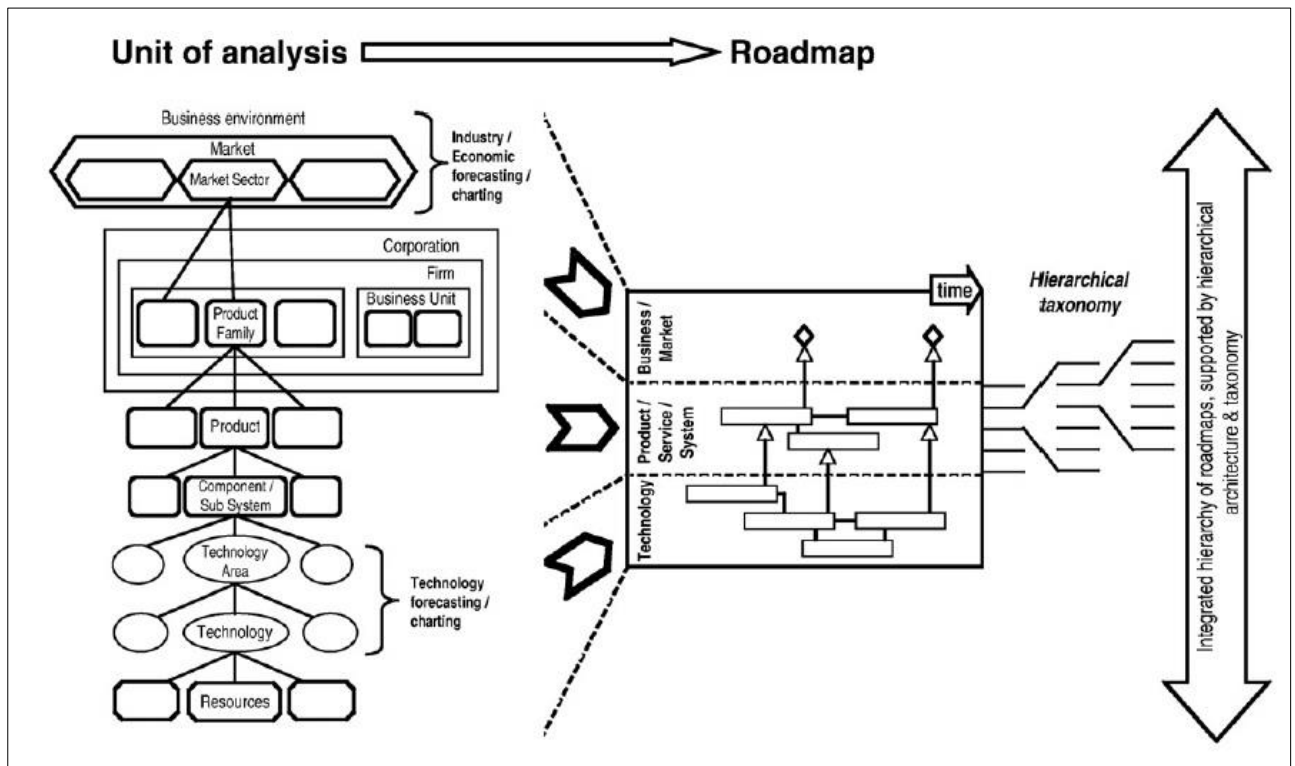


Abbildung 14: Hierarchische Klassen als Basis der Roadmapstruktur⁹²

⁸⁹ (Phaal & Muller, 2009, S. 44)

⁹⁰ (Phaal & Muller, 2009, S. 44)

⁹¹ (Behrens, 2008, S. 147ff)

Beim Erstellungsprozess von Roadmaps wird laut diverser Literaturquellen generell zwischen zwei Herangehensweisen unterschieden - der Experten oder Computer basierenden Erstellung. Im ersten Fall werden Expertenteams zusammengestellt, welche die Merkmale der betrachteten Elemente samt ihrer Zusammenhänge identifizieren und entwickeln, wobei sie vor allem auf ihr Wissen und ihre Erfahrungen zurückgreifen.⁹³ Es können für einzelne Phasen des Erstellungsprozesses Workshops, mit für den jeweiligen Prozessschritt geeigneten Expertenteams, gehalten werden.⁹⁴

2.3 Reifegradmodelle

2.3.1 Grundlagen der Reifegradmodelle

Die Entwicklung von Reifegradmodellen fing bereits in den Achtziger Jahren an und resultiert bis heute in einer Vielzahl von Modellen. Crosby, der sich mit seiner Forschung dem Qualitätsmanagement widmete, stellte 1979 das Quality Management Maturity Grid vor, in welchem das Konzept der Reifegradbestimmung von Unternehmen erstmals auftritt.⁹⁵ Der Begriff „Reife“ kann folgend ausgelegt werden *„the extent to which a specific process is explicitly defined, managed, measured, controlled, and effective“*⁹⁶. In der Literatur und Praxis gibt es kein einheitliches Begriffsverständnis von Reifegradmodellen und ihre Entwickler vermeiden häufig eine präzise Begriffsdefinition.⁹⁷ In Anlehnung an Ahlemann u.a., werden Reifegradmodelle folgenderweise definiert:⁹⁸

„Ein Reifegradmodell (Maturity Model) ist ein spezielles Kompetenzmodell, das unterschiedliche Reifegrade definiert, um beurteilen zu können, inwieweit ein Kompetenzobjekt die für eine Klasse von Kompetenzobjekten allgemeingültig definierten qualitativen Anforderungen erfüllt.“

Basis für jede Art von Kompetenzmodellen ist eine Klasse von Kompetenzobjekten, für welche allgemeine Anforderungen vorliegen, bezüglich derer ein Konsens vorliegt. Unter einem Kompetenzmodell wird ein konkretes Modell verstanden, welches für ein Objekt der Klasse misst, ob und inwieweit diese allgemeinen Anforderungen erfüllt sind.⁹⁹

⁹² (Phaal & Muller, 2009, S. 42)

⁹³ (Kostoff & Schaller, 2001, S. 136f)

⁹⁴ (Phaal u. a., 2004, S. 17)

⁹⁵ (Paulzen, Duomi, Perc, & Axno, 2002, S. 4)

⁹⁶ (Inst, Paulk, Weber, Curtis, & Chrissis, 1994, S. 4)

⁹⁷ (Ahlemann, Schröder, & Teuteberg, 2005, S. 12)

⁹⁸ (Ahlemann u. a., 2005, S. 15)

⁹⁹ (Ahlemann u. a., 2005, S. 15)

Zweckmäßig wird zwischen drei Arten von Reifegradmodellen unterschieden:¹⁰⁰

- **Beschreibend** – Einsatz rein beschreibender Modelle kann als einmalige Gelegenheit, ohne Bezug auf Reifegradsteigerung, gesehen werden. Sie sind zur Bestimmung des Status-quo geeignet.
- **Vorschreibend** – Heben den Zusammenhang zur Wirtschaftsleistung hervor und geben Hinweise, wie an eine Reifegradsteigerung herangegangen werden soll, um positive wirtschaftliche Auswirkungen zu erzielen. Ermöglicht die Entwicklung von Roadmaps.
- **Vergleichend** – Ermöglicht, durch Benchmarking den Vergleich ähnlicher Praktiken über verschiedene Industrien oder Regionen hinaus, wobei ähnliche Reifegrade nicht auf einen gleichen Geschäftswert hindeuten.

Trotz einer Vielfalt existierender Reifegradmodelle, gehören in der Praxis Reifegradebenen, Dimensionen und Indikatoren zu den Grundbestandteilen aller Modelle:¹⁰¹

¹⁰²

- **Reifegradebenen** – Modelle definieren normalerweise zwischen drei bis sechs Ebenen, welche auf einem logischen, antizipierten, erwünschten oder typischen Entwicklungspfad Stufen beschreiben – beginnend mit einem Anfangsstadium bis hin zur vollkommenden Reife, als Beispiel siehe *Abbildung 15*. Die Mehrheit der Reifegradmodelle definiert nicht, was unter Reife verstanden wird. Das Begriffsverständnis der Reife ist vielfältig, für Objekte bedeutet es zum Beispiel den vordefinierten Anforderungen an den Entwicklungsstand, wobei Reife bei Personen das Niveau der individuellen Fähigkeiten und Wissens beschreibt.

¹⁰⁰ (Bruin, Freeze, Kaulkarni, & Rosemann, 2005, S. 3)

¹⁰¹ (Kübel, 2013, S. 56ff)

¹⁰² (Mettler, Rohner, & Winter, 2010, S. 337ff)

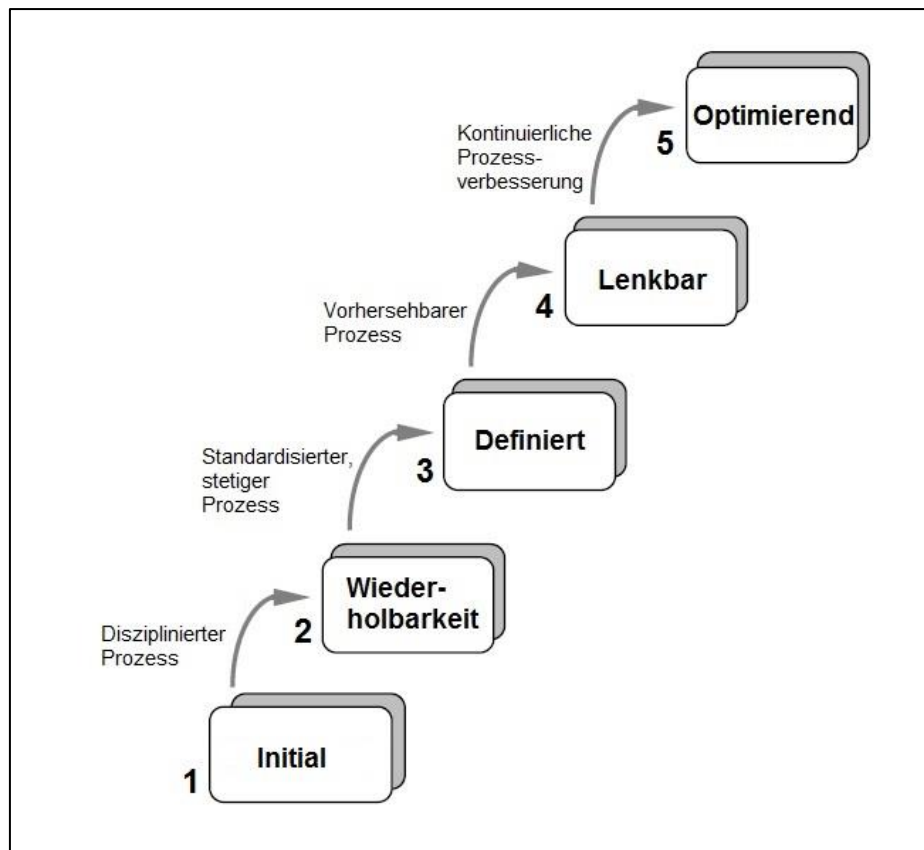


Abbildung 15: Fünf Stufen der Software Prozessreife¹⁰³

- **Dimensionen** – ein Großteil der Reifegradmodelle ist multidimensional, es beschreibt daher unterschiedliche Merkmale der betrachteten Objekte. Reifegrade der verschiedenen Dimensionen können bei Anwendung des Reifegradmodells unterschiedlich ausfallen – so entsteht eine differenzierte Darstellung des Reifegrad-Profils. In vielen Fällen werden Prozesse als Dimensionen ausgewählt.
- **Indikatoren** – die betrachteten Merkmale eines Objektes werden durch die Items zur Festlegung des Reifegrads ausgeprägt. Als einfachstes Item gilt die Ja/Nein-Skala, bei der jedoch der Nachteil besteht, dass keine Abstufung in verschiedene Reifegrade möglich ist. Um die Aussagekraft zu steigern, werden Items mit gestuften Skalen oder verbalen Ankern eingesetzt. Zu beachten ist, dass der Soll-Reifegrad nicht in allen Fällen dem höchstmöglichen Reifegrad entspricht, da der Aufwand um ihn zu erreichen, höher sein kann, als der gewonnene Nutzen.

Reifegradmodelle können anhand der Art ihrer Struktur in drei Gruppen eingeteilt werden: (1) **Rasterbasierte Modelle** (*Maturity Grids*) stellen die Reifegrade textuell und einfach dar. (2) **Likert-artige** Fragebögen, sind mit Rasterbasierten Modellen

¹⁰³ (Inst u. a., 1994, S. 8)

vergleichbar, ihr Fokus liegt jedoch mehr auf der Gewinnung von „good practice“ Aussagen, denn der Beschreibung der einzelnen Reifegrade. (3) **Formal-strukturierte Modelle** (*CMM-like models*) verwenden formale Fragebögen mit verschiedenen Fragetypen oder Bewertungsskalen. Für die Einordnung in einen bestimmten Reifegrad sind genaue Regeln definiert. Aufgrund ihrer höheren Komplexität sind diese Modelle meist softwarebasiert.¹⁰⁴ In anderen Literaturquellen wird noch ein vierter Modelltyp angegeben – hybride Reifegradmodelle, in welchen die Fragekomplexe mit Definitionen der Reifegrade kombiniert sind.¹⁰⁵

Tabelle 3 zeigt einige Beispiele in der Industrie etablierter Reifegradmodelle:

Modell	Anwendungsgebiet	Entwickler
Capability Maturity Model Integration (CMMI)	Management	Carnegie Mellon University
Enterprise Architecture Maturity Model	IT Management	National Association of State CIOs
Process Maturity Model	Prozessmanagement	Rummler-Brache Group
Project Management Maturity Model	Projektmanagement	Office of Government Commerce, UK

Tabelle 3: Beispiele für Management Reifegradmodelle¹⁰⁶

2.3.2 Anwendung und Einschränkungen von Reifegradmodellen

Reifegradmodelle haben in der Praxis in ein breites Anwendungsgebiet, wobei sie immer häufiger von Unternehmen als Bewertungsinstrument übernommen werden und ein steigendes akademisches Interesse an solchen Modellen zu beobachten ist.¹⁰⁷ Ihre steigende Popularität beruht auf einer Reihe von Vorteilen, wie z.B. ihrer schnellen und einfachen Durchführung mit einem unmittelbaren Feedback an die Beteiligten oder der übersichtlichen Bestimmung von Verbesserungsbereichen.¹⁰⁸ Neben den Vorteilen von Reifegradmodellen, müssen generell auch diverse Einschränkungen beachtet werden:

- Bei der Modellgestaltung besteht die Gefahr der Übersimplifizierung, wodurch wichtige Informationen abhandenkommen. Wird ein Modell wiederum zu kompliziert gestaltet, kann seine Anwendung sehr umständlich werden.
- In rigiden Reifegradmodellen werden keine Wechselwirkungen zwischen Objekten und Einflussgrößen beachtet¹⁰⁹
- Stützen sich Entscheidungen ausschließlich auf Ergebnisse von Reifegradmodellen, besteht die Gefahr von Fehlentscheidungen, da Reifegradmodelle

¹⁰⁴ (Mettler u. a., 2010, S. 337f)

¹⁰⁵ (Kübel, 2013, S. 60)

¹⁰⁶ (Bruin u. a., 2005, S. 2)

¹⁰⁷ (Röglinger, Pöppelbuß, & Becker, 2012, S. 3)

¹⁰⁸ (Kübel, 2013, S. 60)

¹⁰⁹ (Kübel, 2013, S. 60)

blinde Flecken aufweisen, die durch nicht beobachtbare und abgrenzbare Phänomene entstehen.¹¹⁰

- Reifegradmodelle wurden zur Identifikation des Gaps zwischen dem Ist- und Soll-Zustand entwickelt, jedoch beschreibt ein Großteil der Modelle nicht, wie dieser effektiv durch geeignete Maßnahmen geschlossen werden kann. Dies kann in einem „Knowing-Doing-Gap“ resultieren.
- Eine starke Formalisierung von Verbesserungsaktivitäten durch Reifegradmodelle kann Mitarbeiter hindern, innovativ zu handeln.¹¹¹
- Aufgrund technologischer Fortschritte oder veränderter Bedingungen können Reifegradmodelle veralten – um ihre Gültigkeit zu erhalten, müssen sie regelmäßig validiert werden.¹¹²

¹¹⁰ (Bach, 1994, S. 16)

¹¹¹ (Mettler & Rohner, 2009, S. 1)

¹¹² (Becker, Knackstedt, & Pöppelbuß, 2009, S. 219)

3 Entwicklung einer Industrie 4.0 spezifischen kombinierten Planungsmethode

In diesem Kapitel wurde eine systematische Literaturrecherche zu dem Thema Roadmapping durchgeführt, welche zum Ziel hat, diverse Roadmapping-Methoden zu identifizieren und diese in Hinsicht auf ihre Anwendbarkeit für Industrie 4.0 zu vergleichen. Darauf folgend wird unter Berücksichtigung neuer Anforderungen eine Industrie 4.0 spezifische Roadmapping-Methode entwickelt, welche mit dem Industrie 4.0 Reifegradmodell von Schumacher in einer Planungsmethode kombiniert wird. Als weitere Grundlage für die entwickelte Planungsmethode wurden andere strategische Planungsmethoden für Industrie 4.0 herangezogen, die in dem Kapitel 2.1.5 näher beschrieben sind. Ergebnis dieses Kapitels ist ein vierstufiges Vorgehensmodell zur Unterstützung der strategischen Ausrichtung zur Industrie 4.0 Vision.

3.1 Systematische Literaturrecherche

3.1.1 Der Bedarf einer systematischen Literaturrecherche

Vor dem Beginn der eigentlichen Literaturrecherche wurde der Grund für die Notwendigkeit einer Recherche bestimmt und anschließend einzelne Schritte bei ihrem Vorgehen anhand verschiedener Literaturquellen definiert. Eine systematische Literaturrecherche liefert im Gegensatz zu traditionellen Vorgehensweisen, daher unsystematischen Literaturrecherchen, nachvollziehbare Ergebnisse, welches ein Leitgedanke des wissenschaftlichen Arbeitens ist.¹¹³ Außerdem gewährleistet ein solcher Ansatz robuste und reproduzierbare Ergebnisse. Durch das Durchführen von Metaanalysen, wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, genauere Ergebnisse als kleinere Studien zu erhalten.¹¹⁴ Es wird dabei ein höheres Maß von Objektivität und Klarheit beim Beantworten der grundlegenden Forschungsfragen geschaffen und die Einseitigkeit der Antworten reduziert. Um das Hauptziel dieser Diplomarbeit, das Entwickeln einer für Industrie 4.0 geeigneten Roadmapping-Methode, zu erreichen, muss im ersten Schritt des Entwicklungsprozesses mittels systematischer Literaturrecherche ein kompletter Überblick bestehender Roadmapping-Techniken geschaffen werden. Diese werden anschließend anhand ihrer Anwendbarkeit und Limitationen verglichen und aus den gewonnen Erkenntnissen wird eine Industrie 4.0 spezifische Methode abgeleitet.

¹¹³ (Kuhlang u. a., 2015, S. 48)

¹¹⁴ (Kitchenham, 2004, S. 2f)

3.1.2 Gewählte Vorgehensweise bei der Literaturrecherche

Laut verschiedener Literaturquellen, welche die Vorgehensweise bei dem Verfassen einer systematischen Literaturrecherche beschreiben, besteht eine Recherche allgemein aus folgenden Bestandteilen: Einschränkung des Forschungsgebietes auf ein konkretes Forschungsthema und Definition der Forschungsfrage, Bestimmen einer Strategie bei der Datenfindung und –erhebung, Dokumentation der Ergebnisse. Für diese Arbeit wurde ein Vorgehensmodell für eine Literaturrecherche mit drei Phasen entwickelt (s. *Abbildung 16*), welches weiter 6 Unterschritten umfasst:^{115 116 117 118 119 120}

Phase 1: Planen der Literaturrecherche	
Schritt 1: Festlegen des Themengebietes der Literaturrecherche	
Beschreibung: Es wird festgelegt, mit welchem Thema sich die Recherche befasst. Das Thema bildet einen Rahmen für die zu beantwortenden Forschungsfragen.	Anwendung in dieser Arbeit: Hauptthemen dieser systematischen Literaturrecherche sind „Roadmapping-Methoden“ und „Strategisches Roadmapping“.
Schritt 2: Bestimmung des Grundes für die Literaturrecherche	
Beschreibung: Der Verfasser der Literaturrecherche muss den genauen Grund und die zu erreichende Ziele der Recherche bestimmen. Diese müssen für die Leser explizit angegeben werden.	Anwendung in dieser Arbeit: Hauptgrund dieser Recherche ist die Ermittlung des State-of-art bestehender Roadmapping-Methoden und ihr anschließender Vergleich anhand ihrer Anwendbarkeit für Industrie 4.0 Maßnahmen.
Schritt 3: Festlegung der Forschungsfragen	
Beschreibung: Ziel einer systematischen Literaturrecherche ist das Beantworten grundlegender Forschungsfragen. Ihre Formulierung gilt als bedeutendster Bestandteil der Planungsphase. Es müssen klare und präzise Fragen gestellt werden, aus welchen die später gesuchten Schlagworte abgeleitet werden können.	Anwendung in dieser Arbeit: „Welche Roadmapping-Methoden gibt es und welche sind zielführend?“ „Anhand welcher Kriterien lassen sich Roadmapping-Ansätze unterscheiden?“ „Welcher Unterschied besteht zwischen existierenden Roadmapping-Methoden?“

¹¹⁵ (Kitchenham, 2004, S. 2f)

¹¹⁶ (Brereton, Kitchenham, Budgen, Turner, & Khalil, 2007, S. 572ff)

¹¹⁷ (Tranfield, Denyer, & Smart, 2003, S. 214ff)

¹¹⁸ (Läzer, Sonntag, Drazek, Jaeschke, & Hogreve, 2010, S. 5ff)

¹¹⁹ (Okoli & Schabram, 2010, S. 6ff)

¹²⁰ (Jesson, Matheson, & Lacey, 2011, S. 103ff)

	„Wie sieht der Erstellungsprozess einer Roadmap aus?“ „Sind bestehende Roadmapping-Ansätze für Industrie 4.0 geeignet?“ „Welcher Zeithorizont kann mit Roadmapping-Ansätzen betrachtet werden?“
Schritt 4: Entwicklung des Rechercheprotokolls	
Beschreibung: Das Rechercheprotokoll legt fest, welche Methoden und Vorgehensweisen bei der systematischen Literaturrecherche zum Einsatz kommen und dient dabei als Durchführungsplan mit zwei Hauptbestandteilen: • der gewählten Strategie zur Datenfindung, welche die Art der Suche, Ressourcen in welchen nachgesucht wird und die Suchbegriffe enthält. • den Auswahlkriterien für die Befunde – man unterscheidet zwischen primären und sekundären Kriterien. Primäre Auswahlkriterien: • Zeitrahmen der Publikationen • Schlüsselwörter enthalten (Ja/Nein) • Sprache der Publikationen • Betrachtete Art von Publikationen • Schlüsselwörter enthalten in (Schlagwörtern, Titel, Abstract, Text) • Verfügbarkeit der Publikationen Sekundäre Auswahlkriterien: • Bestehender Zusammenhang mit dem Forschungsthema • Geeignet für das Beantworten der Forschungsfragen • Qualitätsanforderungen an die Publikationen	
Anwendung in dieser Arbeit: Strategie • <i>Art der Suche:</i> für diese Arbeit wurde eine webbasierte systematische Literaturrecherche durchgeführt. Es wurden Suchmaschinen eingesetzt und auf verschiedenen wissenschaftlichen Datenbanken gesucht. • <i>Ressourcen:</i> Google scholar (http://scholar.google.de); Onlinebibliothek der Technischen Universität Wien (http://www.ub.tuwien.ac.at/); ScienceDirect (http://www.sciencedirect.com/) • <i>Suchbegriffe:</i> Roadmapping; strategisches Roadmapping; strategic roadmapping; developing a roadmap; Roadmap; Dimensionen einer Roadmap; roadmap dimensions; strategic AND roadmap; Roadmapping Methoden; roadmapping methods; roadmap desing; Roadmap Industrie 4.0; timeframe Roadmap; Roadmap Industry 4.0; technology roadmapping; developing AND roadmapping AND framework;	

roadmapping framework

Primäre Auswahlkriterien:

- *Zeitraumen der Publikationen:* 1995-2016
- *Schlüsselwörter enthalten (Ja/Nein):* Ja
- *Sprache der Publikationen:* deutsch, englisch
- *Betrachtete Art von Publikationen:* Artikel in wissenschaftlichen Zeitschriften, Bücher, Konferenzberichte, Dissertationen
- *Schlüsselwörter in:* Schlagwörtern, Titel, Abstract
- *Verfügbarkeit der Publikationen:* verfügbare Literatur mit Volltext

Sekundäre Auswahlkriterien:

- *Bestehender Zusammenhang mit dem Forschungsthema:* Bei der Erstaulesse bewertet
- *Geeignet für das Antworten der Forschungsfragen:* Vom Leser zu bewerten
- *Qualitätsanforderungen an die Publikationen:* Vom Leser zu bewerten

Phase 2: Durchführen der Recherche

Schritt 5: Durchführen der Recherche

Beschreibung:

Ziel dieses Schrittes ist es anhand der primären und sekundären Auswahlkriterien möglichst viele relevante Publikationen zu identifizieren. Der erste Schritt (d.h. primäre Auswahlkriterien) wurde online durchgeführt. Es wurden nur die Literaturquellen heruntergeladen, welche auch den sekundären Auswahlkriterien genügten.

Anwendung in dieser Arbeit:

In Kapitel 3.1.3 werden die Befunde der systematischen Literaturrecherche aufgelistet und näher beschrieben.

Phase 3: Dokumentation der Recherche

Schritt 6: Dokumentation und Interpretation der Befunde

Beschreibung:

Im letzten Schritt der Literaturrecherche wurden die Befunde dokumentiert und interpretiert, welche zum Antworten der grundlegenden Forschungsfragen führen.

Anwendung in dieser Arbeit:

In Kapitel 3.2 und 3.3 sind die ausgewählten Befunde genauer beschrieben.

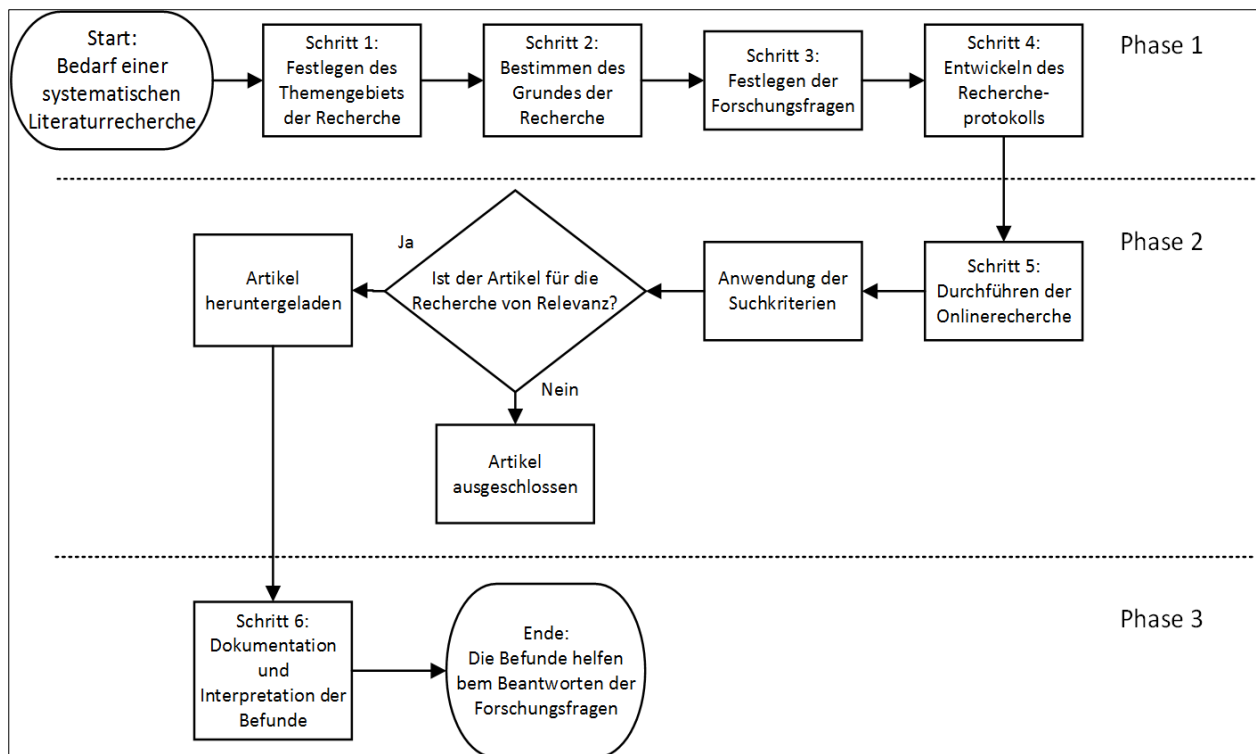


Abbildung 16: Gewählte Vorgehensweise bei der systematischen Literaturrecherche

3.1.3 Befunde der systematischen Literaturrecherche

Anhand des in Kapitel 3.1.2 entwickelten Vorgehensmodells wurde eine webbasierte systematische Literaturrecherche auf drei Online-Datenbanken durchgeführt. Die erste, Google Scholar, ist eine frei zugängliche Suchmaschine, welche digitale und physische Kopien wissenschaftlicher Publikationen enthält. Weiterhin wurde die Recherche auf der wissenschaftlichen Online-Datenbank ScienceDirect und der Onlinebibliothek der Technischen Universität Wien durchgeführt, welche ebenfalls frei zugänglich ist. Bei der Recherche wurde das Vorgehensmodell aus Kapitel 3.1.2 befolgt, daher wurden bei der Primärsuche die primären Suchkriterien (Zeitraumen, Schlüsselwörter, Sprache usw.) angewendet und anschließend nur Artikel heruntergeladen, welche den sekundären Suchkriterien (Zusammenhang mit Themengebiet, Qualität der Publikation und ob sie geeignet für das Antworten der Forschungsfragen sind) genügten und zugänglich waren. Bei der Suche stellte sich heraus, dass es zu Duplikationen bei den Suchergebnissen kam, da Suchmaschinen wie Google Scholar auch die Quelle ScienceDirect umfassen. Diese wurden nicht doppelt heruntergeladen und daher auch nicht in den Sekundärergebnissen angezeigt. Manche der als relevant identifizierten Publikationen war es nicht möglich herunterzuladen, daher wurden diese nicht in die Ergebnisse einbezogen.

- **Ergebnisse der Recherche auf „Google Scholar“**

Schlagwort	Nach Anwendung der primären Auswahlkriterien	Nach Anwendung der sekundären Auswahlkriterien (heruntergeladen)
developing a roadmap	158	1
developing AND roadmap AND framework	2	0
Dimensionen einer Roadmap	0	0
dimensions AND roadmap	5	0
Industrie 4.0 Roadmap	1	0
roadmap AND timeframe	1	0
roadmap industry 4.0	0	0
Roadmapping	1030	18
roadmapping AND methods	17	1
Roadmapping Methoden	5	0
strategic AND roadmapping	85	2
strategisches Roadmapping	2	0
technology roadmapping	1230	3

Tabelle 4: Ergebnisse der Recherche auf "Google Scholar"

- **Ergebnisse der Recherche auf „Onlinebibliothek TU-Wien“**

Schlagwort	Nach Anwendung der primären Auswahlkriterien	Nach Anwendung der sekundären Auswahlkriterien (heruntergeladen)
developing a roadmap	15	1
developing AND roadmap AND framework	1	0
Dimensionen einer Roadmap	0	0
dimensions AND roadmap	3	0
Industrie 4.0 Roadmap	0	0
roadmap AND timeframe	1	0
roadmap industry 4.0	0	0
Roadmapping	164	8
roadmapping AND methods	4	0
Roadmapping Methoden	0	0
strategic AND roadmapping	12	3
strategische Roadmap	0	0
technology roadmapping	106	2

Tabelle 5: Ergebnisse der Recherche auf "Onlinebibliothek TU-Wien"

- **Ergebnisse der Recherche auf „ScienceDirect“**

Schlagwort	Nach Anwendung der primären Auswahlkriterien	Nach Anwendung der sekundären Auswahlkriterien (heruntergeladen)
developing AND roadmap AND framework	2	0
dimensions AND roadmap	0	0
Roadmap	224	3
roadmap AND timeframe	2	0
roadmap developing	0	0
roadmap development framework	115	3
roadmap industry 4.0	47	1
roadmap layer	54	1
roadmap visualisation	18	0
Roadmapping	148	12
roadmapping AND methods	48	3
strategic AND roadmap	8	0
strategic roadmapping	7	1
technology roadmapping	81	1

Tabelle 6: Ergebnisse der Recherche auf "ScienceDirect"

Die *Tabellen 4 bis 6* zeigen die Befunde der webbasierenden Literaturrecherche. Bei der Primärsuche wurden ca. 4000 Suchergebnisse gefunden (Duplikate einbezogen). Nach Anwendung der sekundären Suchkriterien wurden nur ca. 60 Literaturquellen als relevant identifiziert und anschließend heruntergeladen. Dieser signifikante Unterschied zwischen gefundenen und für diese Arbeit relevanten Literaturquellen entstand hauptsächlich, weil sich viele Literaturquellen zur Roadmapping-Thematik nicht mit der Roadmapping-Methodik beschäftigten, sondern Fallbeispiele beschrieben. Ein weiterer Grund waren Duplikate relevanter Publikationen, die auf allen drei Datenbanken angeführt wurden. Bei umfangreicheren Ergebnissen in der Primärsuche wurde maximal bis zur Ergebnisseite 20 recherchiert, da die Ergebnisse nach Relevanz abfallend geordnet waren.

3.2 State-of-Art Roadmapping-Methoden

Literaturquellen unterscheiden anhand der Definitionen in den meisten Fällen nicht zwischen den Begriffen „Roadmapping“ und „Technology Roadmapping“, daher wurden diese Begriffe als einer analysiert. Die zeitliche Entwicklung von Roadmapping-

Ansätzen wurde nach Bucher in drei Generationen eingeteilt, die sich anhand ihrer verfolgten Ziele unterscheiden:¹²¹

- **Erste Generation** (1970er bis 1980er) – Methodiken befassen sich mit genauen und klaren Technologievorhersagen.
- **Zweite Generation** (1980er bis 1990er) – Methodiken befassen sich mit der Unterstützung strategischer Technologieentscheidungen.
- **Dritte Generation** (1990er bis heute) - Methodiken befassen sich mit der Erzeugung integrierter Technologiemanagementaktivitäten.

Um den Suchraum einzuschränken, wurden für diese Diplomarbeit nur neuere Roadmapping-Ansätze aus der dritten Generation in Betracht gezogen. Dieses wurde auch durch das primäre Auswahlkriterium „Publikationszeit ab 1995“ verursacht. Da einer der identifizierten Roadmapping-Ansätze für Industrie 4.0 weiterentwickelt und später mit einem Reifegradmodell kombiniert wird, wurden auch keine abgeleiteten oder mit anderen Planungsmethoden kombinierten Roadmapping-Ansätze in die Ergebnisse aufgenommen.

Im Rahmen der durchgeführten systematischen Literaturrecherche wurden mehrere industrielle Roadmapping-Ansätze gefunden. Diese haben in den meisten Fällen eine branchenspezifische Ausrichtung (Stahlindustrie, Automobilindustrie, Luftfahrtindustrie usw.). Sie sind daher als allgemeine Methode für Industrie 4.0 Maßnahmen ungeeignet und wurden nicht weiter betrachtet.

Die nachfolgenden Unterkapitel 3.2.1 bis 3.2.5 beschreiben die mit der systematischen Literaturrecherche identifizierten Roadmapping-Ansätze.

3.2.1 Eversheim u.a.

Im Jahre 1993 stellten Eversheim u.a. ein aus den Roadmapping-Ansätzen abgeleitetes Konzept vor, den Technologiekalender. Dieser sollte als methodische Unterstützung bei der Bestimmung optimaler Produktionsverfahren dienen. Die Kalendererstellung erfolgt in vier Phasen:¹²²

- **Phase 1:** Es wird eine Produktanalyse durchgeführt und für das Unternehmen werden relevante Produkttechnologien identifiziert.
- **Phase 2:** Mittels Technologiedatenbanken werden neue Technologieanwendungen bestimmt.

¹²¹ (Saad, Perera, Gindy, Cerit, & Hodgson, 2006, S. 407)

¹²² (Eversheim, W., 1993, S. 78ff)

- **Phase 3:** Es werden Normstrategien für die Einsatzplanung der Produktionstechnologien hergeleitet.
- **Phase 4:** In diesem Schritt werden die Planungsergebnisse dokumentiert und visualisiert. Dies erfolgt über einen in Produkt- und Produktionstechnologie geteilten Technologiekalender.

Der Technologiekalender besteht aus 2 Layern und dient überwiegend der Vorbereitung einer Investitionsmaßnahme.¹²³

3.2.2 EIRMA

Die Abkürzung EIRMA steht für European Industrial Research Management Association, welches eine Vereinigung europäischer Unternehmen und Wissenschaftler ist, die sich industrieller Forschung widmen.¹²⁴ Im Jahre 1998 stellten sie einen Technologie-Roadmap-Ansatz vor, welchen sie als Werkzeug zur Analyse von Zukunftsszenarien sahen, mit dem Ziel, für Unternehmen eine Vision zu entwickeln. Der Erstellungsprozess wird dabei wichtiger als die eigentliche Roadmap betrachtet, weil diese als Diskussionsunterlage für verschiedene Funktionsbereiche dient.¹²⁵ Die Aufbaustruktur der Roadmap besteht aus mehreren Layern, welche auf einer Zeitachse liegen und geschäftliche als auch technologische Perspektiven beinhalten. Genauer bestehen Technologie-Roadmaps nach EIRMA aus vier hierarchisch geordneten Layern – im obersten „Deliverables“ sind zukünftige Anforderungen an Produkte dargestellt, welche im darunterliegenden Layer „Technologies“ benötigten Technologien gegenübergestellt. Als dritter Layer folgt „Skills/Science/Know-how“ welcher als Basis zur Erlangung der Technologien gilt. Benötigte Ressourcen werden dem letzten Layer „Ressources“ zugewiesen.¹²⁶

Der Erstellungsprozess der Roadmap ähnelt einem üblichen Projektaufbau. Beginnend mit einer Vorprojektphase wird anschließend ein Projektteam erstellt, das einen Vorgehensplan erstellt. Informationen werden zyklisch bearbeitet, in einem Arbeitsdokument verdichtet und überprüft, sowie bewertet und zum Schluss besprochen. Die eigentliche Roadmap wird als kontinuierlicher Prozess gesehen, wobei für die Aktualisierung keine genaueren Anweisungen bestehen.¹²⁷

EIRMA unterscheidet grundsätzlich zwischen zwei Arten der Roadmaperstellung – der retrospektiven Analyse („backward“) und der prospektiven Analyse („forward“). Beim der „backwards“ Vorgehensweise wird festgestellt, wie ein gegebenes Ziel erreicht werden kann, unter „forward“ wird das Finden neuer Ziele auf Basis bestehen-

¹²³ (Laube & Abele, 2008, S. 362)

¹²⁴ <http://www.eirma.org/about-european-industrial-research-management-association> (3.6.2016)

¹²⁵ (Phaal u. a., 2004, S. 10)

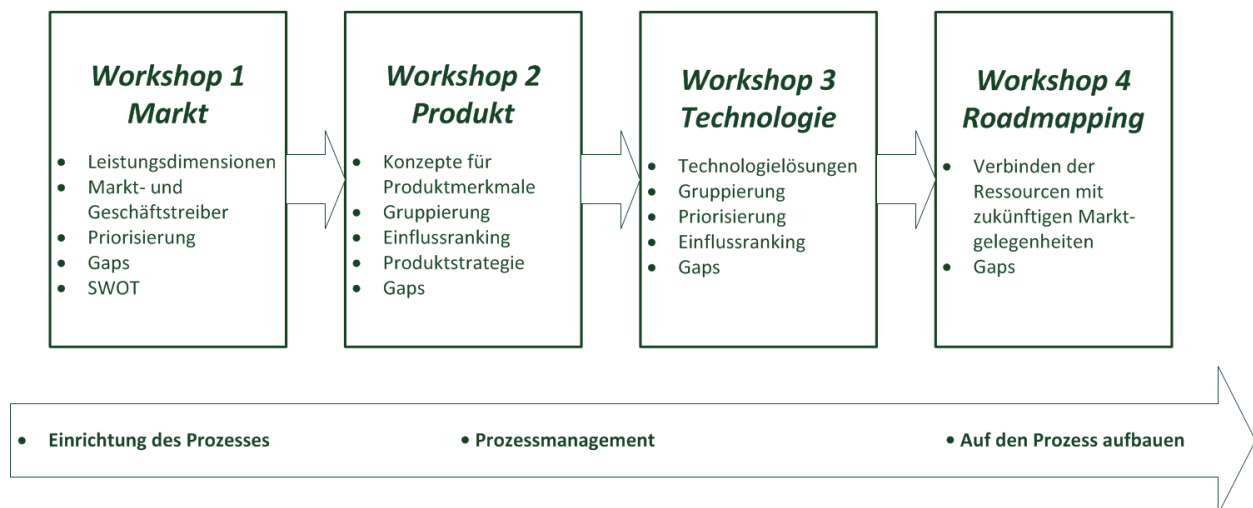
¹²⁶ (EIRMA, 1997, S. 2ff)

¹²⁷ (EIRMA, 1997, S. 2ff)

der Technologien und Ressourcen verstanden.¹²⁸ Später entwickelte generische, zeitlich strukturierte Roadmaps verwenden im Grunde den Entwurf von EIRMA als Vorlage.¹²⁹

3.2.3 Phaal/Farrukh

Als eine Weiterentwicklung des TRM-Ansatzes von EIRMA haben Phaal und Farrukh im Jahre 2004 einen Ansatz zur raschen Implementierung einer Roadmap, den T-Plan, vorgestellt. Dieser soll Schlüsselverbindungen zwischen technologischen Ressourcen und den Unternehmenstreibern erstellen, wobei er wichtige Markt-, Produkt- und Technologielücken identifiziert. Außer der Unterstützung strategischer technologischer Planung hilft die Roadmap auch bei der Absprache zwischen technischen und geschäftlichen Unternehmensfunktionen. Bei dem Standarterstellungsprozess resultiert die Roadmap in vier aufeinander aufbauenden Workshops, s. *Abbildung 17*. Die ersten drei befassen sich mit den Hauptlayern der Roadmap – Markt/Geschäft, Produkt/Service und Technologie. Im letzten Workshop werden die drei behandelten Themen in einer gemeinsamen Roadmap verknüpft.^{130 131}



*Abbildung 17: Workshops des T-Plans*¹³²

3.2.4 Specht/Behrens

Specht und Behrens sehen Roadmapping als ein kreatives Analyseverfahren, mit welchem zukünftige Entwicklungen in den Bereichen Produkte, Dienstleistungen und Technologien prognostiziert, analysiert und visualisiert werden können. Der Grundstein dieses intuitiv-strukturierten Suchverfahrens liegt in der systematischen Erfassung und Bündelung von Expertenwissen. Im Rahmen des Roadmapping-Prozesses

¹²⁸ (Kostoff & Schaller, 2001, S. 137)

¹²⁹ (Laube & Abele, 2008, S. 362)

¹³⁰ (Phaal u. a., 2004, S. 10)

¹³¹ (Phaal & Muller, 2009, S. 42ff)

¹³² (Phaal u. a., 2004, S. 10)

sollen konkrete Handlungsoptionen für unternehmensrelevante Handlungsfelder abgeleitet werden.¹³³

Es wird anfangs zwischen zwei getrennten Roadmaps unterschieden – eine für Technologien, die zweite für Produkte. Vor deren Implementierung werden beide auf ihre Vollständigkeit und Inkonsistenz überprüft. Dabei können konkrete Handlungen für die strategische Planung abgeleitet werden.¹³⁴

Die Visualisierung der Roadmap erfolgt über einen zweidimensionalen Suchraum mit einer vertikalen Zeit-Achse und einer horizontalen Objekt-Achse, siehe *Abbildung 18*. Die Skalierung der Zeit-Achse kann entweder Abstrakt (z.B. heute-morgen-übermorgen) oder konkret (z.B. 2015-2016-2017) sein. Für die Erstellung der Roadmap wurde ein Vorgehen in fünf Schritten vorgestellt:¹³⁵

1. **Schritt:** Es werden die bis heute realisierten Betrachtungsobjekte bestimmt, mit dem Ziel das Handlungsfeld einzugrenzen.
2. **Schritt:** Es werden Bedarfsanalysen und –prognosen durchgeführt.
3. **Schritt:** Zu Schritt 2 werden gleichzeitig Potenzialanalysen und –prognosen durchgeführt.
4. **Schritt:** Es werden die Roadmaps erstellt.
5. **Schritt:** Den Prozess schließen Vollständigkeits- und Konsistenzanalysen ab.

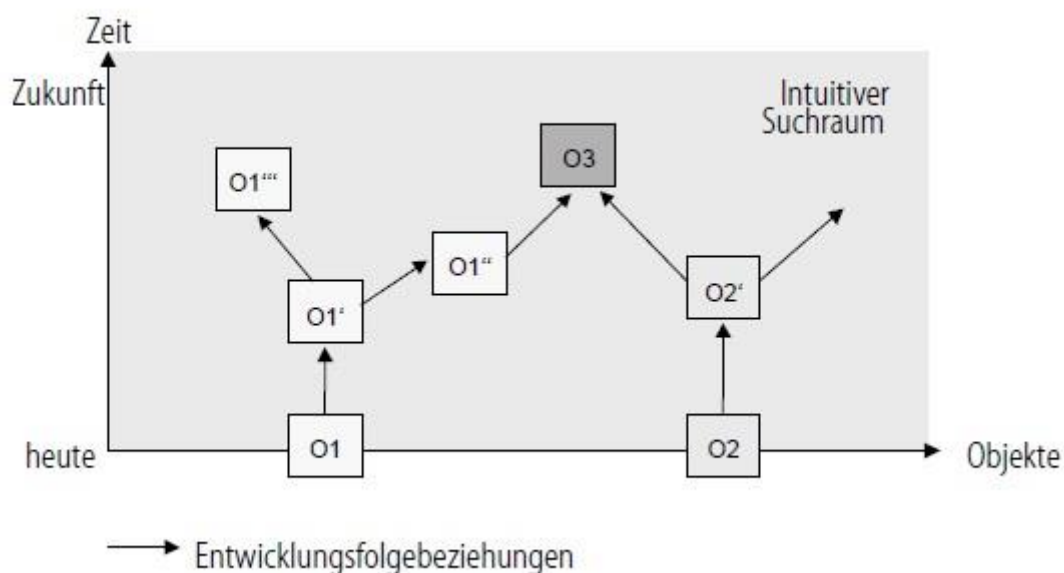


Abbildung 18: Elemente in einem zweidimensionalen Suchraum¹³⁶

¹³³ (Specht & Behrens, 2008, S. 148ff)

¹³⁴ (Möhrle & Isenmann, 2008, S. 28)

¹³⁵ (Specht & Behrens, 2008, S. 147)

¹³⁶ (Specht & Behrens, 2008, S. 148)

3.2.5 Laube/Abele

Laube und Abele verwenden die Roadmapping-Methodologie zur Planung und Steuerung betrieblicher Forschung und Entwicklung. Sie verfolgen mit ihrem im Jahre 2002 vorgestellten Roadmapping-Ansatz drei konzeptionelle Ziele:^{137 138}

- **Dynamische Visualisierung** - eine RM sollte so visualisiert sein, dass ihr Inhalt, samt den sich ergebenden Auswirkungen aktualisiert werden kann. Dafür kommt eine Visualisierungssoftware zum Einsatz.
- **Abgestimmte Kommunikation** – zwischen Produktentwicklung und Produktion als den Hauptbeteiligten des Roadmapping-Prozesses.
- **Umfassende Managementunterstützung** – die Erstellung der Roadmap sollte eine umfangreiche Unterstützung des Technologiemanagements über alle Bereiche einschließen.

Die Darstellung der Roadmap erfolgt über mehrere Layer, welche strategische Ziele und Aktivitäten enthalten. Es ist möglich die Layeranzahl je nach Verwendungszweck anzupassen. Das Ziel ist es für jede Ebene mit Hilfe von Marktanalysetechniken wie z.B. der Szenariotechnik, Maßnahmen zu finden, mit denen das Unternehmen im strategischen Sinne auf zukünftige Marktanforderungen reagiert. Der Prozess der Roadmaperstellung erfolgt in bis zu 9 Schritten je nach Anzahl der Layer.¹³⁹

3.3 Auswertung der systematischen Literaturrecherche

3.3.1 Vergleich der identifizierten Roadmapping-Methoden

Die in Kapitel 3.2 beschriebenen Roadmapping-Methoden werden in *Tabelle 7* anhand von fünf Merkmalen verglichen. Diese wurden im Rahmen einer Studie auf Basis von 40 Roadmaps als charakteristische Merkmale einer Roadmap identifiziert.¹⁴⁰ Sie können als essentieller Bestandteil jeder Roadmap betrachtet werden und wurden daher als Grundlage zum Vergleich der Ansätze in diese Arbeit übernommen. Zu den Merkmalen gehören: Darstellung der RM, Schwerpunkt des Ansatzes, unterstützte Managementfunktionen, Visualisierungsart und Vernetzung von Produkt- und Produktionstechnologien.^{141 142 143 144 145}

¹³⁷ (Laube & Abele, 2008, S. 365f)

¹³⁸ (Möhrle & Isenmann, 2008, S. 24)

¹³⁹ (Laube & Abele, 2008, S. 365f)

¹⁴⁰ (Laube & Abele, 2008, S. 365f)

¹⁴¹ (Phaal u. a., 2004, S. 17ff)

¹⁴² (Specht & Behrens, 2008, S. 147ff)

¹⁴³ (EIRMA, 1997, S. 2ff)

¹⁴⁴ (Laube & Abele, 2008, S. 365f)

¹⁴⁵ (Phaal u. a., 2004, S. 17ff)

Autoren	Eversheim u.a. (1993)	EIRMA (1998)	Phaal/ Farrukh (2004)	Specht/ Behrens (2000)	Laube/ Abele (2002)
Name	Technologie- kalender	TRM	TRM (T-Plan)	TRM	TRM
Darstellung	Multi-Layer- Roadmap 2 Layer Meilensteine	Multi-Layer- Roadmap 4 Layer Meilen- steine	Multi-Layer- Roadmap 3 Layer Meilenstei- ne/Projekte	Mono-Layer- Roadmap 1 Layer Meilensteine	Multi-Layer- Roadmap n-Layer Meilenstei- ne/Projekte
Ansatzschwer- punkt	Produkt Produktion Technologie	Markt Produkt Technologie	Markt Produkt Technologie	Produkt Technologie	Produkt Produktion Technologie Projekte Strategie
Unterstützte Management- funktionen (Planung, Steuerung und Kontrolle)	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja
Vernetzung von Produkt und Produkti- ons- technologien	Gering	Teilweise	Teilweise	Teilweise	Umfangreich
Visualisie- rungsart	Statisch	Statisch	Statisch	Statisch	Dynamisch

Tabelle 7: Vergleich bestehender Roadmapping-Ansätze

3.3.2 Anforderungen von Industrie 4.0 an Planungsmethoden

Ausgehend von der hohen Dynamik des heutigen Geschäftsumfeldes wird von Unternehmen verlangt agil zu handeln. Dabei wird Agilität als die Fähigkeit gesehen, Unternehmen samt bestehender Prozesse rasch und einfach über das normale Maß an Flexibilität zu ändern, umso effektiv interne und externe Veränderungen zu bewältigen. Das Modell in *Abbildung 19* ist Ergebnis einer Studie die innerhalb von vier Industriebranchen Agilitätsfaktoren identifiziert hat. Links werden Veränderungsfaktoren (C1-C6) angegeben, die das geforderte Maß an Unternehmensagilität und somit das Unternehmensumfeld beeinflussen. Rechts werden ihnen *Enabler* und *Disabler* (E1-E6) der Unternehmensagilität entgegengestellt. Zwischen ihnen kommt es zu sogenannten „Agilität Gaps“, die entstehen, wenn ein Unternehmen nicht das gefor-

derte Maß an Agilität aufweist um von einem Zustand in den anderen kosten- und zeiteffizient zu gelangen.¹⁴⁶

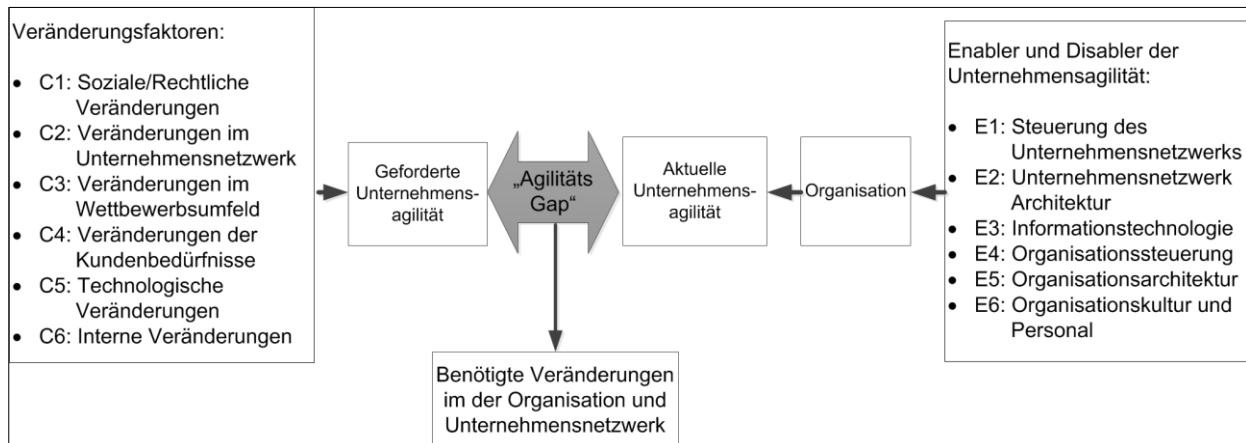


Abbildung 19: Entstehungsfaktoren des „Agilitäts Gaps“¹⁴⁷

Am Beispiel des Faktors C5: Technologische Veränderungen, durch welche Industrie 4.0 signifikant beeinflusst wird, entsteht zunehmend ein „Agilitäts Gap“. Laut einer Studie von TEF (The Emerging Future) verdoppelt sich die Fähigkeiten von Rechnern jede 12-18 Monate und damit auch die Informationstechnologien welche sie nutzten, was zukünftig zu einer exponentiellen Technologieentwicklung führen wird.¹⁴⁸ Werden nun Informationstechnologien im Sinne von Industrie 4.0 (CPS, Vernetzung, Betriebssysteme und Apps usw.) als *Enabler* der Unternehmensagilität genommen, müssen nicht nur die IT-Systeme selbst Agilität aufweisen, sondern auch ihre Planung und Einführung.

Wird der Fokus auf die Planung verschoben, liegt bei Unternehmen im Durchschnitt der betrachtete Zeithorizont für die Technologiefrüherkennung zwischen fünf und acht Jahren, wobei es in manchen Wettbewerbsfeldern mit längeren Produkt- und Technologielebenszyklen bis zu 20 Jahren sind.¹⁴⁹ Roadmaps als Methode der Technologiefrüherkennung sind in der Regel für mittelfristige Zeithorizonte bis zu 15 Jahren anwendbar.¹⁵⁰

Es wird nun die Annahme getroffen, dass ein Planungshorizont von fünf und mehr Jahren für Industrie 4.0 zu langfristig ist. Bestehende strategische Planungsmethoden, wie z.B. Roadmapping, müssen daher auf ihre Agilität überprüft werden und den erhöhten Agilitätsanforderungen angepasst werden.

¹⁴⁶ (van Oosterhout, Waarts, & van Hillegersberg, 2006, S. 132ff)

¹⁴⁷ (van Oosterhout u. a., 2006, S. 135)

¹⁴⁸ vgl. <http://theemergingfuture.com/docs/Speed-Technological-Advancement.pdf> (13.6.2016)

¹⁴⁹ (Bürgel, Reger, & Ackel-Zakour, 2005, S. 36ff)

¹⁵⁰ (Lichtenthaler, 2008, S. 73)

Neben der Agilität, stellt Industrie 4.0 auch andere Anforderungen an Roadmapping-Ansätze. Diese werden merkmalsbezogen im Folgenden genauer beschrieben:^{151 152}

153 154

- **Darstellung** – Industrie 4.0 vernetzt und beeinflusst Unternehmen in Hinblick auf ihre Bestandteile (Mitarbeiter, Technologien, Kunden usw.) über alle Ebenen (Führungs-, Planungs-, Fertigungsebenen usw.) hinaus. Um dies auf einer Roadmap zu visualisieren und dabei bestehende Zusammenhänge und Einflüsse darzustellen, ist eine Multi-Layer-Darstellung erforderlich. Die Anzahl an betrachteten Layern kann je nach Anwendungszweck variieren (siehe *Tabelle 2*). Aufgrund der hohen Komplexität der Industrie 4.0 Thematik, sollte die Layer Anzahl nicht zu groß gewählt werden ($n \leq 5$), um somit Übersichtlichkeit zu gewährleisten. In Unternehmen werden neue Themen und Ideen in der Regel über Projekte eingeführt. Im IT-Bereich kommt es zur Realisierung so genannter *Scrums* (auch Sprint genannt), als eine agile Projektform, die dabei Projekteigenschaften (z.B. Einmaligkeit, Ressourcenzuweisung, Teamerstellung) aufweisen, jedoch meistens nur wenige Wochen dauern. Meilensteine beschreiben geplante Ergebnisse von Projekten oder *Scrums* und sind für eine Industrie 4.0 Roadmap die geeignete Darstellungsform.
- **Ansatzschwerpunkt** – dieses unternehmensspezifische Merkmal kann je nach Einsatzgebiet unterschiedlich gestaltet werden. Für Industrie 4.0 wird der Fokus auf Technologien, Produkte, Markt und Produktion/Prozesse liegen.
- **Unterstützte Managementfunktionen** – ein weiteres Defizit der meisten Roadmapping-Ansätze ist die Einseitigkeit im Sinne unterstützter Managementfunktionen. Es wird überwiegend nur mit der Technologieplanung zusammengearbeitet, ohne nachgelagerte Bereiche des Technologiemanagements, wie Steuerung und Kontrolle zu beachten.
- **Vernetzung von Produkt- und Produktionstechnologien** – wo es bei älteren RM-Ansätzen (z.B. EIRMA, Eversheim u.a.) an Kommunikation zwischen Produktion und Produktentwicklung entlang der betroffenen Unternehmensbereiche mangelte, wird im Sinne von Industrie 4.0 durch starke Einbindung von Informations- und Kommunikationstechnologien in alle Unternehmensbereiche eine umfangreichere Kommunikation zwischen IT-Abteilung und anderen Bereichen erfordert. Dies bezieht sich auch auf den Roadmapping-Prozess, um so Themen wie Realisierbarkeit, Sicherheitsaspekte usw. zu klären.

¹⁵¹ (Möhrle & Isenmann, 2008, S. 12ff)

¹⁵² (Laube & Abele, 2008, S. 352ff)

¹⁵³ (Rising & Janoff, 2000, S. 26ff)

¹⁵⁴ (Kagermann u. a., 2013, S. 5ff)

- **Visualisierungsart** - Industrie 4.0 zeichnet sich durch eine hohe Dynamik aus. Einerseits, wird sie durch schnell ändernde Marktanforderungen getrieben, andererseits kommt es zu raschen Technologieentwicklungen, die oft einen disruptiven Charakter haben. Um dieses dynamische Umfeld, welches durch Flexibilität und Agilität geprägt ist, zu erfassen, sind statische Visualisierungsansätze ungeeignet. Ein Industrie 4.0 Roadmapping-Verfahren sollte daher einen agilen Charakter aufweisen um schnell auf Veränderungen reagieren zu können. Um diese Agilität zu gewährleisten, sollte Roadmapping als kontinuierlicher Prozess verankert werden und die darin entstandene Roadmap regelmäßig überarbeitet werden.

3.3.3 Ableitung der Merkmale einer Industrie 4.0 Roadmap

Aus den Anforderungen ergeben sich die Ausprägungen der erforderlichen Merkmale für eine Industrie 4.0 Roadmapping-Methode. Als Grundlage für solch eine Methode ist das Verfahren von Laube/Abele das Geeignetste, da es als einziges eine dynamische Visualisierung aufweist. In *Tabelle 8* wird das angepasste Roadmapping-Verfahren, als Industrie 4.0 Roadmap (RM) angegeben, aus dem Ansatz von Laube/Abele abgeleitet.

	Laube/ Abele (2002)	Industrie 4.0 RM	Genauere Beschreibung
Name	TRM	TRM	
Darstellung	Multi-Layer-Roadmap n-Layer Meilensteine/Projekte	Multi-Layer-Roadmap n-Layer Meilensteine	Multi-Layer-Roadmap mit n-Layern je nach Bedarf anpassbar. Meilensteine als Ergebnisse von Projekten/ <i>Scrums</i> .
Ansatzschwerpunkt	Produkt Produktion Technologie Projekte Strategie	Markt Produkte Prozesse Technologie	Industrie 4.0 ist vom Markt und neuen Technologien getrieben, mit dem Fokus auf Produkte und Prozesse (Produktion inbegriffen).
Unterstützte Managementfunktionen	Ja	Ja	Um die Roadmap optimal zu gestalten und anschließend zu nutzen, sollte diese durch Managementfunktionen unterstützt werden.
Vernetzung von Produkt- und Produktionstechnologien	Umfangreich	Vernetzung IT und anderer Unternehmensbereiche	Anstelle der Vernetzung von Produktion und Produktentwicklung ist die Zusammenarbeit zwischen IT und anderen Bereichen erforderlich.
Visualisierungsart	Dynamisch	Dynamisch	Original wird die RM zyklisch nach einem Jahr aktualisiert. Für Industrie 4.0 müssen diese Zyklen Technologieimpulsen angepasst werden, d.h. sollte sie pro Quartal überarbeitet werden, mit der Option auf disruptive Technologien zu reagieren.

Tabelle 8: Merkmale der Industrie 4.0 Roadmap

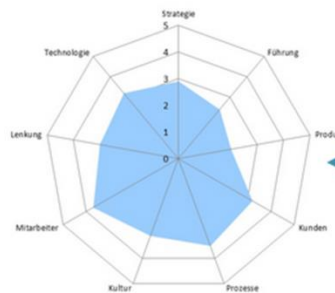
3.4 Industrie 4.0 Planungsmethode

Schritt 1: Industrie 4.0 Kick-off



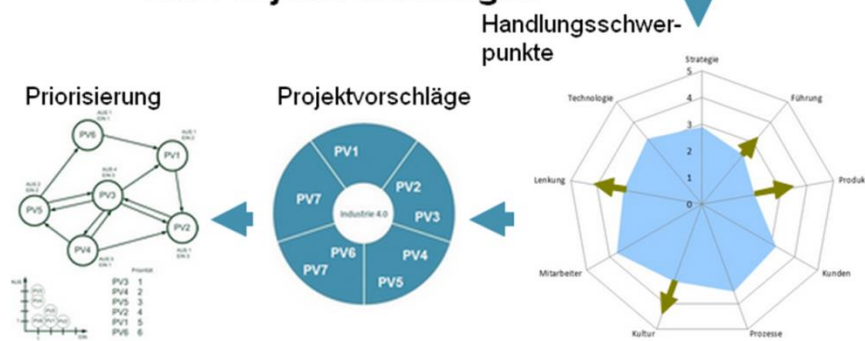
Quellen:
Erol, Schumacher,
Sihn, 2016

Schritt 2: Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo



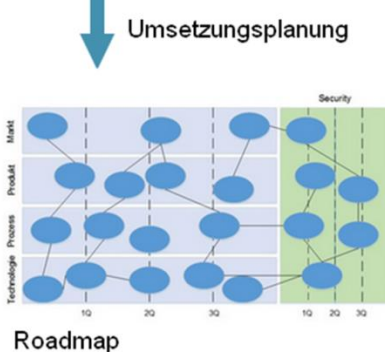
Quellen:
Schumacher, 2016;
PWC, 2016; Merz,
2016; Lanza u.a.,
2016

Schritt 3: Entwicklung und Priorisierung von Projektvorschlägen



Quellen:
PWC, 2016; Merz,
2016; Lanza u.a.,
2016; Vester, 2002;
Erol, Schumacher,
Sihn, 2016

Schritt 4: Erstellen einer Industrie 4.0 Roadmap



Erfolgskontrolle

Quellen:
PWC, 2016; Laube,
Abele, 2008;
Möhrle, Isenmann,
2008; Erol,
Schumacher, Sihn,
2016

Abbildung 20: Vier Schritte der Industrie 4.0 Planungsmethode samt Quellen

Abbildung 20 erklärt die entwickelte Planungsmethode graphisch und gibt Quellen an, welche als Vorlage für die einzelnen Schritte verwendet wurden. Die Planungsmethode weist mehrere Parallelen mit dem Phasenmodell von Erol, Schumacher und Sihn auf. Der Kick-off wird ähnlich wie die *Envision* Phase in zwei Teilschritten durchgeführt – der Input- und Output-Phase. In der Input-Phase befassen sich beide Methoden mit der theoretischen Vermittlung von Industrie 4.0, mit dem Ziel ein einheitliches Verständnis in der Thematik zu schaffen. Ergebnis der Output-Phase in der entwickelten Methode ist, anstelle einer unternehmenseigenen Industrie 4.0 Vision, konkrete Ziele und Handlungsfelder der Industrie 4.0 zu definieren. Im Phasenmodell wird ein Handlungsrahmen in der *Enable* Phase in Form einer strategischen Roadmap gestaltet. Diese soll dem Unternehmen einen Weg zur eigenen Industrie 4.0 Vision anbieten – dafür werden vier Perspektiven betrachtet. Die entwickelte Methode befasst sich im vierten Schritt mit dem Erstellen einer Roadmap, wobei diese konkrete, über den Hebeleffekt priorisierte, Projekte zur Erhöhung des Reifegrades beinhaltet. Zu einer Priorisierung von Projekten kommt es auch in der *Enact* Phase des Phasenmodells. Diese werden aus dem Handlungsrahmen abgeleitet und anhand der Ressourcenverfügbarkeit und dem Beitrag zur Gesamtvision beurteilt.

3.4.1 Schritt 1: Industrie 4.0 Kick-off

Beschreibung:

Im Industrie 4.0 Kick-off sollen ein einheitliches Industrie 4.0 Verständnis innerhalb des Unternehmens geschaffen und unternehmensspezifische Industrie 4.0 Ziele definiert werden, die im Einklang mit der bestehenden Unternehmensstrategie sind. Ausgehend von den Zielen werden Industrie 4.0 Handlungsfelder abgeleitet. Diese bilden zusammen mit den Zielen die unternehmenseigene Industrie 4.0 Definition.

Ziel:

Finden geeigneter unternehmensspezifischer Industrie 4.0 Ziele und Handlungsfelder.

Vorgehen:

In Anlehnung an die Vorgehensweise der *Envision* Stufe des dreistufigen Vorgehensmodells von Erol, Schumacher und Sihn werden anstelle einer Industrie 4.0 Vision, unternehmensspezifische Industrie 4.0 Ziele samt den dazugehörigen Handlungsfeldern in zwei Phasen entwickelt. In der Input-Phase soll unter Einbeziehung des höheren und mittleren Managements Industrie 4.0 theoretisch vermittelt werden und so ein einheitliches Verständnis dieser Thematik geschaffen werden. Dazu können externe Industrie 4.0 Definitionen (z.B. BITKOM, Plattform Industrie 4.0) und unabhängige Experten herangezogen werden. Am Ende der Input-Phase werden die Befunde nochmals zusammenfassend in einem Workshop präsentiert. Unter Berücksichtigung

sichtigung der bestehenden Unternehmensstrategie und der Marktanforderungen werden in der Output-Phase aus dem angesammelten theoretischen Wissen passende Industrie 4.0 Ziele entwickelt und diese verbal beschrieben. Dabei sollte ein hoher Grad an Zusammenarbeit zwischen den einbezogenen Interessengruppen vorhanden sein, um bestehende Interessen und Ansichten in Bezug auf Industrie 4.0 in den gemeinsamen Zielen abzugleichen. Ausgehend aus den definierten Zielen werden am Ende der Output-Phase unter Berücksichtigung aktueller Geschäftsmodelle und der technischen Infrastruktur Handlungsfelder abgeleitet, in denen Industrie 4.0 zukünftig realisiert wird. Resultat der Anfangsphase sind unternehmensspezifische Industrie 4.0 Ziele und dazugehörige Handlungsfelder. Zusammen bilden diese eine unternehmenseigene Industrie 4.0 Definition.

3.4.2 Schritt 2: Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo

Beschreibung:

Durch Einsatz eines Industrie 4.0 Reifegradmodells wird in diesem Schritt der Ist-Zustand von Industrie 4.0 im Unternehmen bestimmt. Dieses dient als Grundlage für das Ableiten konkreter Industrie 4.0 Projektvorschläge.

Ziel:

Ermittlung des Industrie 4.0 Reifegrads des Unternehmens.

Vorgehen:

Ermittlung des Industrie 4.0 Status-quo erfolgt in Form einer reifegradbasierten Selbstbewertung. Das Reifegradmodell I40MM wurde im Rahmen einer Diplomarbeit von Schumacher am Institut für Managementwissenschaften der TU-Wien entwickelt. Es hat die Form eines Fragebogens, welcher 9 Themenbereiche umfasst. Jeder Themenbereich stellt eine für Industrie 4.0 relevante Unternehmensdimension dar, welcher jeweils mehrere Fragen zugeordnet sind. Jede dieser Fragen repräsentiert ein Industrie 4.0 Attribut, das mit den Ausprägungen 1 bis 5 bewertet werden kann, siehe *Abbildung 21*. Diese Ausprägungen entsprechen den Reifegraden der einzelnen Attribute. Bei der Berechnung des Gesamtreifegrades der Unternehmensdimension, werden die einzelnen Attribute gewichtet. Der Fragebogen dient zur Selbstbewertung von Unternehmen in Hinsicht auf ihren Stand in Industrie 4.0.

Personen, welche diesen Fragebogen ausfüllen, müssen daher Grundkenntnisse von Industrie 4.0 aufweisen und sich mit den Unternehmensaktivitäten und –strukturen genauer auskennen. Jede Frage muss von mindestens einer Person beantwortet werden, damit sie in die Reifegradbestimmung einbezogen wird.¹⁵⁵

¹⁵⁵ (Schumacher, 2015, S. 108ff)

Beispiel:

Themengebiet 1: Unternehmensstrategie; **Frage 1.1:** Inwieweit ist eine Road-Map (klarer, festgelegter Vorgehensplan) zur Realisierung von Industrie 4.0 in Ihrem Unternehmen implementiert?

Ausprägung 1: Eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 ist **nicht implementiert**

Ausprägung 5: Eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 ist **sehr umfassend implementiert**

Antwort durch Setzen eines Kreuzes bei den Antwortkästchen rechts.

Abbildung 21: Beispiel einer Frage des I40MM¹⁵⁶

Ausfüllen des Fragebogens kann auf zweierlei Wege erfolgen:

- **Quantitative Befragung** – der Fragebogen wird an so viele Mitarbeiter des Unternehmens verschickt, dass er statistische Relevanz gewinnt.
- **Persönliche Interviews** – bei einem Interview wird der Fragebogen durch Mitarbeiter ausgefüllt, welche die Fragen akkurat beantworten können.

Um bei einer quantitativen Befragung statistische Relevanz zu gewinnen, muss der minimale erforderliche Stichprobenumfang bestimmt werden. Im Falle einer Befragung in Unternehmen besteht eine endliche Grundgesamtheit (Menge aller statistischen Einheiten), aus welcher die Stichproben „herausgezogen“ und nicht wieder „zurückgelegt“ werden. Der minimale erforderliche Stichprobenumfang für eine endliche Grundgesamtheit wird mit folgender Formel berechnet:

$$n \geq \frac{N}{1 + \frac{(N-1) * \varepsilon^2}{z^2 * P * Q}}$$

Formel 1: Minimal erforderlicher Stichprobenumfang¹⁵⁷

n... minimal erforderlicher Stichprobenumfang bei endlicher Grundgesamtheit

N... Anzahl der Elemente der Grundgesamtheit

ε... gewählter tolerierter Fehler

z... berechneter Wert der gewählten Sicherheitswahrscheinlichkeit für Standardnormalverteilung

P... tatsächlicher Mittelwert der Grundgesamtheit

Q... 1-P

¹⁵⁶ (Schumacher, 2015, S. 110)

¹⁵⁷ (Moßig & others, 2012, S. 21)

Ist es nicht möglich, bei der Befragung statistische Relevanz zu erlangen, sollte der Fragebogen bei persönlichen Interviews ausgefüllt werden. Diese haben den Vorteil einer hohen Antwortrate und das Interview an sich kann komplexer gestaltet werden. So können neben dem Fragebogen des Reifegradmodelles auch offene Fragen beantwortet werden. Ein weiterer positiver Aspekt ist das Verringern selektiv nichtbeantworteter Fragen, da im Falle von Unklarheiten die Fragestellung erklärt werden kann.¹⁵⁸

Ausgang des zweiten Schrittes ist der reifegradbasierte Ist-Zustand von Industrie 4.0, welcher als Grundlage für die später entwickelten Projektvorschläge dient.

3.4.3 Schritt 3: Entwicklung und Priorisierung von Projektvorschlägen

Beschreibung:

Mittels qualitativer Bewertung der Ergebnisse aus Schritt 2 wird bestimmt, in welchen Unternehmensdimensionen des Reifegradmodelles eine Reifegraderhöhung stattfinden soll. Anschließend werden Projektvorschläge zur Erhöhung des Reifegrades generiert und priorisiert, wobei diese aus je einem der unternehmensspezifischen Industrie 4.0 Handlungsfelder stammen.

Ziel:

Finden geeigneter und priorisierter Industrie 4.0 Projektvorschläge zur Reifegraderhöhung.

Vorgehen:

Einzelne Dimensionen des im Schritt 2 ermittelten Ist-Zustandes, werden nun in einem Workshop unter Einbindung des höheren und mittleren Managements qualitativ bewertet und es wird bestimmt, in welchen Unternehmensdimensionen der Reifegrad erhöht werden soll. Für Dimensionen die sich einer Reifegraderhöhung unterziehen sollen, werden anschließend dimensionsspezifische Projektvorschläge (PV) gemacht. Als Grundlage für diese Projektvorschläge können die einzelnen Attribute der Unternehmensdimension herangezogen werden. Jeder dieser Vorschläge soll dabei einem der Handlungsfelder aus Schritt 1 zugehören. Somit werden die Projektvorschläge zur Erhöhung des Reifegrades gestaltet, welche sich gleichzeitig an die unternehmensspezifische Industrie 4.0 Vorstellung anlehnen. Diese Vorschläge werden nachfolgend über die Ermittlung des Hebeleffekts (Hebeleffekt – Wechselwirkung mit anderen Projekten) priorisiert. Die Vorgehensweise basiert auf der Methodik des *Vernetzten Denkens* von Vester, in welcher einzelne Bestandteile eines komplexen

¹⁵⁸ (Herkner & Müllner, 2011, S. 29f)

Systems anhand ihrer verstärkenden Wechselwirkungen priorisiert werden.¹⁵⁹ Systemteilen, welche die meisten Wechselwirkungen auf andere Teile verursachen, wird die größte Priorität zugeteilt. Ausschlaggebend sind dabei ausgehende Wechselwirkungen (kurz Aus), da diese aktiv auf andere Systemteile wirken. Das Beispiel in *Abbildung 22* zeigt, dass Projektvorschlag 3 (Ausgehend - Aus: 4, Eingehend - Ein: 3) die meisten Wechselwirkungen verursacht und damit mit der Priorität 1 bewertet wurde, Projektvorschlag 4 (Aus: 3, Ein: 1) Priorität 2 hat usw. Projektvorschläge mit den höchsten Prioritäten werden anschließend detaillierter beschrieben (Unternehmensdimension, zugeordnetes Attribut, Situation, Risiken und Lösung) und grob bewertet (Nutzen, Komplexität, Kosten, Umsetzungszeitraum), siehe *Abbildung 23*.

Ergebnis dieses Schrittes sind priorisierte Projektvorschläge für die Erhöhung des Reifegrads für einzelne Dimensionen.

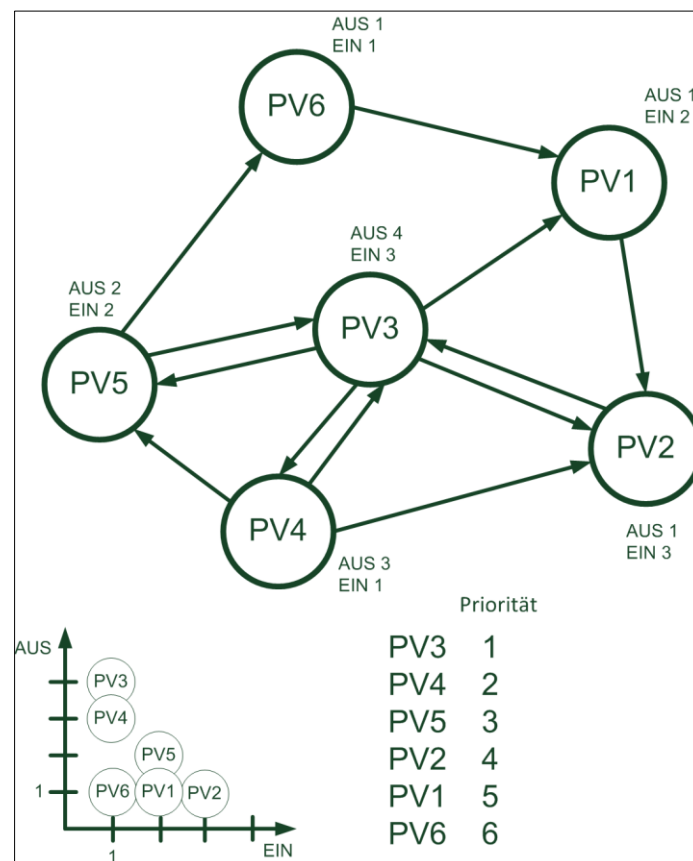


Abbildung 22: Priorisierung der Projektvorschläge anhand des Hebeleffekts nach Vester

¹⁵⁹ (Vester, 1999, S. 160ff)

Projektvorschlag 1	
Dimension	- Unternehmensdimension des Reifegradmodells welcher der PV zugehört
Attribut	- Attribut des Reifegradmodells welches durch Maßnahme beeinflusst wird
Situation	- grobe Beschreibung der Ist-Situation im betrachteten Gebiet
Risiken	- Hauptrisiken welche die Implementierung der Maßnahme mit sich bringt
Lösung	- grobe Beschreibung der Maßnahme samt ihrer Auswirkungen - potentielle Projekte angeben
Bewertung	- Nutzen: niedrig/mittel/hoch/sehr hoch - Komplexität: niedrig/mittel/hoch - Kosten: niedrig/mittel/hoch - Umsetzungszeit: auf ½ Jahr abschätzen
Priorität	- nach Hebeleffekt

Abbildung 23: Beschreibung eines entwickelten Projektvorschlages

3.4.4 Schritt 4: Erstellung einer Industrie 4.0 Roadmap

Beschreibung:

Die in Schritt 3 gefundenen Projektvorschläge werden nun selektiert, Ebenen einer Roadmap zugeordnet und ihre Zusammenhänge graphisch dargestellt.

Ziel:

Einordnen der Industrie 4.0 Projekte auf eine Roadmap.

Vorgehen:

- **Schritt 1:** Erstellen eines Kernteams

Es sollte ein Kernteam aus 2-4 Personen erstellt werden, welche sich mit der Industrie 4.0 Thematik auskennen und idealerweise beim Entwickeln der Projektvorschläge anwesend waren. Zum erstmaligen Erstellen einer Roadmap sollte ein Unternehmensbereich ausgewählt werden, welcher „offen gegenüber Neuem ist“. Es wird empfohlen beim Erstellen einer Roadmap eine sukzessive Vorgehensweise zu wählen, anstatt einen gesamten Unternehmensbereich auf einmal zu betrachten. Nach Fertigstellen der Roadmap wird aus

dem erstellten Team eine Person ausgewählt, die für die Aktualisierung und Überarbeitung der Roadmap verantwortlich ist.

- **Schritt 2: Informationssammlung und –vermittlung**

In einem Workshop werden alle Mitglieder des Teams ausführlich in die Roadmapping-Methodik eingeweiht. Anschließend werden die ermittelten Industrie 4.0 Projektvorschläge vorgestellt und durch Absprache mit der Führungsebene jene Projekte ausgewählt, welche von höherer Priorität sind und somit in die Roadmap aufgenommen werden. Dabei werden der Hebeleffekt, Ressourcenverfügbarkeit und das Kosten/Nutzen-Verhältnis berücksichtigt.

- **Schritt 3: Erstellung der Roadmap**

Im letzten Schritt werden die geplanten Projekte innerhalb eines Workshops übersichtlich auf einer Roadmap visualisiert. Anfangs wird der betrachtete Zeithorizont (horizontale Achse) samt Skalierung bestimmt. Für Industrie 4.0 sollte dieser nicht mehr als drei Jahre betragen. Auf der vertikalen Achse werden die aus Schritt 1 bestimmten Handlungsfelder in Form von Layern hierarchisch aufgetragen (z.B. Produkt, Prozess, Technologie, Ressource). Auf der rechten Seite wird ein übergreifender Layer „IT-Sicherheit“ mit einer zeitlichen Skalierung eingetragen, damit geplante Sicherheitsmaßnahmen für verschiedene Layer übersichtlich visualisiert werden können -siehe *Abbildung 24*. Zum Schluss werden die ausgewählten Projekte auf die zugehörigen Layer eingeordnet und Abhängigkeiten aus Schritt 3 zwischen ihnen eingezeichnet.

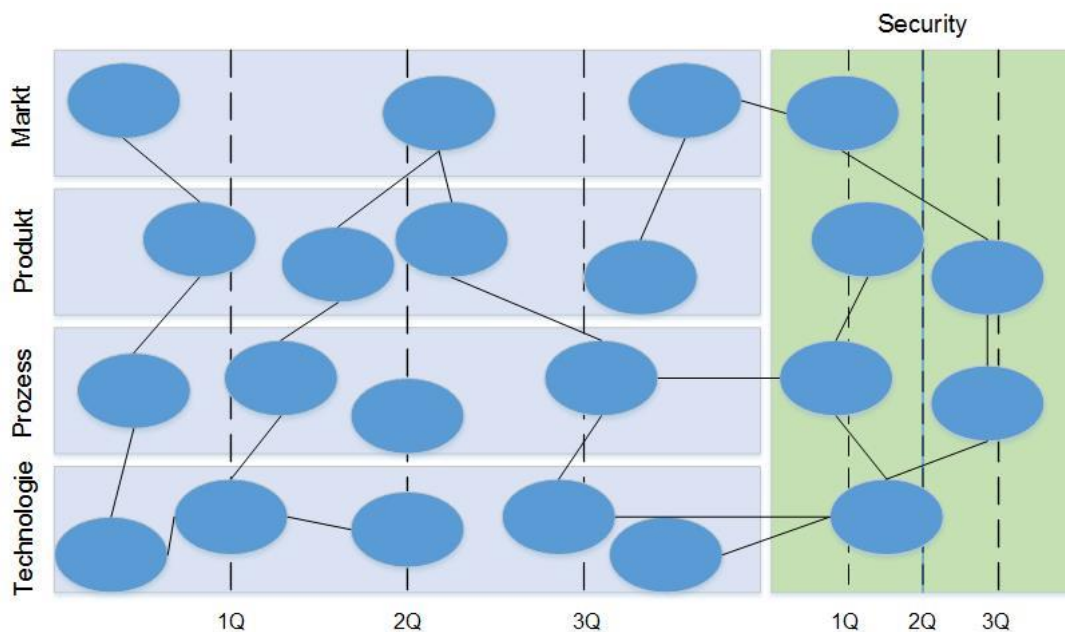


Abbildung 24: Beispiel einer Industrie 4.0 Roadmap

Mit der Erstellung der Roadmap ist der Roadmapping-Prozess noch nicht beendet. In einem dynamischen Umfeld wie Industrie 4.0 muss die Roadmap laufend aktualisiert werden. Es muss ein Verantwortlicher, der die Roadmap pflegt, bestimmt werden – am besten eine Person aus dem Kernteam. Diese muss die Roadmap in regelmäßigen Intervallen (z.B. ein halbes Jahr) oder bei Erscheinen einer Marktdisruption auf den neusten Stand bringen.

Erfolgskontrolle:

Um die Wirksamkeit der abgeleiteten Projekte zu messen, wird das Reifegradmodell mit einer Periodizität von einem Jahr wiederholt eingesetzt. So wird der Ist-Zustand (wie Schritt 2) erneut ermittelt und die Ergebnisse werden mit den vorigen Modell verglichen. Diese werden anschließend qualitativ bewertet und es werden neue Projektvorschläge gemacht (wie Schritt 3). So entsteht ein Regelkreis, siehe *Abbildung 20*.

4 Fallstudie Volkswagen Slovakia

4.1 Vorstellung des Unternehmens

Volkswagen Slovakia ist der größte Automobilhersteller in der Slowakei mit Standorten in Bratislava, Martin, Stupava und Košice. Der Standort Bratislava wurde im Jahre 1991 errichtet und ist mit rund 10.000 Arbeitnehmern der größte. Täglich können im Werk bis zu 1.200 Automobile vom Band laufen, welche in 148 Länder exportiert werden. Es werden Autos aus zwei Fahrzeugsegmenten für sechs verschiedene Automarken (VW, Audi, Porsche, Škoda, SEAT, Bentley) produziert – Kleinwagen (Volkswagen Up!, Škoda Citigo, SEAT Mii) und SUVs (Volkswagen Touareg, Audi Q7, Porsche Cayenne und Karosserien des Bentley Bentayga). Neben Fahrzeugen werden noch Getriebe und Fahrzeugkomponenten gefertigt. Im Jahre 2014 betrug der Umsatz von Volkswagen Slovakia 6,17 Mrd. €, welchen die Gesellschaft, als Auftragsfertiger, durch den Verkauf produzierter Fahrzeuge und Komponenten an die Auftraggeber (die Marken) erzielte.¹⁶⁰

Im Standort Bratislava werden fünf Fahrzeugtypen komplett gebaut, wofür das Werk alle Teile der Wertschöpfungskette umfasst. Anfangend mit dem Presswerk kommen die Fahrzeuge in den Karosseriebau, von dort über die Lackiererei in die Montage und das Finish-Zentrum. Neben den erwähnten Bereichen verfügt der Standort noch über zwei Logistikzentren, die Pilothe (Prototypenbau) und die Aggregatfertigung.

Der Volkswagen Konzern verfolgt mit seiner heutigen Strategie eine umfangreiche Digitalisierung und Automatisierung. Ausgehend von der übergeordneten Konzernstrategie werden Strategien für einzelne Marken, Werke und Werksbereiche kaskadierend abgeleitet.

4.2 Gewählte Vorgehensweise bei der Datenerhebung im Unternehmen

Die Datenerhebung im Unternehmen VW Slovakia erfolgt in zwei Instanzen. In der Ersten wird der Status-quo des Unternehmens in Bezug auf Industrie 4.0 bestimmt. Dafür wird das Industrie 4.0 Reifegradmodell von Schumacher eingesetzt, welches in Kapitel 3.4.2 genauer beschrieben ist. Zweitens wird innerhalb von Workshops, anlehnend an die Schritte der entwickelten Planungsmethode, eine Industrie 4.0 Roadmap erstellt. Dieses Kapitel beschreibt die ausgewählte Methodik bei der Datenerhebung in der Fallstudie genauer.

¹⁶⁰ vgl. <http://de.volkswagen.sk/de.html> (7.6.2016)

4.2.1 Vergleich qualitativer Befragung und persönlicher Interviews

Der Fragebogen des Industrie 4.0 Reifegradmodells kann auf zweierlei Weisen ausgefüllt werden – per quantitative Umfrage, wobei diese statistische Relevanz aufweisen muss oder durch persönliche Interviews mit Personen, welche die Fragen genau beantworten können.

Im Falle einer quantitativen Umfrage wird angestrebt einen möglichst kleinen benötigten Stichprobenumfang n zu bekommen – bezogen auf das Fallbeispiel bedeutet dies, wie viele befragte Personen den Fragebogen mindestens ausfüllen müssen, damit dieser statistische Relevanz aufweist. Es werden daher bei der Auswahl der Konstanten ε , z , P , Q Annahmen getroffen um bei gegebener Grundgesamtheit N einen möglichst kleinen Stichprobenumfang n zu erhalten.

In Volkswagen Slovakia würde die Ermittlung des minimal erforderlichen Stichprobenumfangs n zur Gewinnung statistischer Relevanz folgend aussehen (verwendet wurde *Formel 1* aus Kapitel 3.4.2).^{161 162}

$$n \geq \frac{N}{1 + \frac{(N-1) * \varepsilon^2}{z^2 * P * Q}}$$

N... Personen, die Grundkenntnisse von Industrie 4.0 haben und Unternehmensaktivitäten und –strukturen genauer kennen. Für VW Slovakia sind dies Personen aus dem mittleren und oberen Management, in der Zahl $N=40$.

ε ... Anhand unterschiedlicher Beispiele wird der tolerierte Fehler 5% gewählt, d.h. $\varepsilon=0,05$.

z ... Anhand unterschiedlicher Beispiele wird die Sicherheitswahrscheinlichkeit von $D(z)=95\%$ gewählt. Der dazugehörige z -Wert beträgt, $z=1,96$.

P ... $P*Q$ ist maximal bei $P=0,5$ und $Q=0,5$. Damit n so klein wie möglich ist, wird der Wert $P=0,5$ gewählt.

Q ... $Q = 1-P = 0,5$

$n=$ 36

Für eine Grundgesamtheit von $N=40$ Personen, müssten mindestens 36 Befragte den Fragebogen ausfüllen, damit dieser statistische Relevanz gewinnt. Dies wäre mittels quantitativer Befragung per E-Mail nicht möglich, da die Antwortrate bei 90% liegen müsste. Daher werden die Fragebögen des Reifegradmodells in diesem Fallbeispiel bei persönlichen Interviews ausgefüllt.

¹⁶¹ Angaben von VW Slovakia

¹⁶² (Moßig & others, 2012, S. 14ff)

4.2.2 Vorgehensweise bei den gehaltenen Interviews

Zur Ermittlung des Industrie 4.0 Status-quo im Unternehmen VW-Slovakia wurden bei persönlichen Interviews der Fragebogen des Reifegradmodells und einige offene Fragen beantwortet. Zu den Interviews wurden 15 Personen aus dem mittleren und oberen Management eingeladen, die sich mit der Industrie 4.0 Thematik befassen und die einzelnen Fragen des Fragebogens genau beantworten können. Insgesamt haben 11 Personen geantwortet und an dem Interview teilgenommen. Um den Industrie 4.0 Status-quo des gesamten Unternehmens zu ermitteln (Ergebnisse im Kapitel 4.3), wurden die Interviews in unterschiedlichen Bereichen des Unternehmens gehalten:

- IT Bereich
- Instandhaltung
- Planung/Logistik
- Produktionssysteme Industrial Engineering
- Pilothele
- Planung Elektro-/Transportsysteme

Die Interviews wurden in Form eines leitfadengestützten halbstrukturierten Interviews gehalten.

Leitfaden persönliches Interview – Reifegradbestimmung

Abteilung:
Name:
Datum:

Einleitung:

- **Vorstellung**
Ich heiße Sebastian Gerbel, ich studiere an der TU Wien Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau und schreibe momentan meine Diplomarbeit VW-Slowakei mit dem Thema Industrie 4.0 bezogenes Roadmapping.
- **Grund für das Interview**
Im Rahmen meiner Diplomarbeit wird ein Industrie 4.0 spezifisches Reifegradmodell eingesetzt, welches am IMW der TU Wien entwickelt wurde. Dieses Modell bildet die Basis für die in meiner Arbeit durchgeführte Fallstudie.
- **Ziel des Interviews**
 - Bestimmung des Reifegrads von VW- Slowakei mittels I40MM
 - Kritische Bewertung des Reifegradmodells I40MM als Basis für eine Roadmap
- **Grobe Struktur**

1. Persönliche Vorstellung und eine kurze Einführung in die Thematik meiner Arbeit
2. Erklären des Interviewgrundes und die zu erreichenden Ziele
3. Vorgehensweise und Aufbau des Interviews erläutern
4. Eröffnungsfragen
5. Fragebogen des Reifegradmodells I40MM ausfüllen
6. Beurteilung des Reifegradmodells
7. Dank

- **Dauer:** ca. 0,5h

1. Vorstellung

Anfangs möchte ich mich bei ihnen für ihre Zeit bedanken. Ich studiere an Technischen Universität Wien WIMB und schreibe im Moment am IMW meine Diplomarbeit. Der Schwerpunkt meiner Arbeit liegt im Entwickeln einer geeigneten Roadmapping-Methode für die strategische Ausrichtung von Unternehmen in Bezug auf die Industrie 4.0 Vision. Im Rahmen der von mir durchgeführten Fallstudie in VW- Slowakei soll erstens der Industrie 4.0 Reifegrad, mit einem am IMW entwickelten Modell, bestimmt werden. Anschließend soll auf Basis des ermittelten Reifegrades und der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Methode die von VW-Slowakei verfolgte Industrie 4.0 Vision auf einer Roadmap visualisiert werden.

2. Grund und Ziel des Interviews

Als Grundlage für die in dieser Arbeit durchgeführte Fallstudie ist die Industrie 4.0 Reifegradbestimmung von VW-Slowakei. Für diesen Zweck wird das an der TU-Wien entwickelte Reifegradmodell I40MM eingesetzt. Dieses möchte ich mit diesem Interview ausfüllen und anschließend bewerten.

Ziele:

- Bestimmung des Reifegrads von VW- Slowakei mittels I40MM
- Kritische Bewertung des Reifegradmodells I40MM als Basis einer Roadmap

3. Vorgehensweise und Aufbau des Interviews

Es handelt sich um ein halbstrukturiertes Interview mit drei Teilen, wobei es auch Raum für offene Fragen und kleine Diskussionen gibt. Der erste Teil besteht aus offenen Fragen bezüglich Industrie 4.0, im zweiten bitte ich Sie ein fragebogenbasiertes Reifegradmodell auszufüllen, welches ich Sie zum Schluss zu bewerten bitte. Falls es ihnen nichts ausmacht, würde ich das Gespräch gerne aufzeichnen, damit es schnell und fließend durchgeführt werden kann. Nach dem Interview werde ich den besprochenen Inhalt umgehend schriftlich erfassen und die Aufzeichnungen löschen.

Wenn es von ihrer Seite keine Fragen gibt, würde ich gerne beginnen.

4. Eröffnungsfragen und Besprechung der Roadmap-Thematik

- Was ist ihre Position in VW- Slowakei und beschreiben sie bitte kurz ihren Arbeitsinhalt?
- Was verstehen sie persönlich unter dem Begriff „Industrie 4.0“? (mit eigenen Worten beschreiben, keine genaue Definition)

- Wie macht sich Industrie 4.0 bei ihnen im Arbeitsalltag bemerkbar?
- Worin sehen Sie die größten Herausforderungen bei der Umsetzung von Industrie 4.0? (Technologien, Personal, Strukturänderungen, Ressourcen...)

5. I40MM Fragebogen – beantworten Sie bitte nur Fragen, welche Sie ausfüllen können.

6. Fragen zum I40MM und TRM

- Finden Sie das I40MM als geeignet für die Bestimmung der Industrie 4.0 Reife in einem Produktionsunternehmen wie VW-SK? Wenn nicht, begründen Sie bitte ihre Antwort?
- Bewerten sie die einzelnen Dimensionen anhand ihrer Bedeutung für das Produktionsunternehmen VW-SK in Hinsicht auf die Realisierung von Industrie 4.0. (Skala von 1-5 bewerten)

Dimensionen	1	2	3	4	5
Unternehmensstrategie					
Unternehmensführung					
Unternehmensprozesse					
Unternehmenskultur					
Mitarbeiter					
Lenkung und Steuerung					
Technologie					

- Wo sehen Sie mögliche Probleme bei dem Erstellen einer Roadmap auf Basis des durch I40MM ermittelten Reifegrades? (fehlende/nicht passende Dimensionen, schlecht zu bestimmender Soll-Reifegrad usw.)

7. An diesem Punkt möchte ich mich nochmals für ihre Zeit und ihren Aufwand bedanken, im Falle ihres Interesses kann ich ihnen die Arbeit nach dem Fertigstellen zustellen.

4.3 Industrie 4.0 Status-quo in Volkswagen Slovakia - Reifegradbericht

Um einen allgemeinen Überblick zu schaffen, wo das gesamte Unternehmen Volkswagen Slovakia im Industrie 4.0 Umfeld steht, bietet dieses Kapitel einen zusammenfassenden Bericht der Reifegradbestimmung an. Die Reife wurde von 11 Befragten (mittleres und oberes Management) in sechs Unternehmensbereichen (IT-Bereich, Planung/Logistik, Instandhaltung, Pilothe, Produktionssysteme Industrial Engineering, Planung Elektro-/Transportsysteme) bestimmt.

Unternehmensdimension	Attribute	Gewichteter Reifegrad (5 max.)
Unternehmensstrategie	Verwendung einer Roadmap; Ressourcenverfügbarkeit; Kommunikation und Dokumentation von Aktivitäten; Geschäftsmodelleignung; Strategie zur digitalen Transformation; Kompatibilität mit Unternehmensstrategie	2,9
Unternehmensführung	Willigkeit der Unternehmensführung; Managementkompetenzen; zentralen Koordination	2,4
Produkte		0
Kunden		0
Unternehmensprozesse	Vertikale und horizontale Integration; Digitalisierung, Automatisierung, Dezentralisierung, Standardisierung und Flexibilisierung von Prozessen; Integration externer Stakeholder; Interdisziplinäre Kooperation; Simulationen bei Prozessplanung	3,5
Unternehmenskultur	Einbeziehen von Mitarbeitern; Innovationsambitionen; Offenheit externer Partner; Adaption der Unternehmenskultur; Stellenwert von Informationstechnologien; Wissen sammeln und verwalten; offene Innovation	3,1
Mitarbeiter	Offenheit zur neuen Technologien; IKT Kompetenzen; Innovationsmotivation; Interdisziplinäre Arbeit; Selbständigkeit; Arbeitsflexibilisierung	3,7
Unternehmensinterne Lenkung und Steuerung	Eignung der Arbeitsgestaltung; Standard Anpassung; Mitarbeiterprivatsphäre; Industrie 4.0 Programme; Informationsmanagement; Weiterbildung; Schutz des geistigen Eigentums	3
Im Unternehmen eingesetzte Technologien	Einsatz von IKT; Autonomie; Flexibilität; Mobile IKT; Sensoren zur Datenerfassung; Embedded Systems; M2M Kommunikation; auto-ID Technologien; Cloud Computing; 3D-Druck	3,2

Die Unternehmensdimensionen Produkte und Kunden wurden im Rahmen der Reifegradbewertung nicht beurteilt, weil sie für den Standort VW-SK im Sinne der Reifegradbestimmung keine Relevanz haben. Dieser kommt als Auftragsfertiger nicht in Kontakt mit dem Kunden (Endabnehmer), sondern fertigt Fahrzeuge für die einzelnen Marken an, wobei hier kein klassisches Hersteller/Käufer-Verhältnis besteht. Auf die Gestaltung der produzierten Produkte nimmt das Unternehmen auch keinen direkten Einfluss, da die Produktentwicklung in Deutschland erfolgt und somit der Reifegrad für Produkte nicht beeinflusst werden kann.

Verwendete Formel zur Reifegradberechnung:

$$M_{Dk} = \frac{\sum_{i=1}^j M_{DkAi} \cdot g_{DkAi}}{\sum_{i=1}^j g_{DkAi}} \quad 1 \leq g \leq 4; 1 \leq M \leq 5$$

Formel 2: Reifegradberechnung mit Gewichtung¹⁶³

M...Reife (bestimmte Reife im Unternehmen)

A...Attribut

D...Dimensionen (9 Unternehmensdimensionen)

g...Gewichtung

¹⁶³ (Schumacher, 2015, S. 91)

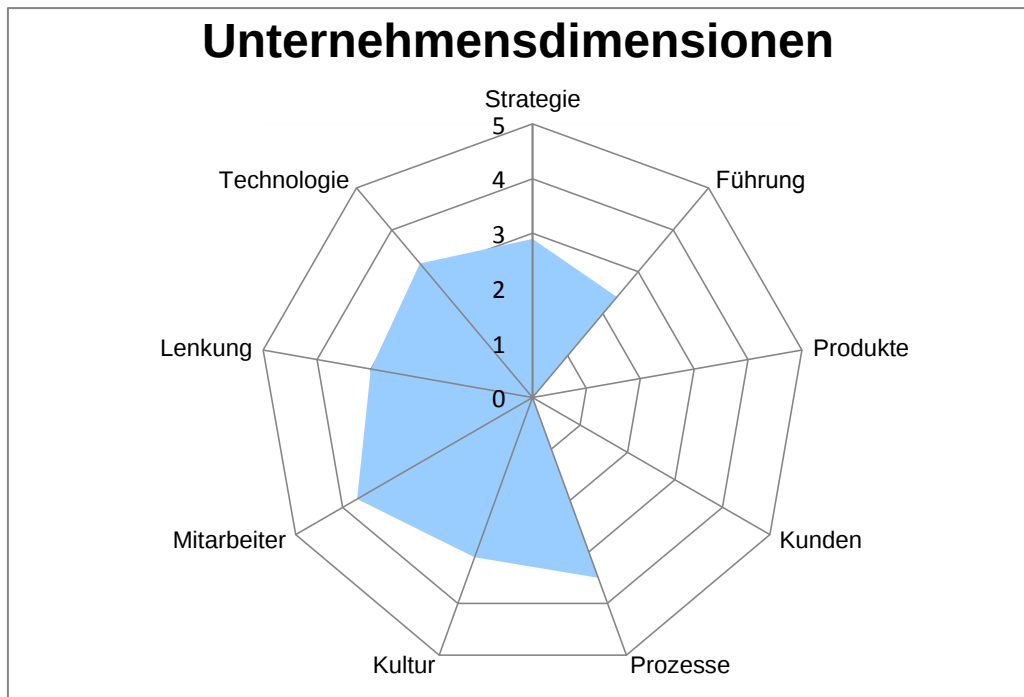


Abbildung 25: Reifegrade der einzelnen Unternehmensdimensionen in VW-SK

Die Ergebnisse der Reifegradbestimmung in *Abbildung 25* zeigen, dass die Dimension Unternehmensführung (2,4) neben der Unternehmensstrategie (2,9) am schwächsten ausgeprägt ist, woraus man schließen kann, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 keiner einheitlichen Strategie unterliegt, welche von der Unternehmensführung angestrebt wird. Als stärkstes wurden Mitarbeiter (3,7) und Unternehmensprozesse (3,5) bewertet, was andeutet, dass trotz fehlender einheitlicher Leitstrategie bereits viele Teile des Unternehmens im Sinne von Industrie 4.0 handeln.

4.4 Pilotierung der Industrie 4.0 Planungsmethode im IT-Bereich von VW Slovakia

Für die Ersterstellung einer Roadmap soll anfangs ein Unternehmensbereich ausgewählt werden (Laube/Abele, 2008). Daher wurde für die Pilotierung der entwickelten Planungsmethode der IT-Bereich des Unternehmens Volkswagen Slovakia ausgewählt, wobei der erste Schritt im ganzen Unternehmen durchgeführt wurde. Im IT-Bereich standen für die weiteren Schritte alle benötigten Ressourcen zur Verfügung. Das vollständige Unternehmen auf einer Roadmap zu betrachten, wäre zu umfangreich oder nur sehr allgemein.

Aufgrund der Sensibilität der verwendeten Daten, wurden diese für das Pilotieren des Vorgehensmodells verallgemeinert. Hinter den einzelnen Projektvorschlägen und Projekten stehen reale Maßnahmen die in VW-SK umgesetzt werden.

4.4.1 Schritt 1: Industrie 4.0 Kick-off für VW Slovakia

Im Unternehmen Volkswagen Slovakia wird Industrie 4.0 als ein Mittel gesehen, um festgelegte Ziele zu erreichen. Ausgehend von der bestehenden Unternehmensstrategie wurden folgende Industrie 4.0 Ziele abgeleitet:

- *Effizienzsteigerung durch Automatisierung*
- *Flexibilitätssteigerung der Produktion*
- *Ergonomische Arbeitsgestaltung*
- *Verbesserte Qualitätssicherung*

Zukünftig sieht sich das Unternehmen in Form einer Smart-Factory als Bestandteil eines Wertschöpfungsnetzwerkes. Grundlage dieses Netzwerks bildet die vertikale Integration innerhalb des Unternehmens und die unternehmensübergreifende horizontale Integration, welche vom Zulieferer bis hin zum Kunden reicht. Weitere Industrie 4.0 Handlungsfelder von VW SK sind in die Produktion eingebettete intelligente Systeme und Cyber-Physische-Systeme, robuste Netzwerke als Grundbaustein und smarte Applikationen und Betriebskonzepte. Ein Übergreifendes Thema ist dabei die IT-Sicherheit, welche in allen Teilen des Unternehmens berücksichtigt werden muss. *Abbildung 26* zeigt die fünf Handlungsfelder, in denen Volkswagen Slovakia die Realisierung von Industrie 4.0 plant.

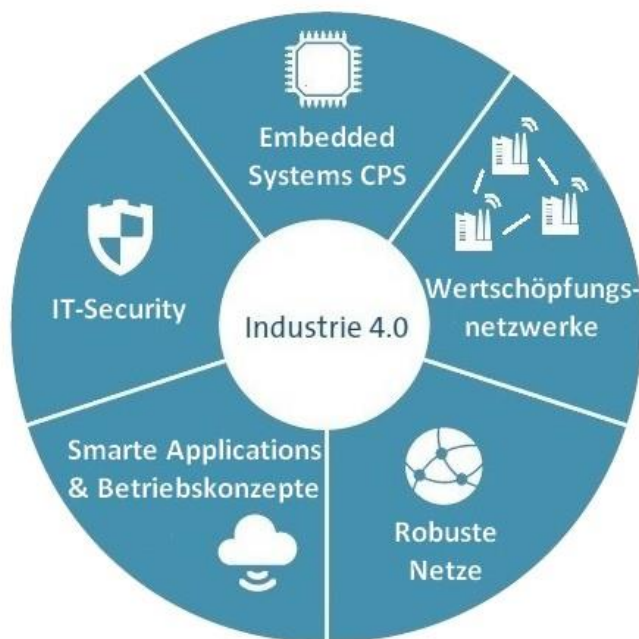


Abbildung 26: Industrie 4.0 Handlungsfelder von VW Slovakia¹⁶⁴

¹⁶⁴ (Bauer u. a., 2014, S. 18)

Die unternehmensinterne Industrie 4.0 Definition basiert auf Studien des externen IT-Verbandes BITKOM.¹⁶⁵

„Schwerpunkt der Industrie 4.0 liegt in der echtzeitfähigen, sicheren, intelligenten, horizontalen und vertikalen Vernetzung von Menschen, Maschinen, Objekten und IKT-Systemen zum dynamischen Management von komplexen Systemen.“

4.4.2 Schritt 2: Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo für VW Slovakia (IT-Bereich)

Ermittlung des Ist-Reifegrades im IT-Bereich von Volkswagen Slovakia erfolgte über persönliche Interviews, die Vorgehensweise wird näher in Kapitel 3.5.4 beschrieben. Es wurden drei Interviewpartner aus dem mittleren und höheren Management eingeladen, wobei alle die Einladung angenommen haben.

Unternehmensdimension	Attribute	Gewichteter Reifegrad (5 max.)
Unternehmensstrategie	Verwendung einer Roadmap; Ressourcenverfügbarkeit; Kommunikation und Dokumentation von Aktivitäten; Geschäftsmodelleignung; Strategie zur digitalen Transformation; Kompatibilität mit Unternehmensstrategie	3
Unternehmensführung	Willigkeit der Unternehmensführung; Managementkompetenzen; zentralen Koordination	3
Produkte		0
Kunden		0
Unternehmensprozesse	Vertikale und horizontale Integration; Digitalisierung, Automatisierung, Dezentralisierung, Standardisierung und Flexibilisierung von Prozessen; Integration externer Stakeholder; Interdisziplinäre Kooperation; Simulationen bei Prozessplanung	3,5
Unternehmenskultur	Einbeziehen von Mitarbeitern; Innovationsambitionen; Offenheit externer Partner; Adaption der Unternehmenskultur; Stellenwert von Informationstechnologien; Wissen sammeln und verwalten; offene Innovation	2,8
Mitarbeiter	Offenheit zur neuen Technologien; IKT Kompetenzen; Innovationsmotivation; Interdisziplinäre Arbeit; Selbständigkeit; Arbeitsflexibilisierung	3,8
Unternehmensinterne Lenkung und Steuerung	Eignung der Arbeitsgestaltung; Standard Anpassung; Mitarbeiterprivatsphäre; Industrie 4.0 Programme; Informationsmanagement; Weiterbildung; Schutz des geistigen Eigentums	2,9
Im Unternehmen eingesetzte Technologien	Einsatz von IKT; Autonomie; Flexibilität; Mobile IKT; Sensoren zur Datenerfassung; Embedded Systems; M2M Kommunikation; auto-ID Technologien; Cloud Computing; 3D-Druck	3

Wie im Falle des ganzen Unternehmens wurden auch im IT-Bereich die Dimensionen Produkte und Kunden weggelassen und daher als 0 bewertet, siehe *Abbildung 27*.

¹⁶⁵ (Bauer u. a., 2014, S. 18)

Verwendete Formel zur Reifegradberechnung:¹⁶⁶

$$M_{Dk} = \frac{\sum_{i=1}^j M_{DkAi} * g_{DkAi}}{\sum_{i=1}^j g_{DkAi}} \quad 1 \leq g \leq 4; 1 \leq M \leq 5$$

M...Reife (bestimmte Reife im Unternehmen)

A...Attribut

D...Dimensionen (9 Unternehmensdimensionen)

g...Gewichtung

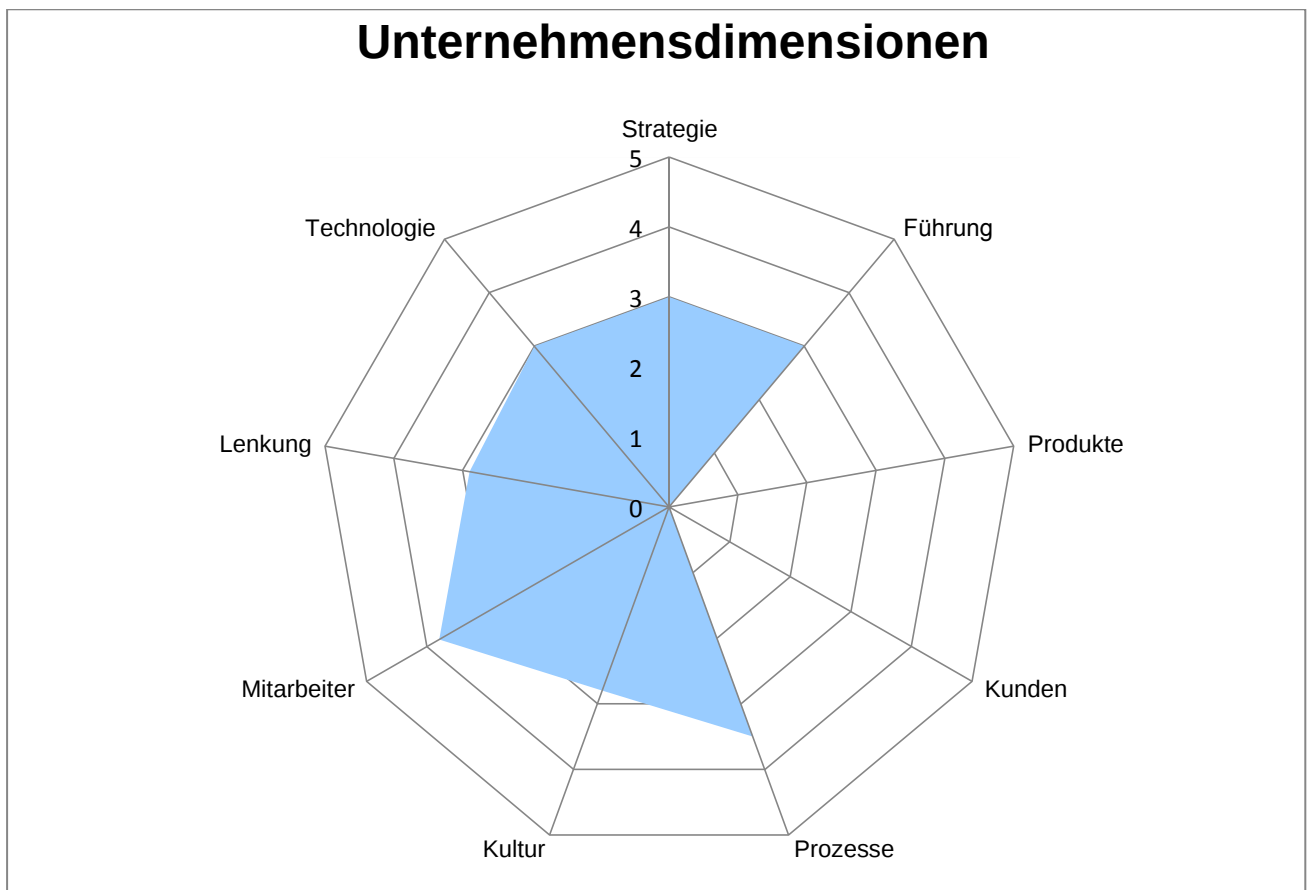


Abbildung 27: Reifegrade der einzelnen Unternehmensdimensionen der des IT-Bereichs in VW-SK

4.4.3 Schritt 3: Entwicklung und Priorisierung von Projektvorschlägen für VW Slovakia (IT-Bereich)

Im zweiten Workshop wurde beschlossen, dass der Reifegrad der Dimensionen Unternehmensführung und Unternehmensstrategie nicht erhöht werden soll, so wurden auch keine Projektvorschläge für diese Dimensionen gemacht. Für die anderen Dimensionen wurden Projektvorschläge zur Erhöhung des Reifegrades gemacht, wobei jeder dieser Vorschläge aus einem Industrie 4.0 Handlungsfeld stammt, siehe *Abbildung 28*.

¹⁶⁶ (Schumacher, 2015, S. 91)

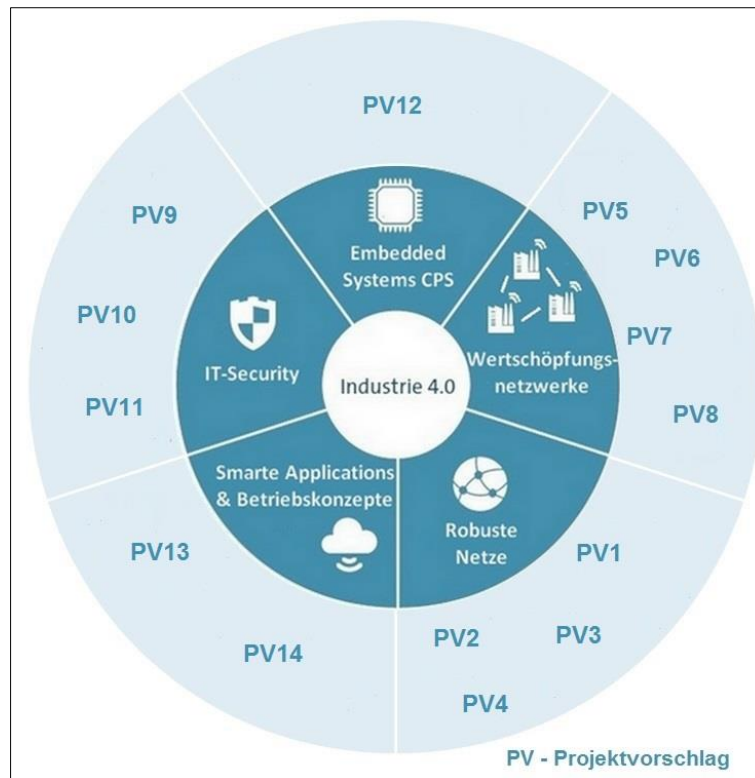


Abbildung 28: Handlungsfeldbezogene Projektvorschläge zur Reifegraderhöhung¹⁶⁷

Im nachfolgenden Schritt wurden die Prioritäten der einzelnen Projektvorschläge über den Hebeleffekt ermittelt. *Abbildung 29* zeigt die Wechselwirkungen der Projektvorschläge, wobei eine Farbe je ein Handlungsfeld repräsentiert. In *Tabelle 9* werden die Projektvorschläge nach ihrer Priorität absteigend sortiert – Vorschläge mit den meisten ausgehenden Wirkungen haben die höchste Priorität. Dies wird nochmals in *Abbildung 30* in einem 2 dimensional Graphen der ein- und ausgehenden Wirkungen veranschaulicht.

¹⁶⁷ (vgl. Bauer u. a., 2014, S. 18)

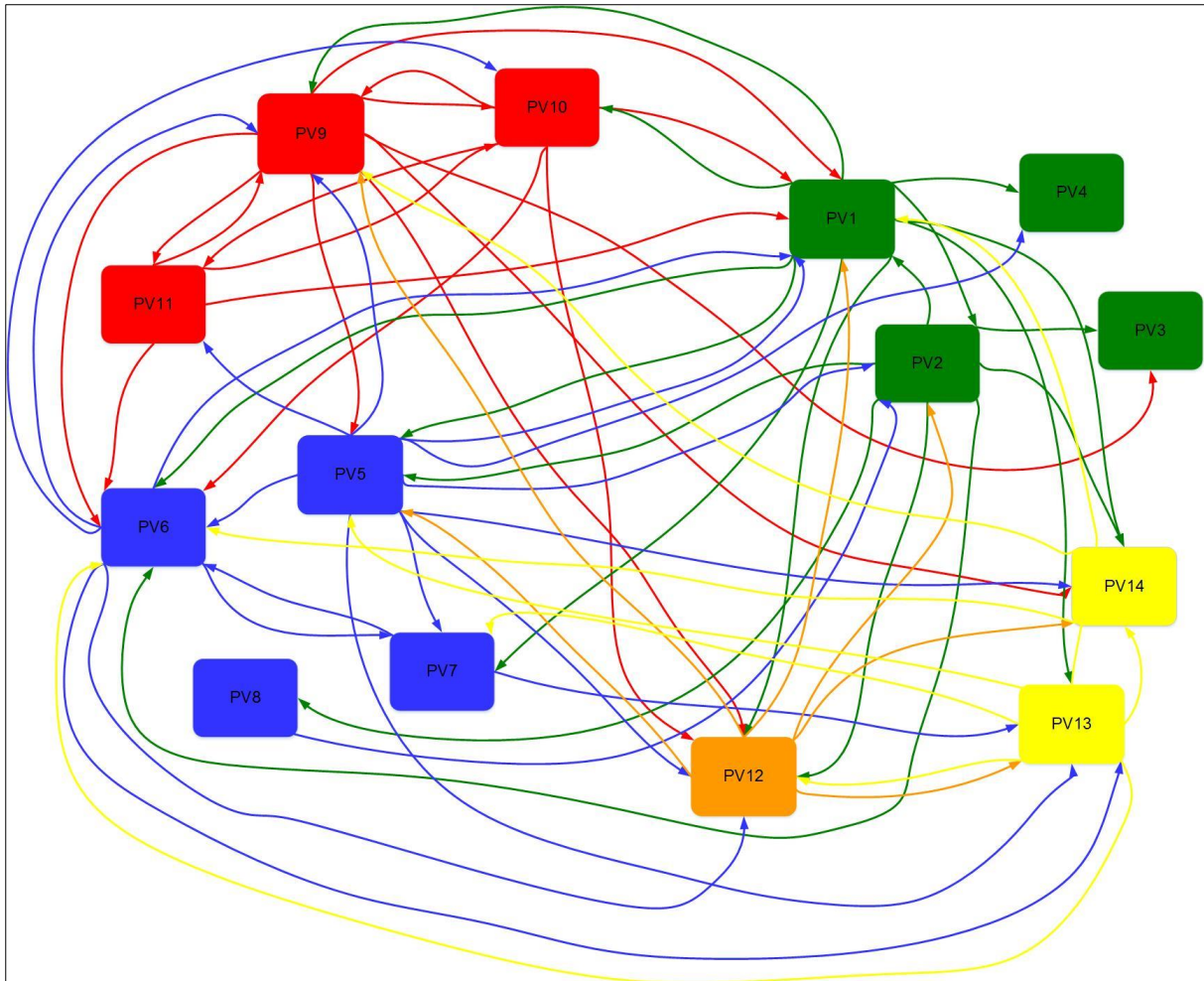


Abbildung 29: Wechselwirkungen der Projektvorschläge

	Handlungsfelder	Projektvorschlag PV	Aus	Ein	Priorität
	Robuste Netzwerke	Projektvorschlag 1	10	8	1
	Wertschöpfungsnetz.	Projektvorschlag 5	10	5	2
	IT-Security	Projektvorschlag 9	8	7	3
	Robuste Netzwerke	Projektvorschlag 2	7	4	4
	Wertschöpfungsnetz.	Projektvorschlag 6	6	8	5
	Embedded Systems	Projektvorschlag 12	6	7	6
	Smarte App	Projektvorschlag 13	6	5	7
	IT-Security	Projektvorschlag 10	5	4	8
	IT-Security	Projektvorschlag 11	4	3	9
	Smarte App	Projektvorschlag 14	2	6	10
	Wertschöpfungsnetz.	Projektvorschlag 7	2	4	11
	Wertschöpfungsnetz.	Projektvorschlag 8	1	1	12
	Robuste Netzwerke	Projektvorschlag 3	0	2	13
	Robuste Netzwerke	Projektvorschlag 4	0	2	14

Tabelle 9: Priorisierung der Projektvorschläge anhand des Hebeleffekts

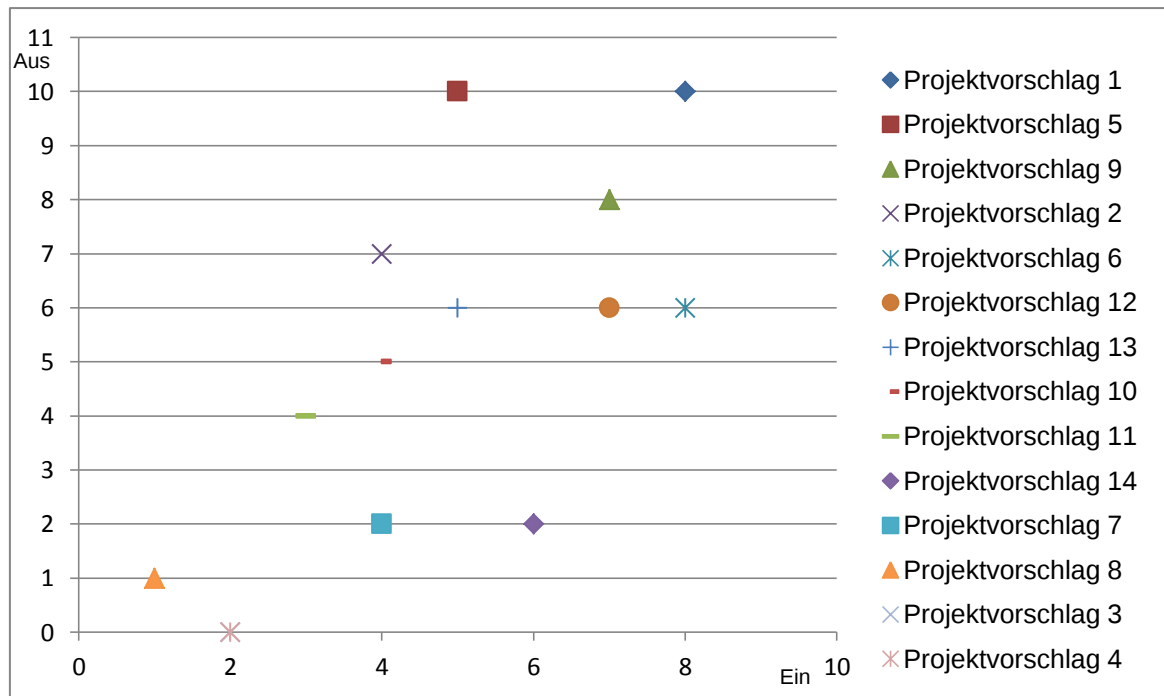


Abbildung 30: Vergleich ein- und ausgehender Wirkungen

Nach der Priorisierung der Projektvorschläge werden diese mittels folgender Schablone genauer beschrieben (als Beispiel der Projektvorschlag 12):

Projektvorschlag 12

Dimension	Im Unternehmen eingesetzte Technologien	
Attribut	M2M Kommunikation	
Situation	Maschinen handeln momentan als unabhängige Einheiten, welche über eine zentrale Schnittstelle kommunizieren und gesteuert werden.	
Risiken	Hohe Komplexität des neuen Systems. Hoher Aufwand mit dem langfristigen Betreiben.	
Lösung	Ausstatten des Maschinenparks mit modernen IKT damit sie selbständig miteinander kommunizieren und selbständig handeln können.	
Bewertung	-Nutzen:	hoch
	-Komplexität:	hoch
	-Kosten:	hoch
	-Umsetzungszeit:	2 Jahre

Anmerkung	Nach Umsetzung von Vorprojekten muss die Projektbewertung (Nutzen, Komplexität, Kosten, Umsetzungszeit) neu beurteilt werden. Es wird eine signifikante Senkung der Komplexität, Kosten und Umsetzungszeit erwartet.
------------------	--

Priorität	6
------------------	---

4.4.4 Schritt 4: Erstellung einer Industrie 4.0 Roadmap für VW Slovakia (IT-Bereich)

Der betrachtete Zeithorizont der Roadmap wurde auf 2 Jahre festgelegt, beginnend mit dem 01.01.2016 und einer Skalierung von einem halben Jahr. Die priorisierten Projektvorschläge wurden als Projekte (nach dem Prinzip Projektvorschlag 1 = Projekt 1) in die Roadmap aufgenommen und ihren Handlungsfeldern zugeordnet. Anhand der ermittelten Prioritäten unter Berücksichtigung der Ressourcenverfügbarkeit und des Kosten/Nutzen-Verhältnisses wurde die Roadmap mit 13 Projekten erstellt, siehe *Abbildung 31*.

Auf die Visualisierung der Wechselwirkungen wurde in dieser Darstellungsform verzichtet. Es ist möglich, diese aus *Abbildung 29* im vorigen Schritt abzulesen. Die Projekte weisen einen hohen Grad an Vernetzung auf, wobei viele parallel zueinander laufen und verstärkend auf andere Projekte wirken. Um das agile Umfeld festzuhalten, muss die Roadmap mit einer Periodizität von einem halben Jahr aktualisiert werden.

Zur Realisierung einer Erfolgskontrolle der Projekte, wird das Reifegradmodell in einem Jahr erneut eingesetzt, da bis zu diesem Zeitpunkt einige Projekte bereits abgeschlossen sind.

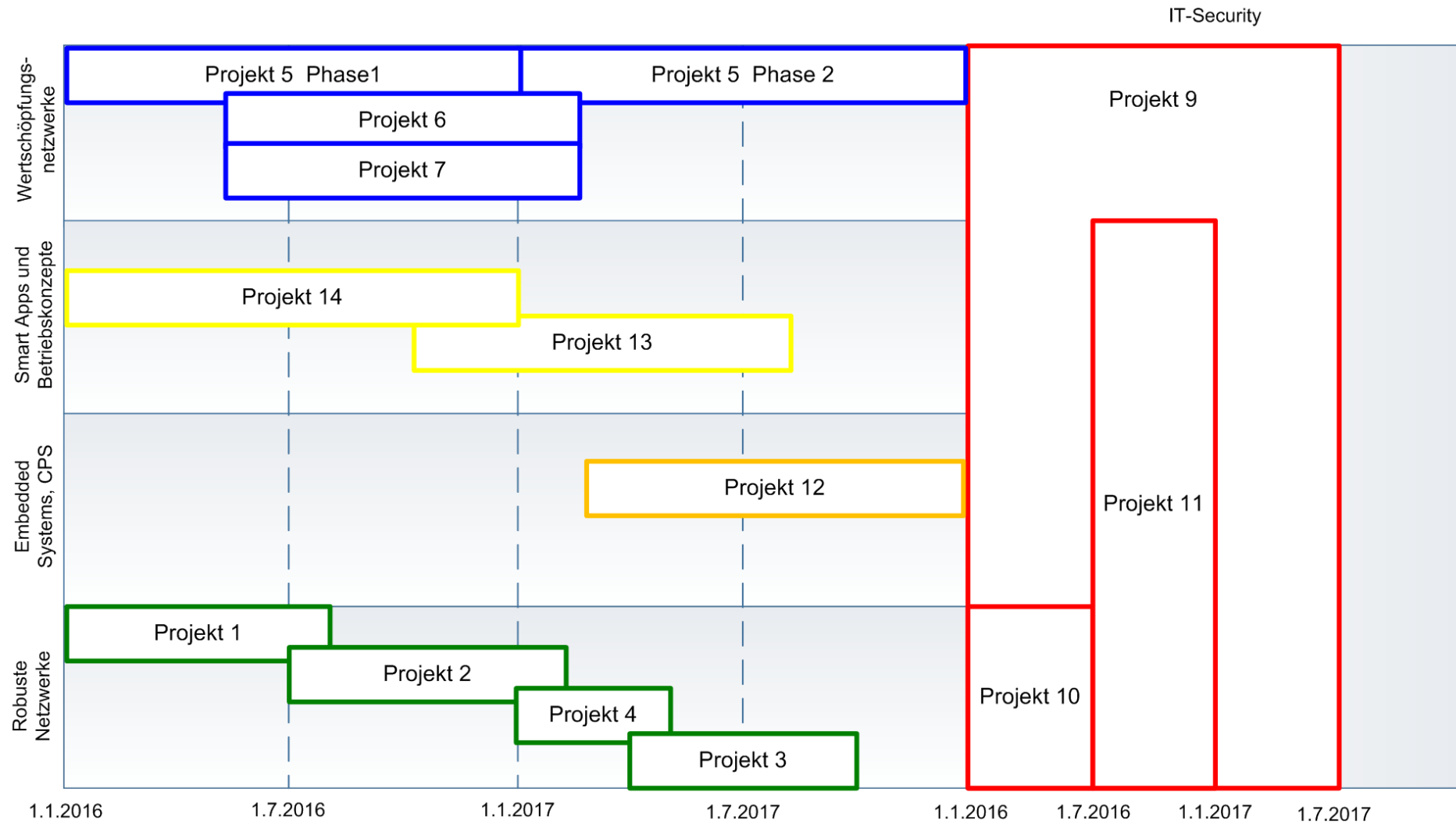


Abbildung 31: Industrie 4.0 Roadmap des IT-Bereiches VW Slovakia

4.5 Diskussion der Ergebnisse aus der Fallstudie

Während der Ermittlung des Industrie 4.0 Reifegrades ist aufgefallen, dass die Bewertung der einzelnen Attribute stark vom individuellen Wissen des Befragten und seiner subjektiven Auslegung des Reifegrades 5 abhängig waren. Die Reifegrade der einzelnen Unternehmensbereiche wiesen eine starke Streuung auf, welche neben dem subjektiven Einfluss der Befragten, eine fehlende allgemeine Industrie 4.0 Strategie und nicht vorhandene gemeinsame Ziele zur Ursache hatten. Der Fokus in Industrie 4.0 liegt bei jedem Unternehmensbereich woanders und so sind die Ausprägungen der Dimensionen des Reifegradmodelles stark bereichsabhängig (z.B. das Thema 3D-Druck ist für die Produktion und Instandhaltung relevant, für den Logistik-Bereich spielt es jedoch keine größere Rolle). Um die Streuung zu verringern, wäre es sinnvoll, vor der Ermittlung des Reifegrades im gesamten Unternehmen ein Kick-off Treffen zu halten, in welchem alle einbezogenen Unternehmensbereiche ihre Industrie 4.0 Aktivitäten präsentieren und einige Use-Cases vorgestellt werden, die den Reifegrad 5 repräsentieren. Am Ende des Kick-off könnte das Reifegradmodell gemeinsam ausgefüllt werden.

Die erworbenen Ergebnisse zeigen, dass im Unternehmen bereits aktiv an der Implementierung von Industrie 4.0 gearbeitet wird, jedoch die erwünschten Soll-Reifegrade noch nicht erreicht sind. Das Reifegradmodell hat daher realistische und repräsentative Ergebnisse geliefert und wurde von den Befragten als geeignet für eine Einstufung im Industrie 4.0 Umfeld bezeichnet.

Die Ermittlung des Hebeleffekts mit der Methodik des *Vernetzten Denkens* zeigen die IT-Projekte, welche ein Grundbaustein von Industrie 4.0 sind, eine vergleichsweise hohe Vernetzung aufweisen und verstärkend aufeinander wirken. Viele dieser Projekte laufen zudem parallel und haben einen kurzen Handlungsstrang (*Sprints* oder kurze Projekte), wodurch ein sehr dynamisches Umfeld entsteht. Um dieses Umfeld zu erfassen, sollten Planungsmethoden wie Roadmapping zukünftig einen agilen Charakter aufweisen, welches die grundlegende Annahme bestätigt (Kapitel 3.3.2). Dies kann durch einen kleineren Planungshorizont und eine verkürzte Periodizität bei der Aktualisierung der Roadmap erzielt werden.

Der Ansatz zur Priorisierung der Projektvorschläge erwies sich als geeignet. Projektvorschläge mit den meisten Wechselwirkungen (Projektvorschläge 1, 5, 9, 2, 6) wurden vom Unternehmen entsprechend ihrer Prioritäten auf der Zeitachse der Roadmap eingeordnet. Neben dem Hebeleffekt müssen jedoch auch Aspekte wie Ressourcenverfügbarkeit und Kosten/Nutzen-Potentiale in Betrachtung genommen werden, welche die Realisierungsreihenfolge beeinflussen können.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ergebnis dieser Diplomarbeit ist eine entwickelte Industrie 4.0 Planungsmethode, welche Unternehmen unterstützt, konkrete Projekte in unternehmensspezifischen Industrie 4.0 Handlungsfeldern zu finden und diese auf einer Roadmap einzuordnen. Die Planungsmethode basiert auf der Kombination der Roadmapping-Methodik und eines Reifegradmodells. Sie wird in den 4 nachfolgenden Schritten durchgeführt:

- **Schritt 1 – Industrie 4.0 Kick-off:** Im ersten Schritt soll ein einheitliches Industrie 4.0 Verständnis innerhalb des Unternehmens geschaffen und unternehmensspezifische Industrie 4.0 Ziele definiert werden, die im Einklang mit der bestehenden Unternehmensstrategie sind. Ausgehend von den Zielen werden Industrie 4.0 Handlungsfelder abgeleitet. Diese bilden zusammen mit den Zielen eine unternehmenseigene Industrie 4.0 Definition.
- **Schritt 2 – Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo:** Durch Einsatz eines Industrie 4.0 Reifegradmodells wird in diesem Schritt der Ist-Zustand von Industrie 4.0 im Unternehmen bestimmt. Dieses dient als Grundlage für das Ableiten konkreter Industrie 4.0 Projektvorschläge.
- **Schritt 3 – Entwicklung und Priorisierung von Projektvorschlägen:** Mittels qualitativer Bewertung der Ergebnisse aus Schritt 2 wird bestimmt, in welchen Unternehmensdimensionen des Reifegradmodelles eine Reifegraderhöhung stattfinden soll. Anschließend werden Projektvorschläge zur Erhöhung des Reifegrades generiert und priorisiert, wobei diese je aus einem der unternehmensspezifischen Industrie 4.0 Handlungsfelder stammen.
- **Schritt 4 – Erstellung einer Industrie 4.0 Roadmap:** Die in Schritt 3 gefundenen Projektvorschläge werden nun selektiert und Ebenen einer Roadmap zugeordnet und ihre Zusammenhänge graphisch dargestellt.

Für die Entwicklung der Planungsmethode wurde zu Beginn eine systematische Literaturrecherche zum Thema „Roadmapping“ durchgeführt. Ziel der Recherche war es, den aktuellen Stand der Literatur zu analysieren und bestehende Roadmapping-Verfahren zu identifizieren. Die Befunde wurden anschließend auf ihre Anwendbarkeit für Industrie 4.0 geprüft und ein geeignetes Verfahren wurde abgeleitet. Für die Recherche wurden die Onlinere Ressourcen ScienceDirect, Google Scholar und die Onlinebibliothek der TU-Wien herangezogen. Nach Anwendung primärer Auswahlkrite-

rien (Zeitraumen der Publikation, Sprache, Schlüsselwörter usw.) wurden rund 4000 relevante Suchergebnisse identifiziert, woraus sich unter Beachtung der sekundären Auswahlkriterien (Zusammenhang mit Themengebiet, Qualität der Publikation usw.) nur 60 Publikationen als geeignet erwies, die grundlegenden Forschungsfragen zu beantworten. Nach einschränken der Suchergebnisse (Publikationszeit, Kombination mit anderen Planungsmethode usw.), wurden mit der Literaturrecherche fünf Roadmapping-Verfahren identifiziert, wobei keines speziell für Industrie 4.0 ausgelegt ist. Diese wurden anhand von fünf Merkmalen (Darstellung der RM, Schwerpunkt des Ansatzes, unterstützte Managementfunktionen, Visualisierungsart und Vernetzung von Produkt- und Produktionstechnologien), welche in einer Studie als charakteristisch identifiziert wurden, verglichen:

- **Eversheim u.a. (1993)** – Technologiekalender, 2-Layer-Roadmap mit Meilensteinen, Ansatzschwerpunkte: Produkt/Produktion/Technologie, unterstützte Managementfunktionen, geringe Vernetzung Produkt- und Produktionstechnologie, statische Visualisierung
- **EIRMA (1998)** – Technology Roadmap, 4-Layer-Roadmap mit Meilensteinen, Ansatzschwerpunkte: Markt/Produkt/Technologie, keine unterstützte Managementfunktionen, teilweise Vernetzung Produkt- und Produktionstechnologie, statische Visualisierung
- **Specht/Behrens (2000)** – Technology Roadmap (T-Plan), 1-Layer-Roadmap mit Meilensteinen, Ansatzschwerpunkte: Produkt/Technologie, unterstützte Managementfunktionen, teilweise Vernetzung Produkt- und Produktionstechnologie, statische Visualisierung
- **Laube/Abele (2002)** – Technology Roadmap, n-Layer-Roadmap mit Meilensteinen/Projekten, Ansatzschwerpunkte: Produkt/Produktion/Technologie/ Projekte/Strategie, unterstützte Managementfunktionen, starke Vernetzung Produkt- und Produktionstechnologie, dynamische Visualisierung
- **Phaal/Farrukh (2004)** – Technology Roadmap, 3-Layer-Roadmap mit Meilensteinen/Projekten, Ansatzschwerpunkte: Markt/Produkt/Technologie, keine unterstützte Managementfunktionen, teilweise Vernetzung Produkt- und Produktionstechnologie, statische Visualisierung

Aus der Analyse der Ergebnisse ergab sich, dass das Verfahren von Laube/Abele als Grundlage für eine Industrie 4.0 Roadmap das geeignetste ist. Unter Berücksichtigung der Eigenschaften von Industrie 4.0 wurde ein Roadmap-Verfahren mit folgenden Merkmalen abgeleitet:

- **Darstellung:** Multi-Layer-Roadmap mit n-Layern je nach Bedarf anpassbar. Meilensteine als Ergebnisse von Projekten/Sprints.
- **Schwerpunkt:** Markt, Produkte, Prozesse, Technologie
- **Unterstützte Managementfunktionen:** Ja

- **Vernetzung mit anderen Unternehmensbereichen:** Zusammenarbeit zwischen IT und anderen Unternehmensbereichen
- **Visualisierungsart:** Dynamisch

Der Erstellungsprozess der Roadmap baut auf die ersten drei Phasen der entwickelten Planungsmethode auf und erfolgt in drei Schritten.

Letztendlich wurde die Planungsmethode innerhalb einer Fallstudie im Unternehmen Volkswagen Slovakia pilotiert. Das produzierende Unternehmen ist in der Automobilbranche tätig, in welcher es sich aktiv mit dem Thema Industrie 4.0 befasst. Aufgrund der Ressourcenverfügbarkeit und der Unternehmensgröße (rund 10.000 Arbeitnehmer) wurde die Pilotierung auf den IT-Bereich des Unternehmens beschränkt. Die Datenerhebung erfolgte über persönliche Interviews und innerhalb von Workshops mit folgendem Ergebnis:

- **Schritt 1 – Industrie 4.0 Kick-off:** Vier identifizierte Industrie 4.0 Ziele (Effizienzsteigerung durch Automatisierung, Flexibilitätssteigerung der Produktion, ergonomische Arbeitsgestaltung, verbesserte Qualitätssicherung), die durch Projekte in den unternehmensspezifischen Industrie 4.0 Handlungsfeldern (Wertschöpfungsnetzwerk, robuste Netze, smarte Applikationen und Betriebskonzepte, IT-Security, Embedded Systems) erreicht werden sollen.
- **Schritt 2 – Reifegradbasierter Industrie 4.0 Status-quo:** Der Ist-Reifegrad wurde mittels persönlicher Interviews mit 3 Interviewpartnern ermittelt. Es zeigt, dass das Unternehmen bereits aktiv an der Umsetzung von Industrie 4.0 arbeitet, jedoch noch Wachstumspotential in den einzelnen Dimensionen aufweist. Der höchste Reifegrad wurde in der Unternehmensdimension Mitarbeiter (3,8) erzielt, der niedrigste in der Unternehmenskultur (2,8).
- **Schritt 3 – Entwicklung und Priorisierung von Projektvorschlägen:** Nach qualitativer Bewertung der Reifegradergebnisse wurde beschlossen, Projektvorschläge zur Reifegraderhöhung aller Dimensionen außer in Unternehmensführung und –strategie zu generieren. Zusammen wurden 14 Projektvorschläge aus den Industrie 4.0 Handlungsfeldern generiert und über den Hebeleffekt priorisiert.
- **Schritt 4 – Erstellung einer Industrie 4.0 Roadmap:** 13 Projektvorschläge wurden selektiert und Ebenen der Roadmap zugeordnet, welche mit den Handlungsfeldern aus Schritt 1 übereinstimmen. Diese betrachtet einen Zeithorizont von 2 Jahren und wird mit einer Periodizität von einem halben Jahr aktualisiert.

Die erste Pilotierung der Planungsmethode kann als erfolgreich gesehen werden und die Annahmen, dass Industrie 4.0 Planungsmethoden einen agilen Charakter aufweisen müssen, wurden bestätigt.

5.2 Ausblick

Aus methodischer Sicht erweist sich die Kombination eines Reifegradmodelles mit der Roadmapping-Technik als kompatibel und praxisgeeignet. Ein Reifegradmodell liefert einen guten Überblick des Ist-Standes und stellt ein objektives Mittel zur Erfolgsmessung dar. In dieser Arbeit wurde das Industrie 4.0 Reifegradmodell I40MM eingesetzt, welches sehr breit gestellt ist und einen allgemeinen Charakter aufweist. Es kann daher branchenunabhängig in unterschiedlich aufgebauten Unternehmen eingesetzt werden. Dieses Reifegradmodell als Basis für eine unternehmensspezifische Roadmap zu verwenden, erwies sich als schwierig. Es wäre daher sinnvoll, das entwickelte Vorgehensmodell weiterzuentwickeln und die beiden Modelle aneinander anzupassen. Dies könnte über einen Abgleich der Dimensionen des Reifegradmodells mit den Ebenen der Roadmap erfolgen oder den Fokus des Reifegradmodells von Allgemein auf eine Dimension einzuschränken. Dies hätte zur Folge, dass Reifegrade präziser und mit weniger Aufwand erhöht und kontrolliert werden können.

Es zeigte sich, dass die Annahme, dass Planungsmethoden für Industrie 4.0 an Agilität gewinnen müssen, bestätigt wurde. Projekte werden zukünftig durch Informations- und Kommunikationstechnologien stark miteinander vernetzt und wirken verstärkend auf sich ein. Wird dies mit kürzeren Projektläufen kombiniert, entsteht eine hohe Dynamik. So entsteht die Frage, ob solch ein Umfeld durch eine agile Planung mit kurzen Zeithorizonten erfasst werden kann oder zukünftig vollkommen neue Planungstechniken entwickelt werden müssen, die den Anforderungen von Industrie 4.0 gewachsen sind. Eine Inspiration für neue Vorgehensweisen bei der strategischen Ausrichtung von Unternehmen könnten dabei erfolgreiche IT-Unternehmen sein. Diese existieren in einem agilen und disruptiven Umfeld und passen sich kontinuierlich an. Diese Denkweise in die Industrie zu bringen, könnte das Handhaben von Industrie 4.0 grundsätzlich erleichtern.

6 Anhang

6.1 Industrie 4.0 Reifegradmodell von Schumacher

Fragebogen zur Ersterhebung

Ansprechpartner:

Andreas Schumacher

+43 (0) 676 888 616 35

andreas.schumacher@tuwien.ac.at

Industrie 4.0: Bewertung des Unternehmensreifegrades

Einleitung

Willkommen zur Ersterhebung des Industrie 4.0 – Reifegrades Ihres Unternehmens,

Was ist das Ziel dieses Fragebogens? Ziel ist es, in einer ersten Erhebung Kriterien in Ihrem Unternehmen zu beleuchten, welche für eine erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0 wichtig sind. Damit sollen grundlegende Erkenntnisse über die Industrie 4.0-Reife Ihres Unternehmens gewonnen und die Basis für weitere Schritte zur Erhöhung der Reife geschaffen werden.

Wer sollte den Fragebogen beantworten? Der folgende Fragebogen soll von Mitarbeitern mit umfassenden Einblick in die Unternehmensaktivitäten beantwortet werden. Grundlegende Kenntnisse über die Konzepte, Begrifflichkeiten und Potentiale der Industrie 4.0 sind bei der Einschätzung des eigenen Unternehmens von Vorteil.

Wie ist der Fragebogen aufgebaut? Der Fragebogen besteht aus 9 Themenbereichen (=Unternehmensdimensionen) mit zugeordneten Fragen, welche eine Skalen-Bewertung von 1 – 5 erfordern.

Beispiel:

Themengebiet 1: Unternehmensstrategie; **Frage 1.1:** Inwieweit ist eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 in Ihrem Unternehmen implementiert?

Ausprägung 1: Eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 ist **nicht implementiert**

Ausprägung 5: Eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 ist **sehr umfassend implementiert**

Antwort durch Setzen eines entsprechenden Kreuzes bei den Antwortkästchen der jeweiligen Frage.

Allgemeine Fragen zum Unternehmen / zur Institution:

1.	Welche Funktion üben Sie im Unternehmen aus?	☐ Geschäftsführer	☐ Mittleres Management	☐ Produktionsleiter		
		☐ Meister	☐ Betriebsrat	☐ andere: _____		
2.	In welcher Branche ist Ihr Unternehmen tätig?	☐ Maschinen-/Anlagenbau	☐ Chemische Industrie	☐ Lebensmittel Industrie		
		☐ Fahrzeugbau	☐ Konsumgüter	☐ Elektronik		
		☐ Medizintechnik	☐ Energietechnik	☐ andere: _____		
3.	Mitarbeiter in Ihrem Standort im Jahr 2014?	☐ 1 – 50	☐ 51 - 250	☐ 251 - 1000	☐ 1001 – 5000	☐ > 5000
4.	Was macht den Großteil der Unternehmens-tätigkeit aus?	☐ Service und Dienstleistungen	☐ Herstellung Endkundenprodukte	☐ Herstellung Industrie-produkte	☐ Zulieferer von Halbzeugen	☐ Zulieferer von Fertig-erzeugnissen

1. Unternehmensstrategie in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.			1	2	3	4	5
1.1	Inwieweit ist eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 in Ihrem Unternehmen implementiert?	1 - 5 (Nicht implementiert – Sehr umfassend implementiert)	☐	☐	☐	☐	☐
1.2	Sind in Ihrem Unternehmen Ressourcen konkret für die Realisierung von Industrie 4.0 vorgesehen?	1 - 5 (Nicht vorgesehen – Sehr viele vorgesehen)	☐	☐	☐	☐	☐
1.3	Werden die Aktivitäten Ihres Unternehmens im Bereich Industrie 4.0 bewusst intern und extern kommuniziert?	1 - 5 (Nicht kommuniziert – Sehr umfassend kommuniziert)	☐	☐	☐	☐	☐
1.4	Berücksichtigt Ihr derzeitiges Geschäftsmodell bereits Aspekte der Industrie 4.0?	1 - 5 (Nicht berücksichtigt – Sehr umfassend berücksichtigt)	☐	☐	☐	☐	☐
1.5	Wird in Ihrem Unternehmen eine Strategie verfolgt, um den Digitalisierungsgrad Ihres Unternehmens zu erhöhen?	1 - 5 (Nicht verfolgt – Sehr entschlossen verfolgt)	☐	☐	☐	☐	☐
1.6	Empfinden Sie, dass die Philosophie Ihres Unternehmens kompatibel mit den Leitgedanken Industrie 4.0 ist? (Vernetzung, Digitalisierung, Flexibilisierung und Individualisierung der Geschäftspraktiken)	1 - 5 (Nicht vereinbar – Sehr gut vereinbar)	☐	☐	☐	☐	☐

2. Unternehmensführung in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.			1	2	3	4	5
2.1	Wird die Umsetzung von Industrie 4.0 von der gesamten Führungsebene Ihres Unternehmens aktiv unterstützt und gefördert?	1 - 5 (Nicht gestützt – Sehr umfassend gestützt)	☐	☐	☐	☐	☐
2.2	Halten Sie die existierenden Kompetenzen der Führungsebene Ihres Unternehmens für geeignet für die Umsetzung von Industrie 4.0?	1 - 5 (Nicht geeignet – Sehr gut geeignet)	☐	☐	☐	☐	☐
2.3	Inwieweit existiert in Ihrem Unternehmen eine Koordinationsstelle für die Planung, Koordination und Steuerung der Industrie 4.0-Aktivitäten?	1 - 5 (Keine klare Koordination – Sehr klare Koordination)	☐	☐	☐	☐	☐

3. Produkte in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.			1	2	3	4	5
3.1	Besteht die Möglichkeit Ihre Produkte untereinander (intern) bzw. mit Systemen anderer Hersteller (extern) zu vernetzen?	1 - 5 (Nicht vernetzbar – Sehr einfach vernetzbar)	☐	☐	☐	☐	☐
3.2	Besteht die Möglichkeit Ihre Produkte auf Kundenwunsch zu individualisieren?	1 - 5 (Nicht individualisierbar – Sehr gut individualisierbar)	☐	☐	☐	☐	☐
3.3	Werden elektronische Computer in Ihre Produkte integriert, um diese zu digitalisieren (Embedded Systems)?	1 - 5 (Nicht vorhanden – Sehr umfassend vorhanden)	☐	☐	☐	☐	☐
3.4	Sind Ihre Produkte darauf ausgelegt Aufgaben autonom zu erfüllen?	1 - 5 (Nicht autonom – Sehr autonom)	☐	☐	☐	☐	☐
3.5	Beinhalten Ihre Produkte digitale Komponenten zur Erzeugung bzw. Verarbeitung von Daten?	1 - 5 (Nicht vorhanden – Sehr umfassend vorhanden)	☐	☐	☐	☐	☐
3.6	Lassen sich die Charakteristika Ihrer Produkte nach dem Verkauf verändern bzw. vom Unternehmen weitere Funktionen freischalten?	1 - 5 (Nicht veränderbar – Sehr gut veränderbar)	☐	☐	☐	☐	☐

4. Unternehmenskunden in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.		1	2	3	4	5
4.1	Ist Ihre Kundenzielgruppe offen gegenüber neuen Technologien?	1 – 5 (Nicht offen – Sehr offen)		☐	☐	☐
4.2	Hat Ihre Kundenzielgruppe hohe Kompetenzen im Umgang mit digitalen Medien?	1 – 5 (Keine Kompetenz – Sehr hohe Kompetenz)		☐	☐	☐
4.3	Binden Sie Ihre Kunden stark in Ihr Unternehmen ein?	1 – 5 (Nicht eingebunden – Sehr stark eingebunden)		☐	☐	☐
4.4	Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen gesammelte Daten über Ihre Kunden und deren Verhalten?	1 – 5 (Nicht genutzt – Sehr umfassend genutzt)		☐	☐	☐
4.5	Inwieweit wickeln Sie den Kunden-Kontakt Ihres Unternehmens über das Internet ab?	1 – 5 (Nicht über das Internet – Sehr stark über das Internet)		☐	☐	☐

5. Unternehmensprozesse in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.		1	2	3	4	5
5.1	Sind die internen Wertschöpfungsprozesse in Ihrem Unternehmen stark integriert bzw. miteinander vernetzt?	1 – 5 (Nicht integriert/vernetzt – Sehr stark integriert/vernetzt)		☐	☐	☐
5.2	Ist die Planung, Ausführung und Steuerung der Wertschöpfungsprozesse Ihres Unternehmens automatisiert bzw. digitalisiert?	1 – 5 (Nicht automatisiert/digitalisiert – Vollständig automatisiert/digitalisiert)		☐	☐	☐
5.3	Sind die horizontalen und vertikalen Informationsprozesse in Ihrem Unternehmen stark automatisiert, digitalisiert und miteinander vernetzt?	1 – 5 (Nicht automatisiert/digitalisiert/vernetzt – Sehr stark automatisiert/digitalisiert/vernetzt)		☐	☐	☐
5.4	Fördert Ihre Unternehmensorganisation und -Struktur dezentrale Wertschöpfung?	1 – 5 (Nicht gefördert – Sehr stark gefördert)		☐	☐	☐
5.5	Weisen die Wertschöpfungsprozesse Ihres Unternehmens ein hohes Maß an Standardisierung auf?	1 – 5 (Nicht standardisiert – Sehr stark standardisiert)		☐	☐	☐
5.6	Lassen sich die Wertschöpfungsprozesse Ihres Unternehmens schnell und einfach auf veränderte Anforderungen anpassen (Flexibilität)?	1 – 5 (Nicht flexibel – Sehr flexibel)		☐	☐	☐
5.7	Werden externe Unternehmenspartner direkt in die Wertschöpfungs- und Informationsprozesse Ihres Unternehmens integriert?	1 – 5 (Nicht integriert – Sehr stark integriert)		☐	☐	☐
5.8	Arbeiten die Abteilungen und Teams Ihres Unternehmens abteilungsübergreifend und interdisziplinär zusammen?	1 – 5 (Keine Zusammenarbeit – Sehr enge Zusammenarbeit)		☐	☐	☐
5.9	Wird digitale Simulation zur Prozessgestaltung und Prozessplanung in Ihrem Unternehmen eingesetzt?	1 – 5 (Nicht eingesetzt – Sehr umfassend eingesetzt)		☐	☐	☐

6. Unternehmenskultur in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.		1	2	3	4	5
6.1	Werden die Mitarbeiter Ihres Unternehmens stark in stattfindende interne Veränderungsprozesse eingebunden?	1 – 5 (Nicht eingebunden – Sehr stark eingebunden)		☐	☐	☐
6.2	Agiert Ihr Unternehmen in der betreffenden Branche als Innovationstreiber?	1 – 5 (Keine Ambitionen – Sehr große Ambitionen)		☐	☐	☐
6.3	Empfinden Sie, dass die externen Partner Ihres Unternehmens offen gegenüber Innovation und Veränderung sind?	1 – 5 (Nicht offen – Sehr offen)		☐	☐	☐
6.4	Empfinden Sie, dass die derzeit gelebte Unternehmenskultur vereinbar mit Industrie 4.0 ist?	1 – 5 (Nicht vereinbar – Sehr gut vereinbar)		☐	☐	☐
6.5	Empfinden Sie, dass Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) einen vergleichsweise hohen Stellenwert in Ihrem Unternehmen besitzen?	1 – 5 (Sehr niedriger Stellenwert – Sehr hoher Stellenwert)		☐	☐	☐
6.6	Folgt die Sammlung, Verwaltung und Verteilung von erworbenem Wissen in Ihrem Unternehmen einer klaren Strategie?	1 – 5 (Keine Strategie – Sehr klare Strategie)		☐	☐	☐
6.7	Engagiert sich Ihr Unternehmen stark bei der unternehmensübergreifenden und offenen Entwicklung von neuen Produkten und Services (open Innovation)?	1 – 5 (Kein Engagement – Sehr starkes Engagement)		☐	☐	☐

7. Mitarbeiter in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.			1	2	3	4	5
7.1	Sind Ihre Mitarbeiter offen gegenüber neuen Technologien?	1 – 5 (Nicht offen – Sehr offen)	☐	☐	☐	☐	☐
7.2	Haben Ihre Mitarbeiter hohe Kompetenzen im Umgang mit modernen Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bzw. digitalen Medien?	1 – 5 (Keine Kompetenzen – Sehr hohe Kompetenzen)	☐	☐	☐	☐	☐
7.3	Bringen Ihre Mitarbeiter eigene Ideen in das Unternehmen ein?	1 – 5 (Keine Ideen – Sehr viele Ideen)	☐	☐	☐	☐	☐
7.4	Haben Ihre Mitarbeiter viel Erfahrung in interdisziplinärer bzw. abteilungsübergreifender Zusammenarbeit?	1 – 5 (Keine Erfahrung – Sehr viel Erfahrung)	☐	☐	☐	☐	☐
7.5	Erfüllen Ihre Mitarbeiter deren Aufgaben mit hoher Eigenständigkeit?	1 – 5 (Nicht eigenständig – Sehr eigenständig)	☐	☐	☐	☐	☐
7.6	Schätzen Sie, dass die Mitarbeiter Ihres Unternehmens bereit sind deren Arbeitsbedingungen zu flexibilisieren, um den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden?	1 – 5 (Keine Bereitschaft – Sehr hohe Bereitschaft)	☐	☐	☐	☐	☐

8. Unternehmensinterne Lenkung und Steuerung in Bezug auf Industrie 4.0

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.			1	2	3	4	5
8.1	Sind Aspekte wie Arbeitszeit, Arbeitsinhalt oder Erfüllungsort der Arbeit in Ihrem Unternehmen flexibel regelbar?	1 – 5 (Nicht flexibel – Sehr flexibel)	☐	☐	☐	☐	☐
8.2	Lassen sich die implementierten Standards Ihres Unternehmens einfach und schnell an veränderte externe Anforderungen anpassen (Flexibilität)?	1 – 5 (Nicht flexibel – Sehr flexibel)	☐	☐	☐	☐	☐
8.3	Sind die derzeitigen technologischen Standards Ihres Unternehmens geeignet, um den technologischen Anforderungen der Industrie 4.0 zu genügen?	1 – 5 (Nicht geeignet – Sehr gut geeignet)	☐	☐	☐	☐	☐
8.4	Verfolgen Sie in Ihrem Unternehmen eine Strategie zum Schutz sensibler Daten bzw. zum Schutz der Privatsphäre Ihrer Mitarbeiter und Kunden?	1 – 5 (Keine Strategie – Sehr klare Strategie)	☐	☐	☐	☐	☐
8.5	Verfolgt Ihr Unternehmen Programme um Industrie 4.0 vorzustellen, zu realisieren und zu verbreiten?	1 – 5 (Keine Programme – Sehr umfassende Programme)	☐	☐	☐	☐	☐
8.6	Existieren in Ihrem Unternehmen Standards zur Sicherung und Weitergabe von Wissen (Knowledge Management)?	1 – 5 (Keine Standards – Sehr umfassende Standards)	☐	☐	☐	☐	☐
8.7	Bietet Ihr Unternehmen Aus- und Weiterbildungsprogramme für Mitarbeiter zur Erhöhung der Industrie 4.0-Kompetenzen?	1 – 5 (Keine Programme – Sehr umfassende Programme)	☐	☐	☐	☐	☐
8.8	Sind die derzeitigen Standards Ihres Unternehmens zum Schutz Ihres Geistigen Eigentums geeignet für Industrie 4.0?	1 – 5 (Nicht geeignet – Sehr gut geeignet)	☐	☐	☐	☐	☐

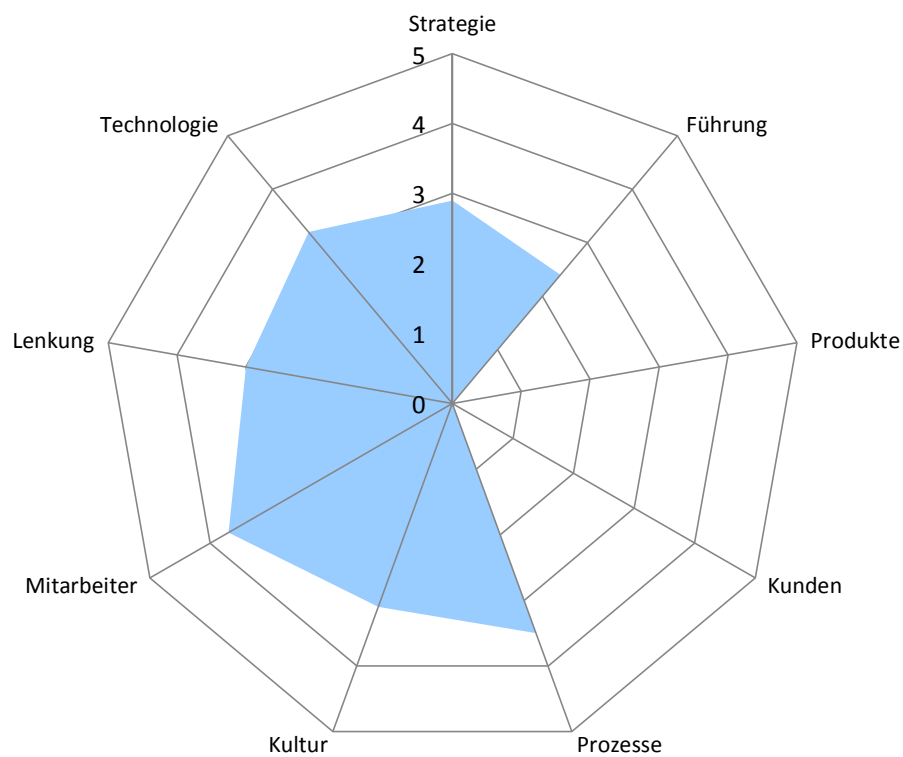
9. Im Unternehmen eingesetzte Technologien in Bezug auf Industrie 4.

Bitte geben Sie Ihre Bewertungen (1 - 5) zu den nachfolgenden Fragen an.			1	2	3	4	5
9.1	Sind in Ihrem Unternehmen vergleichsweise moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) implementiert?	1 – 5 (Nicht implementiert – Sehr umfassend implementiert)	☐	☐	☐	☐	☐
9.2	Agieren und Reagieren die Produktionsmaschinen Ihres Unternehmens autonom?	1 – 5 (Nicht autonom – Sehr autonom)	☐	☐	☐	☐	☐
9.3	Wie schnell und einfach kann der Maschinenpark Ihres Unternehmens auf veränderte Produktionsanforderungen angepasst werden (Flexibilität)?	1 – 5 (Nicht flexibel – Sehr flexibel)	☐	☐	☐	☐	☐
9.4	Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen mobile Informations- und Kommunikationstechnologien?	1 – 5 (Nicht im Einsatz – Sehr umfassend eingesetzt)	☐	☐	☐	☐	☐
9.5	Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen Sensorik zur Generierung von Echtzeit-Daten über Betriebszustände?	1 – 5 (Nicht im Einsatz – Sehr umfassend eingesetzt)	☐	☐	☐	☐	☐
9.6	Sind elektronische Computer in Ihre Produktionsmaschinen integriert (Embedded Systems)?	1 – 5 (Nicht vorhanden – Sehr umfassend vorhanden)	☐	☐	☐	☐	☐
9.7	Sind die Produktionsmaschinen Ihres Unternehmens in der Lage selbstständig Informationen miteinander auszutauschen bzw. zu kollaborieren (M2M)?	1 – 5 (Nicht in der Lage – Sehr gut in der Lage)	☐	☐	☐	☐	☐
9.8	Werden in Ihrer Produktion Auto-ID-Technologien (z.B. RFID) zur automatisierten Echtzeit-Identifikation von Objekten genutzt?	1 – 5 (Nicht im Einsatz – Sehr umfassend eingesetzt)	☐	☐	☐	☐	☐
9.9	Inwieweit Nutzen Sie Cloud Services in Ihrem Unternehmen?	1 – 5 (Nicht im Einsatz – Sehr umfassend eingesetzt)	☐	☐	☐	☐	☐
9.10	Inwieweit wird generative Fertigung (z.B. 3D-Druck) in Ihrem Unternehmen eingesetzt?	1 – 5 (Nicht im Einsatz – Sehr umfassend eingesetzt)	☐	☐	☐	☐	☐

6.2 Ausführliche Ergebnisse der Reifegradbestimmung von VW-Slovakia

Unternehmensdimension	Gewichteter Reifegrad (5 max.)
Unternehmensstrategie	2,9
Unternehmensführung	2,4
Produkte	0
Kunden	0
Unternehmensprozesse	3,5
Unternehmenskultur	3,1
Mitarbeiter	3,7
Unternehmensinterne Lenkung und Steuerung	3
Im Unternehmen eingesetzte Technologien	3,2

Unternehmensdimensionen

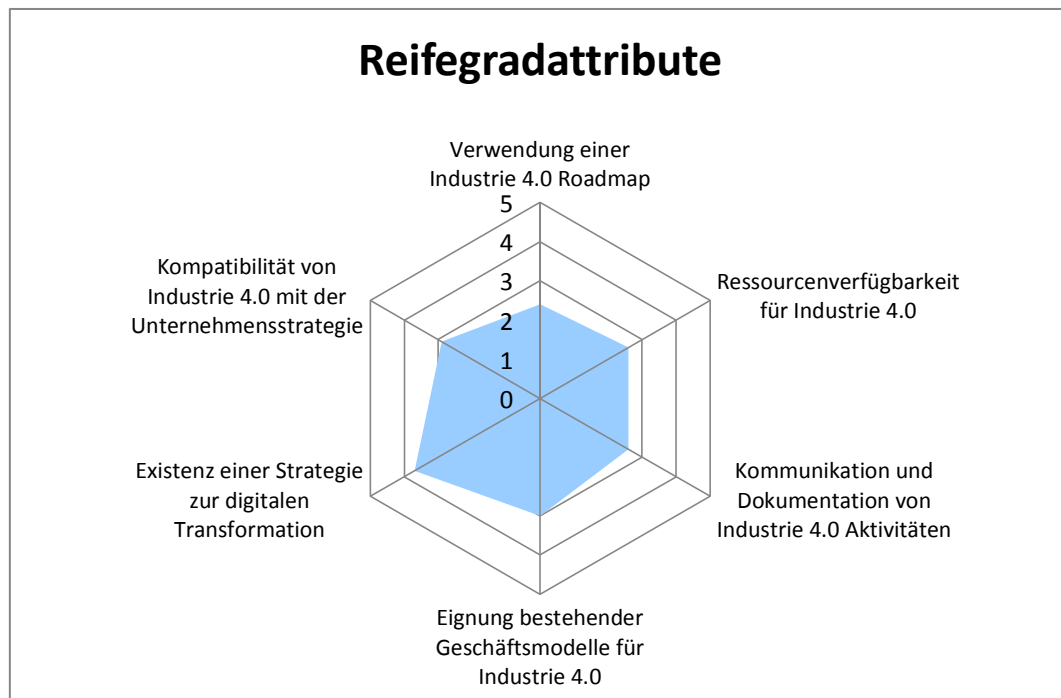


1. Unternehmensstrategie

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
1.1	Verwendung einer Industrie 4.0 Roadmap	Inwieweit ist eine Road-Map zur Realisierung von Industrie 4.0 in Ihrem Unternehmen implementiert?	2,4	3,2
1.2	Ressourcenverfügbarkeit für Industrie 4.0	Sind in Ihrem Unternehmen Ressourcen konkret für die Realisierung von Industrie 4.0 vorgesehen?	2,6	3,5
1.3	Kommunikation und Dokumentation von Industrie 4.0 Aktivitäten	Werden Aktivitäten Ihres Unternehmens im Bereich Industrie 4.0 bewusst intern und extern kommuniziert?	2,6	3,0
1.4	Eignung bestehender Geschäftsmodelle für Industrie 4.0	Berücksichtigt ihr derzeitiges Geschäftsmodell bereits Aspekte der Industrie 4.0?	3	2,9
1.5	Existenz einer Strategie zur digitalen Transformation	Wird in Ihrem Unternehmen eine Strategie verfolgt um den Digitalisierungsgrad Ihres Unternehmens zu erhöhen?	3,7	3,4
1.6	Kompatibilität von Industrie 4.0 mit der Unternehmensstrategie	Empfinden Sie, dass die Philosophie Ihres Unternehmens kompatibel mit dem Leitgedanken Industrie 4.0 ist?	2,9	3,4

Gewichtete Gesamtreife des Attributes

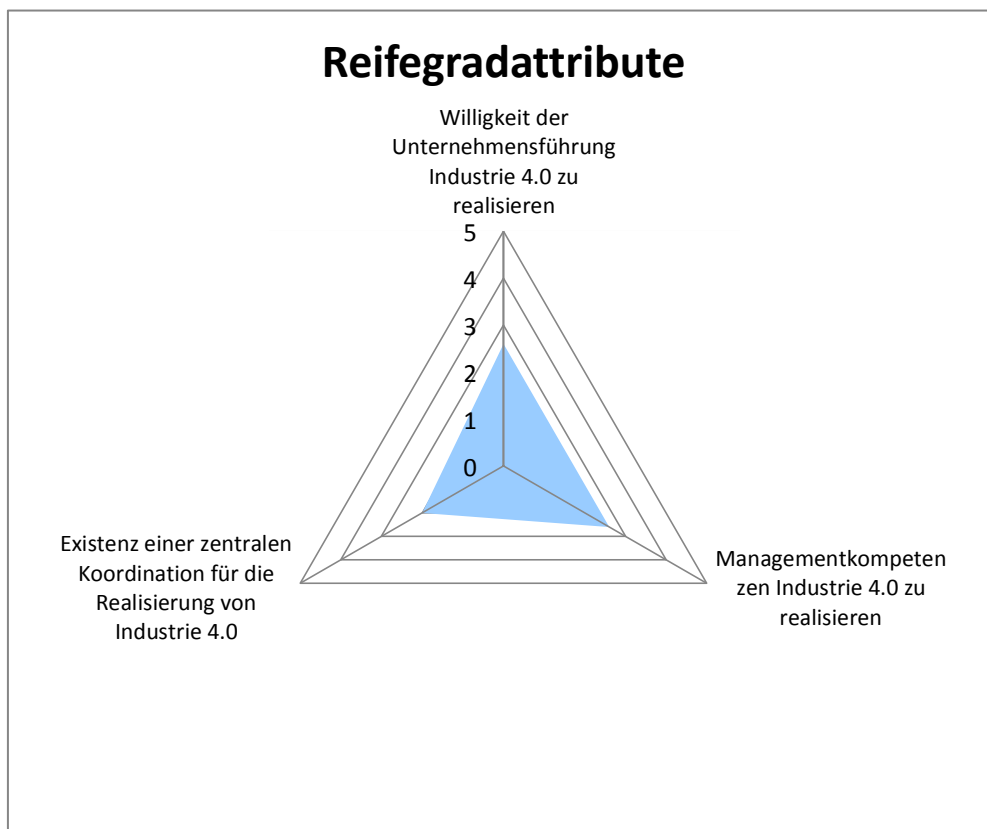
2,9



2. Unternehmensführung

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
2.1	Willigkeit der Unternehmensführung Industrie 4.0 zu realisieren	Wird die Umsetzung von Industrie 4.0 von der gesamten Führungsebene Ihres Unternehmens aktiv unterstützt und gefördert?	2,6	3,8
2.2	Managementkompetenzen Industrie 4.0 zu realisieren	Halten Sie die existierenden Kompetenzen der Führungsebene Ihres Unternehmens für geeignet für die Umsetzung von Industrie 4.0	2,6	3,0
2.3	Existenz einer zentralen Koordination für die Realisierung von Industrie 4.0	Inwieweit existiert in Ihrem Unternehmen eine Koordinationsstelle für die Planung, Koordination und Steuerung der Industrie 4.0 Aktivitäten?	2	3,3

Gewichtete Gesamtreife des Attributes **2,4**

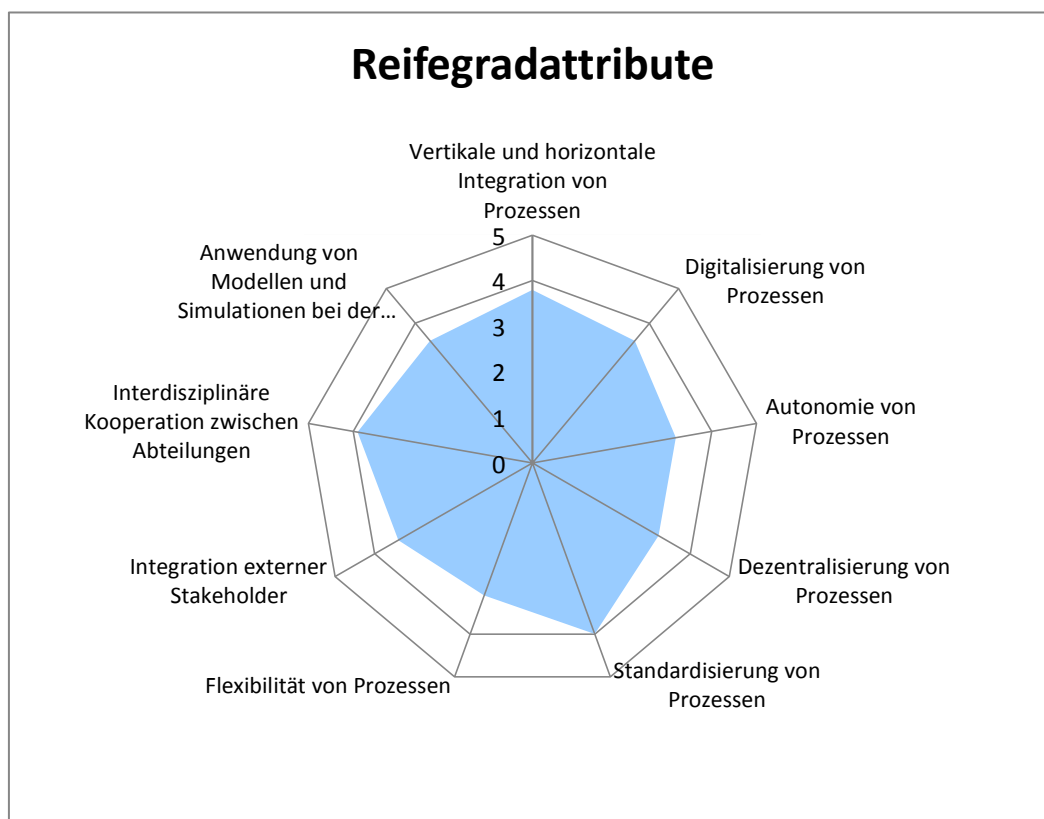


5. Unternehmensprozesse

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
5.1	Vertikale und horizontale Integration von Prozessen	Sind die internen Wertschöpfungsprozesse in Ihrem Unternehmen stark integriert bzw. miteinander vernetzt?	3,8	3,4
5.2	Digitalisierung von Prozessen	Ist die Planung, Ausführung und Steuerung der Wertschöpfungsprozesse Ihres Unternehmens automatisiert bzw. digitalisiert?	3,5	2,9
5.3	Autonomie von Prozessen	Sind die horizontalen und vertikalen Informationsprozesse in Ihrem Unternehmen stark automatisiert, digitalisiert und miteinander vernetzt?	3,2	3,6
5.4	Dezentralisierung von Prozessen	Fördert Ihre Unternehmensorganisation und –struktur dezentrale Wertschöpfung?	3,2	2,8
5.5	Standardisierung von Prozessen	Weisen die Wertschöpfungsprozesse in Ihrem Unternehmen ein hohes Maß von Standardisierung auf?	4,0	3,2
5.6	Flexibilität von Prozessen	Lassen sich die Wertschöpfungsprozesse Ihres Unternehmens schnell und einfach auf veränderte Anforderungen anpassen?	3,1	3,4
5.7	Integration externer Stakeholder	Werden externe Unternehmenspartner direkt in die Wertschöpfungsprozesse Ihres Unternehmens integriert?	3,4	3,0
5.8	Interdisziplinäre Kooperation zwischen Abteilungen	Arbeiten die Abteilungen und Teams Ihres Unternehmens abteilungsübergreifend und interdisziplinär zusammen?	3,9	3,6
5.9	Anwendung von Modellen und Simulationen bei der Prozessplanung	Wird digitale Simulation zur Prozessgestaltung und Prozessplanung in ihrem Unternehmen eingesetzt?	3,5	3,1

Gewichtete Gesamtreife des Attributes

3,5

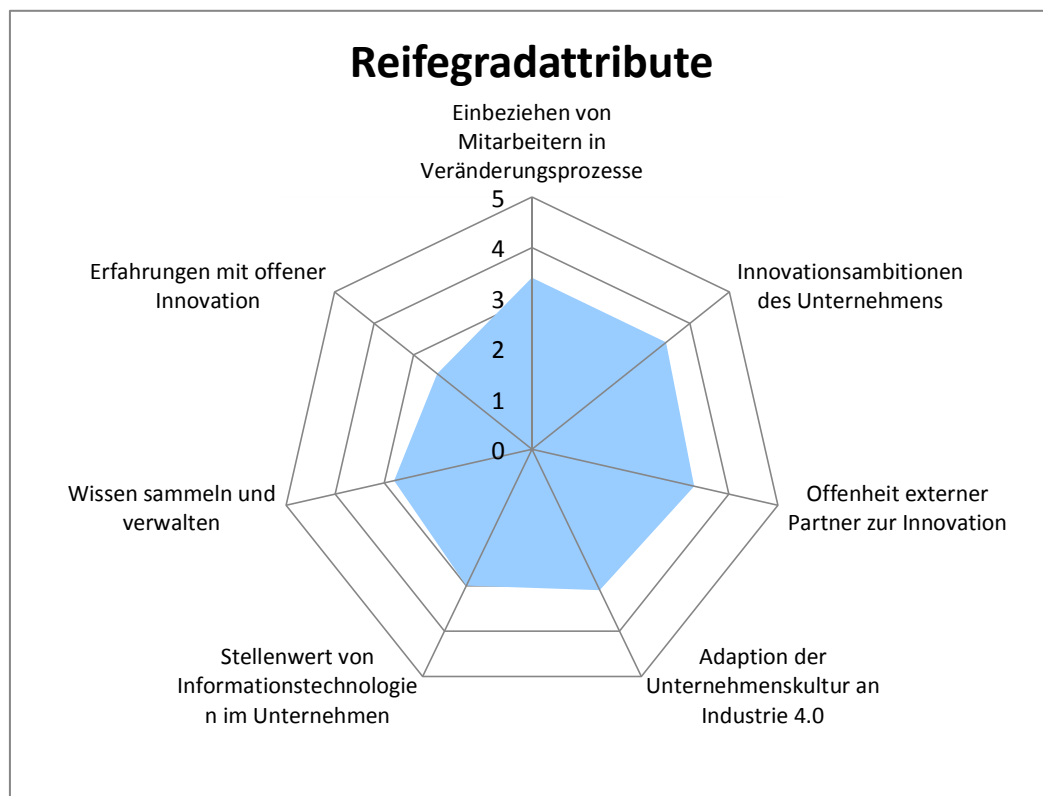


6. Unternehmenskultur

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
6.1	Einbeziehen von Mitarbeitern in Veränderungsprozesse	Werden die Mitarbeiter Ihres Unternehmens stark in stattfindende interne Veränderungsprozesse eingebunden?	3,4	3,8
6.2	Innovationsambitionen des Unternehmens	Agiert Ihr Unternehmen in der betreffenden Branche als Innovationstreiber?	3,4	3,3
6.3	Offenheit externer Partner zur Innovation	Empfinden Sie, dass die externen Partner Ihres Unternehmens offen gegenüber Innovation und Veränderung sind?	3,3	3,7
6.4	Adaption der Unternehmenskultur an Industrie 4.0	Empfinden Sie, dass die derzeit gelebte Unternehmenskultur vereinbar mit Industrie 4.0 ist?	3,1	3,3
6.5	Stellenwert von Informationstechnologien im Unternehmen	Empfinden Sie, dass IKT einen vergleichsweise hohen Stellenwert in Ihrem Unternehmen besitzen?	3	3,4
6.6	Wissen sammeln und verwalten	Folgt die Sammlung, Verwaltung und Verteilung von erworbenem Wissen in Ihrem Unternehmen einer klaren Strategie?	2,8	3,4
6.7	Erfahrungen mit offener Innovation	Engagiert sich Ihr Unternehmen stark bei der unternehmensübergreifenden und offenen Entwicklung von neuen Produkten und Services?	2,4	3,5

Gewichtete Gesamtreife des Attributes

3,1

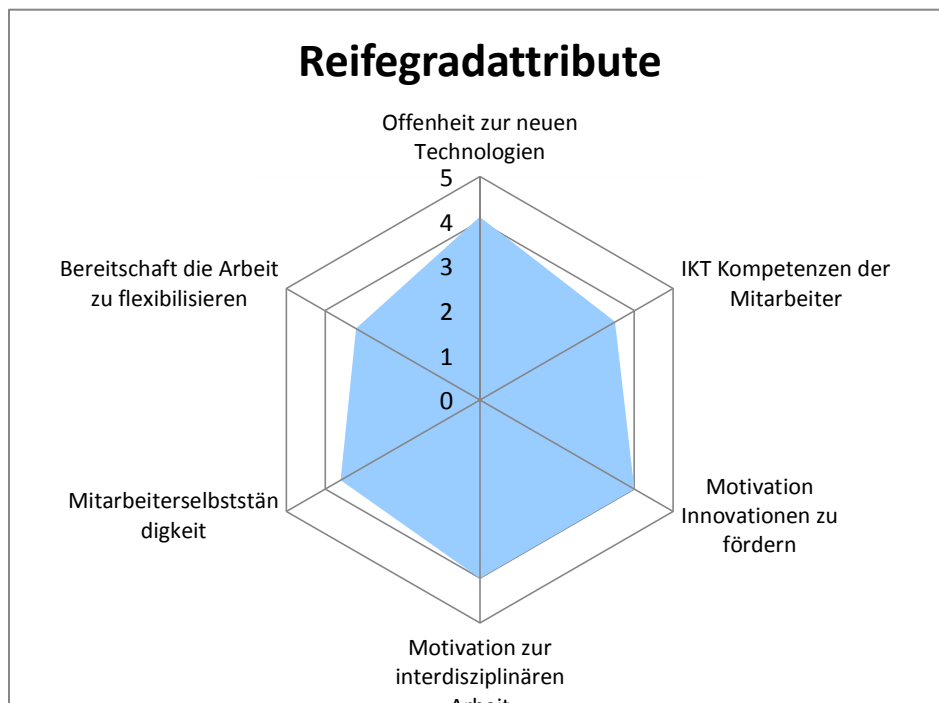


7. Mitarbeiter

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
7.1	Offenheit zur neuen Technologien	Sind ihre Mitarbeiter offen gegenüber neuen Technologien?	4,1	3,6
7.2	IKT Kompetenzen der Mitarbeiter	Haben ihre Mitarbeiter hohe Kompetenzen im Umgang mit modernen IKT bzw. digitalen Medien?	3,5	3,5
7.3	Motivation Innovationen zu fördern	Bringen Ihre Mitarbeiter eigene Ideen in das Unternehmen ein?	4	3,3
7.4	Motivation zur interdisziplinären Arbeit	Haben Ihre Mitarbeiter viel Erfahrung mit interdisziplinärer bzw. abteilungsübergreifenden Zusammenarbeit?	4	3,6
7.5	Mitarbeiterselbstständigkeit	Erfüllen Ihre Mitarbeiter deren Aufgaben mit hoher Eigenständigkeit?	3,6	3,0
7.6	Bereitschaft die Arbeit zu flexibilisieren	Schätzen Sie, dass die Mitarbeiter Ihres Unternehmens bereit sind deren Arbeitsbedingungen zu flexibilisieren, um den Anforderungen der Industrie 4.0 gerecht zu werden?	3,2	3,4

Gewichtete Gesamtreife des Attributes

3,7

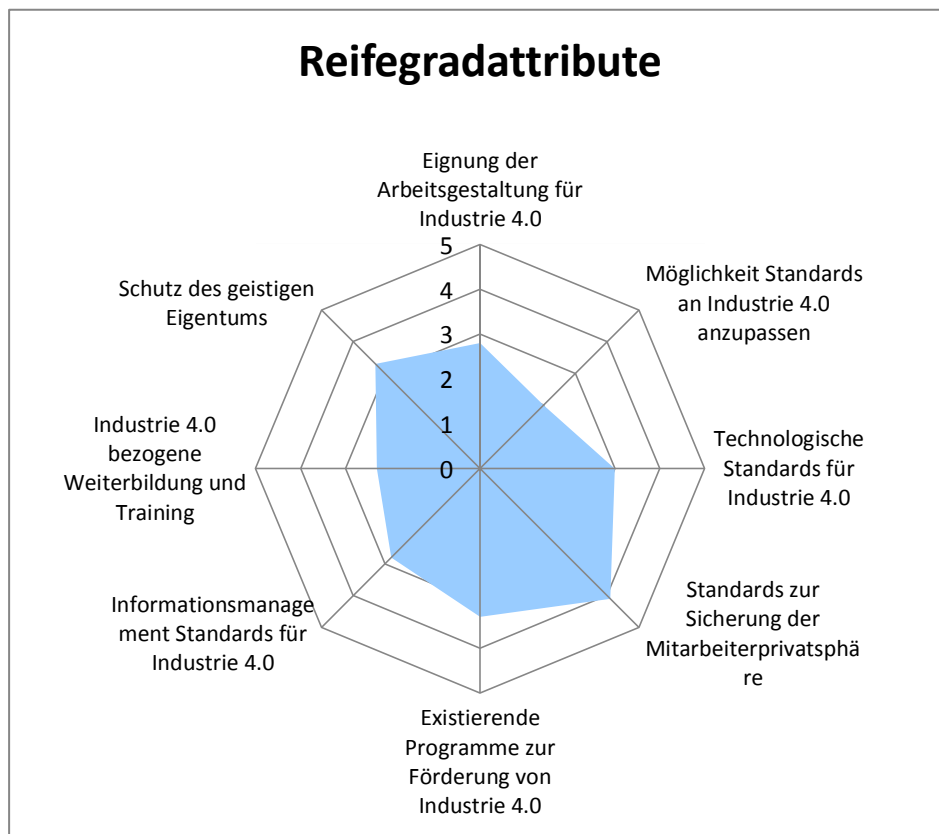


8. Unternehmensinterne Lenkung und Steuerung

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
8.1	Eignung der Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0	Sind Aspekte wie Arbeitszeit, Arbeitsinhalt oder Erfüllungsort der Arbeit in Ihrem Unternehmen flexibel regelbar?	2,8	3,3
8.2	Möglichkeit Standards an Industrie 4.0 anzupassen	Lassen sich die implementierten Standards Ihres Unternehmens einfach und schnell an veränderte externe Anforderungen anpassen?	2,6	2,8
8.3	Technologische Standards für Industrie 4.0	Sind die derzeitigen technologischen Standards Ihres Unternehmens geeignet, um den technologischen Anforderungen der Industrie 4.0 zu genügen?	3	2,5
8.4	Standards zur Sicherung der Mitarbeiterprivatsphäre	Verfolgen Sie im Unternehmen eine Strategie zum Schutz sensibler Daten bzw. zum Schutz der Privatsphäre Ihrer Mitarbeiter und Kunden?	4,1	3,2
8.5	Existierende Programme zur Förderung von Industrie 4.0	Verfolgt ihr Unternehmen Programme um Industrie 4.0 vorzustellen, zu realisieren und zu verbreiten?	3,3	3,3
8.6	Informationsmanagement Standards für Industrie 4.0	Existieren in ihrem Unternehmen Standards zur Sicherung und Weitergabe von Wissen?	2,8	3,1
8.7	Industrie 4.0 bezogene Weiterbildung und Training	Bietet Ihr Unternehmen Aus- und Weiterbildungsprogramme für Mitarbeiter zur Erhöhung der Industrie 4.0 Kompetenzen?	2,3	2,8
8.8	Schutz des geistigen Eigentums	Sind die derzeitigen Standards Ihres Unternehmens zum Schutz des geistigen Eigentums geeignet für Industrie 4.0?	3,3	3,2

Gewichtete Gesamtreife des Attributes

3

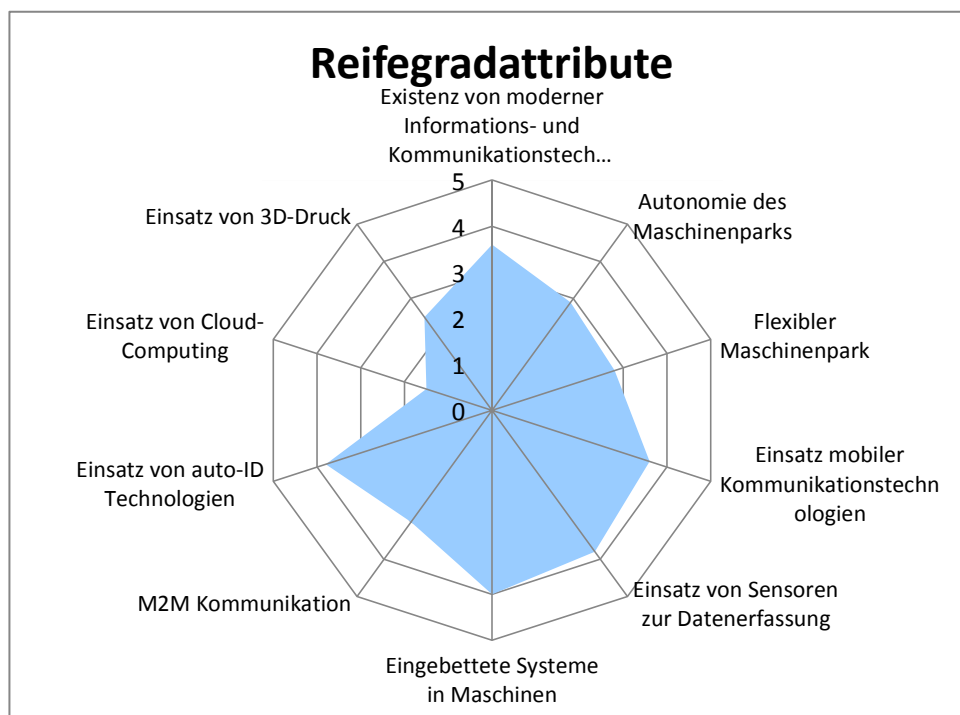


9. Im Unternehmen eingesetzte Technologien

Nr.	Attribute A	Externe Frage zur Reifegradbestimmung	Reife des Attributes M	Gewichtung des Attributes g
9.1	Existenz von moderner Informations- und Kommunikationstechnologien	Sind in Ihrem Unternehmen vergleichsweise moderne Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) implementiert?	3,6	3,5
9.2	Autonomie des Maschinenparks	Agieren und Reagieren die Produktionsmaschinen Ihres Unternehmens autonom?	2,9	3,2
9.3	Flexibler Maschinenpark	Wie schnell und einfach kann der Maschinenpark Ihres Unternehmens auf veränderte Produktionsanforderungen angepasst werden?	2,8	3,6
9.4	Einsatz mobiler Kommunikationstechnologien	Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen mobile Informations- und Kommunikationstechnologien?	3,6	3,2
9.5	Einsatz von Sensoren zur Datenerfassung	Nutzen Sie in Ihrem Unternehmen Sensorik zur Generierung von Echtzeitdaten über Betriebszustände?	3,8	3,6
9.6	Eingebettete Systeme in Maschinen	Sind elektronische Computer in Ihre Produktionsmaschinen integriert (Embedded Systems)?	4	3,5
9.7	M2M Kommunikation	Sind die Produktionsmaschinen in ihrem Unternehmen in der Lage selbstständig Informationen miteinander auszutauschen bzw. zu kollaborieren (M2M)?	3	3,6
9.8	Einsatz von auto-ID Technologien	Werden in Ihrer Produktion Auto-ID-Technologien (z.B. RFID) zur automatischen Echtzeit-Identifikation von Objekten genutzt?	3,8	3,3
9.9	Einsatz von Cloud-Computing	Inwieweit Nutzen Sie Cloud Services in Ihrem Unternehmen?	1,5	3,1
9.10	Einsatz von 3D-Druck	Inwieweit wird generative Fertigung (z.B. 3D-Druck) in Ihrem Unternehmen eingesetzt?	2,5	2,4

Gewichtete Gesamtreife des Attributes

3,2



7 Literaturverzeichnis

- Ahlemann, F., Schröder, C., & Teuteberg, F. (2005). *Kompetenz- und Reifegradmodelle für das Projektmanagement: Grundlagen, Vergleich und Einsatz*. ISPRI.
- Bach, J. (1994). The Immaturity of CMM. *American Programmer*, 7.
- Bauer, W., Schlund, S., Marrenbach, D., & Ganschar, O. (2014). Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. BITKOM.
- Bauernhansl, T., Ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung· Technologien· Migration*. Springer-Verlag.
- Becker, J., Knackstedt, R., & Pöppelbuß, J. (2009). Developing Maturity Models for IT Management. *Business & Information Systems Engineering*, 1(3), 213–222. <http://doi.org/10.1007/s12599-009-0044-5>
- Behrendt, S. (2009). Integriertes Technologie-Roadmapping. In R. Popp & E. Schüll (Hrsg.), *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung* (S. 255–268). Springer Berlin Heidelberg. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-78564-4_19
- Bischoff, J., Taphorn, C., Wolter, D., Braun, N., Fellbaum, M., Goloverov, A., ... others. (2015). Erschließung der Potenziale der Anwendung von 'Industrie 4.0' im Mittelstand: Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). *Mülheim an der Ruhr*.
- BMBF. (2012). *Bericht der Bundesregierung, Zukunftsprojekte der Hightech-Strategie*. Berlin. Abgerufen von <https://www.bmbf.de/pub/HTS-Aktionsplan.pdf>
- Brereton, P., Kitchenham, B. A., Budgen, D., Turner, M., & Khalil, M. (2007). Lessons from applying the systematic literature review process within the software engineering domain. *Journal of Systems and Software*, 80(4), 571–583. <http://doi.org/10.1016/j.jss.2006.07.009>
- Bruin, T. D., Freeze, R., Kaulkarni, U., & Rosemann, M. (2005). Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model. *ResearchGate*. Abgerufen von https://www.researchgate.net/publication/27482282_Understanding_the_Main_Phases_of_Developing_a_Maturity_Assessment_Model

- Bürgel, H. D., Reger, G., & Ackel-Zakour, D.-K. R. (2005). Technologie-Früherkennung in multinationalen Unternehmen: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In *Technologie-Roadmapping* (S. 27–53). Springer. Abgerufen von http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/3-540-27282-8_3.pdf
- DKE, V. (2013). *DIE DEUTSCHE NORMUNGSROADMAP INDUSTRIE 4.0*.
- EIRMA. (1997). *Technology Roadmapping - delivering business vision, European Industry Research Management Association* (Working Group Report No. 52). Paris.
- Erol, D.-I. D. S., Schumacher, A., & others. (2016). Auf dem Weg zur Industrie 4.0—ein dreistufiges Vorgehensmodell. In *Industrial Engineering und Management* (S. 247–266). Springer. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-12097-9_16
- Eversheim, W. (1993). Wettbewerbsfaktor Produktionstechnik. TI.1. Neue Technologien erfolgreich nutzen. *VDI-Zeitschrift*, 135(Nr.8), 78–81.
- Fleisch, E., & Mattern, F. (Hrsg.). (2005). *Das Internet der Dinge*. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag. Abgerufen von <http://link.springer.com/10.1007/3-540-28299-8>
- Geissbauer, R., Schrauf, S., Koch, V., & Schrauf, S. (2014). Industrie 4.0, Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. PwC.
- Hammer, R. (1998). *Strategische Planung und Frühaufklärung*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Herkner, H., & Müllner, M. (2011). *Erfolgreich wissenschaftlich arbeiten in der Klinik*. Vienna: Springer Vienna. Abgerufen von <http://link.springer.com/10.1007/978-3-7091-0475-0>
- Inst, C. M. U. S. E., Paulk, M. C., Weber, C. V., Curtis, B., & Chrissis, M. B. (1994). *The Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process* (1 edition). Reading, Mass: Addison-Wesley Professional.
- Jesson, J., Matheson, L., & Lacey, F. M. (2011). *Doing your literature review: Traditional and systematic techniques*. Sage.
- Johanson, R. (2003). *Case Study Methodology (Konferenzbeitrag zu Methodologies in Housing Research, 22-24.12. 2003)*. Stockholm.

- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Deutschlands zukunfts als produktionsstandort sichern. *Umsetzungsempfehlungen für das zukunftsprojekt industrie, 4*.
- Kelkar, O., Heger, R., & Dao, D.-K. (2014). Studie Industrie 4.0 Eine Standortbestimmung. der Automobil- und Fertigungsindustrie. MHP. Abgerufen von <http://docplayer.org/3440140-Studie-industrie-4-0-eine-standortbestimmung-der-automobil-und-fertigungsindustrie.html>
- Kienzle, S. (2014). Implikationen für die Automobilproduktion durch Industrie 4.0. *Vortrag, Stuttgart, 7*.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for Performing Systematic Reviews*. Keele: Software Engineering Group.
- Koch, V., Kuge, S., Geissbauer, D. R., & Schrauf, S. (2014). Industry 4.0: Opportunities and challenges of the industrial internet. PwC. Abgerufen von <http://www.strategyand.pwc.com/reports/industry-4-0>
- Kostoff, R. N., & Schaller, R. R. (2001). Science and technology roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 48(2), 132–143. <http://doi.org/10.1109/17.922473>
- Kreilkamp, E. (1987). *Strategisches Management und Marketing: Markt- und Wettbewerbsanalyse, Strategische Frühaufklärung, Portfolio-Management*. Walter de Gruyter.
- Kübel, M. (2013). *Corporate M&A*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. Abgerufen von <http://link.springer.com/10.1007/978-3-8349-3970-8>
- Kuhlang, P., Erol, S., Edtmayr, T., Sunk, A., & Nemeth, T. (2015). Wissenschaftliche(s) Arbeiten, Leitfaden zur Erstellung wissenschaftlicher Arbeiten am Institut für Managementwissenschaften, Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung (E330-2). Bereich für Betriebstechnik und Systemplanung Eigenverlag Wien.
- Lanza, G., Nyhuis, P., Ansari, S. M., Kuprat, T., & Liebrecht, C. (2016). Befähigungs- und Einführungsstrategie für Industrie 4.0, Vorstellung eines reifegradbasier-ten Ansatzes zur Implementierung von Industrie 4.0. *Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF)*, 1–2, 76–79.
- Laube, D.-I. T., & Abele, D.-W.-I. T. (2008). Technologie-Roadmapping zur Planung und Steuerung der betrieblichen Forschung und Entwicklung. In *Technologie-*

- Roadmapping* (S. 353–386). Springer. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74755-0_17
- Läzer, K. L., Sonntag, M., Drazek, R., Jaeschke, R.-I., & Hogleve, C. (2010). Einführung in die systematische Literaturrecherche mit den Datenbanken „PsycINFO“, „Pubmed“ und „PEP – Psychoanalytic Electronic Publishing“ sowie in das Literaturverwaltungsprogramm „Citavi“. Universität Kassel.
- Lichtenthaler, E. (2008). Methoden der Technologie-Früherkennung und Kriterien zu ihrer Auswahl. In *Technologie-Roadmapping* (S. 59–84). Springer. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74755-0_4
- Martin, H., & Daim, T. U. (2012). Technology roadmap development process (TRDP) for the service sector: A conceptual framework. *Technology in Society*, 34(1), 94–105. <http://doi.org/10.1016/j.techsoc.2012.01.003>
- McKinsey. (2015). McKinsey: Perspektiven Österreich. Wandel. Chancen. Impulse. McKinsey. Abgerufen von https://www.mckinsey.de/files/broschuere_perspektive_oesterreich.pdf
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST definition of cloud computing. Abgerufen von <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>
- Merz, S. L., & Siepmann, D. (2016). Industrie 4.0–Vorgehensmodell für die Einführung. In *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (S. 83–132). Springer. Abgerufen von http://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-662-48505-7_3.pdf
- Mettler, T., & Rohner, P. (2009). Situational Maturity Models As Instrumental Artifacts for Organizational Design. In *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology* (S. 22:1–22:9). New York, NY, USA: ACM. <http://doi.org/10.1145/1555619.1555649>
- Mettler, T., Rohner, P., & Winter, R. (2010). Towards a Classification of Maturity Models in Information Systems. In A. D’Atri, M. D. Marco, A. M. Braccini, & F. Cabiddu (Hrsg.), *Management of the Interconnected World* (S. 333–340). Physica-Verlag HD. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-7908-2404-9_39
- Mitsuishi, M., Ueda, K., & Kimura, F. (Hrsg.). (2008). *Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier*. London: Springer London. Abgerufen von <http://link.springer.com/10.1007/978-1-84800-267-8>

- Möhrle, P. D. M. G., & Isenmann, D. P. habil R. (2008). Grundlagen des Technologie-Roadmapping. In P. D. habil M. G. Möhrle & P. D. habil R. Isenmann (Hrsg.), *Technologie-Roadmapping* (S. 1–15). Springer Berlin Heidelberg. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74755-0_1
- Moßig, I., & others. (2012). *Stichproben, Stichprobenauswahlverfahren und Berechnung des minimal erforderlichen Stichprobenumfangs*. Univ., Inst. für Geographie. Abgerufen von <http://elib.suub.uni-bremen.de/edocs/00102479-1.pdf>
- Okoli, C., & Schabram, K. (2010). A guide to conducting a systematic literature review of information systems research. *Sprouts Work. Pap. Inf. Syst*, 10, 26.
- Paulzen, O., Duomi, M., Perc, O., & Axno, C.-R. (2002). A Maturity Model for Quality Improvement in Knowledge Management (S. 12). Gehalten auf der ACIS 2002 Proceedings. Abgerufen von <http://aisel.aisnet.org/acis2002>
- Peters, S., Brühl, R., & Stelling, J. N. (2005). *Betriebswirtschaftslehre: Einführung* (12. Aufl.). De Gruyter Oldenbourg.
- Pfrommer, J., Schleipen, M., Usländer, T., & al, et. (2014). Begrifflichkeiten um Industrie 4.0 - Ordnung im Sprachwirrwarr. In 13. *Fachtagung EKA 2014. Entwurf komplexer Automatisierungssysteme* (S. 8).
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2004). Technology roadmapping—A planning framework for evolution and revolution. *Technological Forecasting and Social Change*, 71(1–2), 5–26. [http://doi.org/10.1016/S0040-1625\(03\)00072-6](http://doi.org/10.1016/S0040-1625(03)00072-6)
- Phaal, R., Farrukh, C. J. P., & Probert, D. R. (2005). Developing a technology roadmapping system (S. 99–111). IEEE. <http://doi.org/10.1109/PICMET.2005.1509680>
- Phaal, R., & Muller, G. (2009). An architectural framework for roadmapping: towards visual strategy. *Technology Forecasting & Social Change*, 76(doi:), 39–49.
- Plattform Industrie 4.0. (2015). *Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0*. Plattform Industrie 4.0. Abgerufen von <http://docplayer.org/7010140-Umsetzungsstrategie-industrie-4-0-ergebnisbericht-der-plattform-industrie-4-0.html>
- PricewaterhouseCoopers. (2015). Studie: Industrie 4.0 - Österreichs Industrie im Wandel. Abgerufen 9. September 2016, von <http://www.pwc.at/herausforderung/digitale-transformation/industrie-4-0-studie.html>

PwC. (2016). Volkswagen Slovakia - Data Analyses. PwC.

Rising, L., & Janoff, N. S. (2000). The Scrum software development process for small teams. *IEEE software*, 17(4), 26.

Röglinger, M., Pöppelbuß, J., & Becker, J. (2012). Maturity models in business process management. *Business Process Management Journal*, 18(2), 328–346. <http://doi.org/10.1108/14637151211225225>

Roth, P. A. (2016). Industrie 4.0 – Hype oder Revolution? In *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0* (S. 1–15). Springer Berlin Heidelberg. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-48505-7_1

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2013). Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. Abgerufen 8. September 2016, von https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/

Saad, S., Perera, T., Gindy, N. N., Cerit, B., & Hodgson, A. (2006). Technology roadmapping for the next generation manufacturing enterprise. *journal of manufacturing technology management*, 17(4), 404–416.

Scheer, A.-W. (2013). *Industrie 4.0*. IMC AG.

Schreyögg, G. (1999). Strategisches Management : Entwicklungstendenzen und Zukunftsperspektiven. *Die Unternehmung : Swiss journal of business research and practice ; Organ der Schweizerischen Gesellschaft für Betriebswirtschaft (SGB)*, 53(6).

Schumacher, A. (2015). *Development of a Maturity Model for assessing the Industry 4.0 Maturity of Industrial Enterprises* (Diplom-Arbeit). TU-Wien, Wien.

Sendler, U. (2013). *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM*. Springer-Verlag.

Siegfried, P. (2015). *Strategische Unternehmensplanung in jungen KMU: Problemfelder und Lösungsansätze*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Siems, T. (2015). Industrie 4.0 in der Automobilindustrie. Detecon International. Abgerufen von <http://www.detecon.com/de/Publikationen/industrie-40-der-automobilindustrie>

-
- Specht, D., & Behrens, S. (2008). Strategische Planung mit Roadmaps—Möglichkeiten für das Innovationsmanagement und die Personalbedarfsplanung. In *Technologie-Roadmapping* (S. 145–164). Springer. Abgerufen von http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-74755-0_8
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <http://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- van Oosterhout, M., Waarts, E., & van Hillegersberg, J. (2006). Change factors requiring agility and implications for IT. *European Journal of Information Systems*, 15(2), 132–145.
- Vester, F. (1999). *Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität*. DVA.
- Wischmann, S., Angler, L., & Botthof, A. (2015). Industrie 4.0 Volks-und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland. *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie*, 3, 21.
- Zahn, E. (1989). Strategische Planung. In *Handwörterbuch der Planung*, Stuttgart (S. 893–905). Duncker & Humblot.

8 Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Ingenieurwissenschaftlicher Forschungsprozess</i>	<i>3</i>
<i>Abbildung 2: Geplante Vorgehensweise dieser Diplomarbeit</i>	<i>5</i>
<i>Abbildung 3: Darstellung der 4 industriellen Revolutionen</i>	<i>9</i>
<i>Abbildung 4: Übergeordnete Merkmale der Industrie 4.0.....</i>	<i>12</i>
<i>Abbildung 5: Industrie 4.0 Technologiefelder nach BITKOM</i>	<i>13</i>
<i>Abbildung 6: IT in der Produktion im Kontext Industrie 4.0</i>	<i>15</i>
<i>Abbildung 7: Vorgehensmodell zur Industrie 4.0 Einführung</i>	<i>17</i>
<i>Abbildung 8: Drei Stufen des Vorgehensmodells zur Industrie 4.0 Transformationen von Unternehmen.....</i>	<i>18</i>
<i>Abbildung 9: Hauptphasen des Prozesses der strategischen Planung</i>	<i>20</i>
<i>Abbildung 10: Roadmap als strategische Linse komplexer Systeme</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 11: Beispiel einer multilayer TRM mit strategischer Ausrichtung.....</i>	<i>22</i>
<i>Abbildung 12: Roadmap Klassifikation nach Albright und Schaller</i>	<i>23</i>
<i>Abbildung 13: Technologie Roadmaparten hinsichtlich ihres Anwendungszwecks ...</i>	<i>24</i>
<i>Abbildung 14: Hierarchische Klassen als Basis der Roadmapstruktur</i>	<i>26</i>
<i>Abbildung 15: Fünf Stufen der Software Prozessreife</i>	<i>29</i>
<i>Abbildung 16: Gewählte Vorgehensweise bei der systematischen Literaturrecherche</i>	<i>36</i>
<i>Abbildung 17: Workshops des T-Plans.....</i>	<i>41</i>
<i>Abbildung 18: Elemente in einem zweidimensionalen Suchraum</i>	<i>42</i>
<i>Abbildung 19: Entstehungsfaktoren des „Agilität Gaps“</i>	<i>45</i>
<i>Abbildung 20: Vier Schritte der Industrie 4.0 Planungsmethode samt Quellen</i>	<i>48</i>
<i>Abbildung 21: Beispiel einer Frage des I40MM</i>	<i>51</i>
<i>Abbildung 22: Priorisierung der Projektvorschläge anhand des Hebeleffekts nach Vester.....</i>	<i>53</i>
<i>Abbildung 23: Beschreibung eines entwickelten Projektvorschlages</i>	<i>54</i>
<i>Abbildung 24: Beispiel einer Industrie 4.0 Roadmap</i>	<i>55</i>
<i>Abbildung 25: Reifegrade der einzelnen Unternehmensdimensionen in VW-SK</i>	<i>63</i>
<i>Abbildung 26: Industrie 4.0 Handlungsfelder von VW Slovakia</i>	<i>64</i>
<i>Abbildung 27: Reifegrade der einzelnen Unternehmensdimensionen der des IT-Bereichs in VW-SK.....</i>	<i>66</i>
<i>Abbildung 28: Handlungsfeldbezogene Projektvorschläge zur Reifegraderhöhung ..</i>	<i>67</i>
<i>Abbildung 29: Wechselwirkungen der Projektvorschläge</i>	<i>68</i>
<i>Abbildung 30: Vergleich ein- und ausgehender Wirkungen</i>	<i>69</i>
<i>Abbildung 31: Industrie 4.0 Roadmap des IT-Bereiches VW Slovakia.....</i>	<i>71</i>

9 **Formelverzeichnis**

<i>Formel 1: Minimal erforderlicher Stichprobenumfang</i>	<i>51</i>
<i>Formel 2: Reifegradberechnung mit Gewichtung.....</i>	<i>62</i>

10 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Prognostiziertes wirtschaftliches Potential von Deutschland und Österreich nach verschiedenen Studien</i>	10
<i>Tabelle 2: Anwendungszwecke von Roadmaps in Unternehmen</i>	25
<i>Tabelle 3: Beispiele für Management Reifegradmodelle</i>	30
<i>Tabelle 4: Ergebnisse der Recherche auf "Google Scholar"</i>	37
<i>Tabelle 5: Ergebnisse der Recherche auf "Onlinebibliothek TU-Wien"</i>	37
<i>Tabelle 6: Ergebnisse der Recherche auf "ScienceDirect"</i>	38
<i>Tabelle 7: Vergleich bestehender Roadmapping-Ansätze</i>	44
<i>Tabelle 8: Merkmale der Industrie 4.0 Roadmap</i>	47
<i>Tabelle 9: Priorisierung der Projektvorschläge anhand des Hebeleffekts</i>	68

11 Abkürzungsverzeichnis

€	Euro
Abb.	Abbildung
AT	Österreich
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bzw.	beziehungsweise
ca.	ungefähr
CPPS	Cyber-physisches Produktion System
CPS	Cyber-physisches System
d.h.	das heißt
DE	Deutschland
EIRMA	European Industrial Research Management Association
ERP	Enterprise Resource Planning
h	Stunde
Hrsg.	Herausgeber
I40MM	Maturity Model für Industrie 4.0
IMW	Institut für Managementwissenschaften
IT	Informationstechnik
max.	maximal
MES	Manufacturing Execution System
min.	mindestens
Mrd.	Milliarde
n	minimal erforderlicher Stichprobenumfang
N	Anzahl der Elemente der Grundgesamtheit
P	tatsächlicher Mittelwert der Grundgesamtheit
PV	Projektvorschlag
PWC	PricewaterhouseCoopers
RM	Roadmap
S.	Seite
s.	siehe
SK	Slovakia
TEF	The Emerging Future
TRM	Technology Roadmapping
TU	Technische Universität
u.a.	und andere
usw.	und so weiter
vgl.	vergleiche
VW	Volkswagen
z	Wert der Sicherheitswahrscheinlichkeit

z.B.	zum Beispiel
ε	gewählter tolerierter Fehler