

# Schlussbericht

---

zu IGF-Vorhaben Nr. 18700 N

## Thema

DigiKMU - Entwicklung einer Methode zur Unterstützung von KMU im Maschinen- und Anlagenbau bei der Umsetzung von Industrie 4.0 im Bereich der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette

## Berichtszeitraum

01.04.2015 bis 31.03.2017

## Forschungsvereinigung

Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen (FVP) e.V.

## Forschungsstelle(n)

Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen

Forschungsvereinigung Programmiersprachen für Fertigungseinrichtungen (FVP) e.V.

[Aachen, 28.07.2017]

Michael Königs, FVP

Violet Zeller, FIR

---

Ort, Datum

---

Name und Unterschrift aller Projektleiter der Forschungsstelle(n)

Gefördert durch:

# Inhalte und Ergebnisse

---

## Inhalt

Thema .....	1
Berichtszeitraum .....	1
Forschungsvereinigung.....	1
Forschungsstelle(n) .....	1
1. Einleitung und Darstellung des Forschungsprojekts.....	6
1.1. Ausgangssituation und Problemstellung .....	6
2. Arbeitspaket 1: Systematische Beschreibung einer Unternehmens-IT (FIR) .....	8
2.1. Zielstellung des Arbeitspakets .....	8
2.2. Analyse und Bewertung von existierenden Referenzmodellen zur Beschreibung einer Unternehmens-IT mit Hinblick auf den Industrie-4.0–Reifegrad.....	8
2.2.1. Definition Modell .....	8
2.2.2. Definition Referenzmodell.....	9
2.2.3. Definition Architektur.....	10
2.2.4. Definition von Rahmenwerken und Architektur-Referenzmodellen.....	11
2.2.5. Anforderungen an ein Kombiniertes Referenzmodell .....	12
2.2.6. Grundlagen Reifegradmodelle .....	13
2.2.7. Architektur integrierter Systeme (ARIS) .....	13
2.2.8. Beschreibungsmodell zur IT-gestützten betrieblichen Informationsverarbeitung .....	15
2.2.9. Business Process Maturity Model (BPMM) .....	15
2.2.10. Business Process Model and Notation (BPMN) .....	16
2.2.11. Capability Maturity Model Integration (CMMI) .....	18
2.2.12. Computer Intergrated Manufacturing open System-Architecture (CIMOSA).....	19
2.2.13. DeLone and McLean Informationssystem (IS) Success Model .....	20
2.2.14. EDEN – Reifegradmodell.....	21
2.2.15. Enterprise Architecture Management (EAM).....	23
2.2.16. Enterprise Architecture (EA) .....	24
2.2.17. Entity-Relationship-Diagramme (ERM/ER-Modell).....	24
2.2.18. European Foundation for Quality Management Modell .....	25
2.2.19. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems 26	
2.2.20. Information Technology Infrastructure Library (ITIL) .....	27
2.2.21. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0).....	27

2.2.22.	Strategic Alignment Model (SAM) .....	31
2.2.23.	The Open Architecture Framework (TOGAF).....	32
2.2.24.	Vergleich vorhandener Reifegradmodelle .....	34
2.3.	Entwicklung eines Bezugsrahmens zur Beschreibung der Begriffswelt und des Betrachtungsraums .....	37
2.3.1.	Computer Aided Design (CAD) .....	37
2.3.2.	Computer aided manufacturing (CAM).....	38
2.3.3.	Numerical Controll (NC).....	39
2.3.4.	CAD-CAM-NC-Verfahrenskette .....	39
2.3.5.	Product Lifecycle Management (PLM) .....	41
2.3.6.	Industrie 4.0.....	41
2.4.	Erstellung eines kombinierten Referenzmodells.....	42
2.5.	Empirisch-induktive Identifikation aller relevanten Dimensionen (z.B. Daten, Informationsflüsse, Software, Hardware, Maschinen, Organisation, Ressourcen, Anwender) und ihre Merkmale zur Beschreibung der Unternehmens-IT (ordinal-skalierte Morphologie) .....	45
2.6.	Entwicklung eines strukturierten KMU-gerechten Fragebogens auf Basis der entwickelten Morphologiemerkmale zur Erfassung des Ist-Zustands der Unternehmens-IT Identifikation aller relevanten Dimensionen (z.B. Daten, Informationsflüsse, Software, Hardware, Maschinen, Organisation, Ressourcen, Anwender) und ihre Merkmale zur Beschreibung der Unternehmens-IT (ordinal-skalierte Morphologie) .....	46
3.	Arbeitspaket 2: Reifegradmodell der Unternehmens-IT von KMU und Beschreibung von Referenzmustern (FIR) .....	48
3.1.	Zielstellung des Arbeitspakets 2 .....	48
3.2.	Identifikation von Faktoren/Indikatoren hinsichtlich der Korrelation zwischen Unternehmenserfolg und IT-Unterstützungsgrad .....	48
3.3.	Zuordnung der Erfolgsfaktoren (Erreichung von Unternehmenszielen, Industrie-4.0-Tauglichkeit) zu Reifegradtypen .....	54
3.4.	Ableitung von Industrie-4.0-Strategietypen aus den Unternehmenszielen.....	58
3.5.	Zuordnung der Reifegradtypen zur Beschreibung von Soll-Zuständen mit den zugehörigen Dimensionsausprägungen .....	60
4.	Arbeitspaket 3: Identifikation von Einflussfaktoren und Erklärung der Wirkungsweise hinsichtlich der Erfolgsfaktoren (FVP) .....	62
4.1.	Zielstellung des Arbeitspakets 3 .....	62
4.2.	Schwachstellenanalyse auf Basis des Ist-Soll-Vergleichs zwischen dem identifizierten Ist-Zustand der Unternehmens-IT des KMU und dem Soll-Zustand des korrespondierenden/ fokussierten Referenztyps .....	62
4.3.	Potenzialanalyse und Identifikation von Handlungsfeldern zur Erreichung des Soll-Zustands .....	67
4.4.	Bewertung der Handlungsfelder (Kosten-Nutzen-Analyse, Quick Wins).....	69

5. Arbeitspaket 4 Gestaltungsmodell: Dokumentation der Vorgehensweise sowie Handlungsempfehlungen zur Umsetzung von Industrie 4.0 (FIR) .....	71
5.1. Zielstellung des Arbeitspakets 4 .....	71
5.2. Excel Tool zur Ermittlung des aktuellen Reifegrades .....	71
5.3. Data Input .....	72
5.4. Kategorisierung der Reifegradindikatoren .....	73
5.5. Bewertung der Prozesse anhand von Unternehmenszielen und Gewichtung der Kategorien.....	73
5.6. Auswertung.....	73
6. Arbeitspaket 5 Validierung der Projektergebnisse(FVP).....	75
6.1. Zielstellung des Arbeitspakets 5 .....	75
6.2. Beschreibung einer standardisierten Vorgehensweise, entwickelt in AP1-AP3 (Handbuch, KMU-gerechte Aufbereitung der Ergebnisse) .....	75
6.3. Fallbeispiel Anwendungsunternehmen (KMU) als Anwendungsfall im Bereich CAD-CAM-NC-Verfahrenskette (FVP) .....	76
7. Arbeitspaket 6 Erstellung Leitfaden und Veröffentlichung der Ergebnisse.....	81
7.1. Veröffentlichungen.....	81
7.2. Aggregation aller Ergebnisse und Veröffentlichung des Abschlussberichts.....	82
8. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	83
9. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU .....	84
Tabelle 1 Reifegradeinteilung des CMMI in der kontinuierlichen Variante (Kneuper 2007, S. 17) .	19
Tabelle 2 Reifegradeinteilung des CMMI in der stufenweise Variante (Kneuper 2007, S. 16) .....	19
Tabelle 3 Bewertung der analysierten Referenzmodelle .....	36
Tabelle 4 Beschreibung der 6 Digitalisierungsprozesskategorien.....	51
Tabelle 5 Ursprung und Prozessnummern der Aufbereitenden Digitalisierungsprozesse.....	52
Tabelle 6 Ursprung und Prozessnummer der Durchführenden Digitalisierungsprozesse .....	52
Tabelle 7 Ursprung und Prozessnummer der Management-Aufgaben für die Digitalisierungsprozesse .....	52
Tabelle 8 Ursprung und Prozessnummer der Planenden Digitalisierungsprozesse.....	53
Tabelle 9 Ursprung und Prozessnummer der Steuernden Digitalisierungsprozesse .....	53
Tabelle 10 Ursprung und Prozessnummer der Überwachenden Digitalisierungsprozesse .....	54
Tabelle 11 Beschreibung der Reifegradstufen (Bleider et al. 2015).....	55
Tabelle 12 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Aufbereitende Prozesse .....	55
Tabelle 13 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Durchführende Prozesse .....	56
Tabelle 14 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Management Aufgaben .....	56
Tabelle 15 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Planende Prozesse.....	56
Tabelle 16 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Steuernde Prozesse .....	57
Tabelle 17 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Überwachende Prozesse.....	57
Tabelle 18 Hierarchie der Unternehmensziele für die verschiedenen Strategietypen .....	60
Tabelle 19 Beispiel für die Prozesskategorienrelevanz .....	60
Tabelle 20 Beispiel für die Umsetzungsreihenfolge von IT-Unterstützungsprozessen.....	61

Tabelle 21 Bewertungsfaktoren für den Umsetzungsstand eines IT-Unterstützungsprozesses.....	61
Tabelle 22 Nummern der Umsetzungszustände .....	71
Tabelle 23 Beispielhafte Berechnung.....	73

# 1. Einleitung und Darstellung des Forschungsprojekts

Das Schlagwort „Industrie 4.0“ ist in den deutschen Medien derzeit sehr präsent, nicht zuletzt seit der diesjährigen Hannover-Messe und der neuen Hightech-Strategie der Bundesregierung (Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 2014; N.N. 2014). Unter dem Begriff Industrie 4.0 wird die Vernetzung von Produktionssystemen mittels moderner Informations- und Kommunikationstechnologien verstanden, um eine höhere Ressourcenproduktivität und -effizienz zu erreichen (Brenner et al. 2005). Wesentlicher Bestandteil der Vernetzung sind intelligente Objekte im Produktionsumfeld, die in der Lage sind, sich selbst zu steuern (sog. cyber-physische Systeme (CPS)) (Ganschar 2013, S. 22). Die Umsetzung des Industrie-4.0-Leitgedankens kann nur erfolgreich geschehen, wenn eine umfangreiche Vernetzung der beteiligten IT-Systeme im Umfeld der Produktion realisiert wird (Kropp et al. 2014), insbesondere auf den Ebenen der Applikations- und Datenarchitektur.

## 1.1. Ausgangssituation und Problemstellung

Die Voraussetzungen für eine solche Vernetzung müssen durch die Unternehmens-IT gegeben sein, welche insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) noch nicht erfüllt sind. So ist es beispielsweise für eine effiziente und effektive Fertigung entscheidend, einen fließenden Ablauf des „Engineerings“ zu garantieren, z. B. im Teilbereich der Computer Aided Design – Computer Aided Manufacturing – Numerical Control (CAD-CAM-NC)-Fertigungskette: Hier sollten nahtlos nach der Konstruktion eines Produkts Daten direkt für die Produktion bereitgestellt werden. Aktuell ist dort jedoch eine unzureichende Vernetzung der Systeme aufgrund mangelnder IT-Unterstützung zu beobachten. Dieser konkrete Anwendungsfall verdeutlicht den sich hieraus ergebenden Änderungsbedarf der Unternehmens-IT im Hinblick auf Technik, Organisation, Ressourcen und Qualifikation (Kropp et al. 2014). Die wesentliche Problemstellung ist die hohe Investition, die KMU leisten müssen, um eine Industrie-4.0-taugliche IT-Unterstützung strategisch zu planen und einzuführen. Fast 80 % des IT-Budgets werden i. d. R. für den IT-Betrieb aufgewendet und nur 20 % für die strategische Erneuerung und Erweiterung der Unternehmens-IT (Nilles und Senger 2012; Marrone und Kolbe 2011). Aus diesen strukturellen Problemen resultieren fehlende Ressourcen in den KMU, die notwendig sind, um durch eine angemessene Unternehmens-IT eine Industrie-4.0-fähige Fertigung zu realisieren. Aus dieser Ausgangslage soll die folgende Frage beantwortet werden:

***Wie muss die Unternehmens-IT eines produzierenden KMU im Maschinen- und Anlagenbau mittelfristig strategisch ausgerichtet werden, um unternehmerische Ziele mithilfe von Industrie-4.0-Konzepten im Bereich der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette zu erreichen?***

Nach dem Industrie-4.0-Leitgedanken müssten bei der CAD-CAM-NC-Prozesskette Produkte, Produktionsmaschine und Produktionsprozess zu einer vernetzten Einheit verknüpft werden. Der optimierte Prozess mit minimaler Einfahrzeit ermöglicht hier eine effiziente Fertigung bis zur Losgröße 1. Dieses Ziel erfordert drei unterschiedliche Strategien: Die Informationsintegration (Fertigungsdatenorganisation – FDO), die virtuelle Abbildung der Produktionsmittel (CAD/CAM) sowie die Vernetzung von Ressourcen (Betriebsmittelorganisation – BMO) und eine modellbasierte Produktionssteuerung (Durchgängigkeit, intelligente Fertigungsstationen). Dies ist in Abbildung 1 veranschaulicht. Für KMU sind diese drei Ansätze in Abhängigkeit von Produkt und bestehender Softwarelandschaft unterschiedlich effizient.

Das Ziel im Sinne von Industrie 4.0 ist, eine offene Systemarchitektur für die CAD-CAM-NC-Prozesskette zu schaffen, auf die alle Mitarbeiter zugreifen und dabei die dort zentral gelagerten Daten anpassen können. Bei dieser Architektur ist auch die Anbindung aktueller Softwaresysteme relevant, allerdings steht der Mitarbeiter selbst in der Produktion der Zukunft im Vordergrund. Durch die Verwendung mobiler Endgeräte wird er direkt in den Produktionsprozess eingebunden (Ganschar 2013), mit Schnittstellen zur Informationserstellung, -darstellung und -manipulation ausgestattet und somit mit örtlicher Nähe zur aktuellen Aufgabenstellung unterstützt. Durch den dabei stattfindenden Wegfall einer hierarchischen Steuerung können Gestaltungsspielräume entstehen, wobei sich Arbeiten interessanter und verantwortungsvoller gestalten und zunehmend in Richtung der eigentlichen Problemlösung verlagern (Arbeiten in der Industrie 4.0 2013). So entsteht eine lernförderliche Arbeitsorganisation mit einem unidirektionalen Austausch von Informationen, wodurch Wissen zwischen Mitarbeitern oder Abteilungen effizient transportiert werden kann.

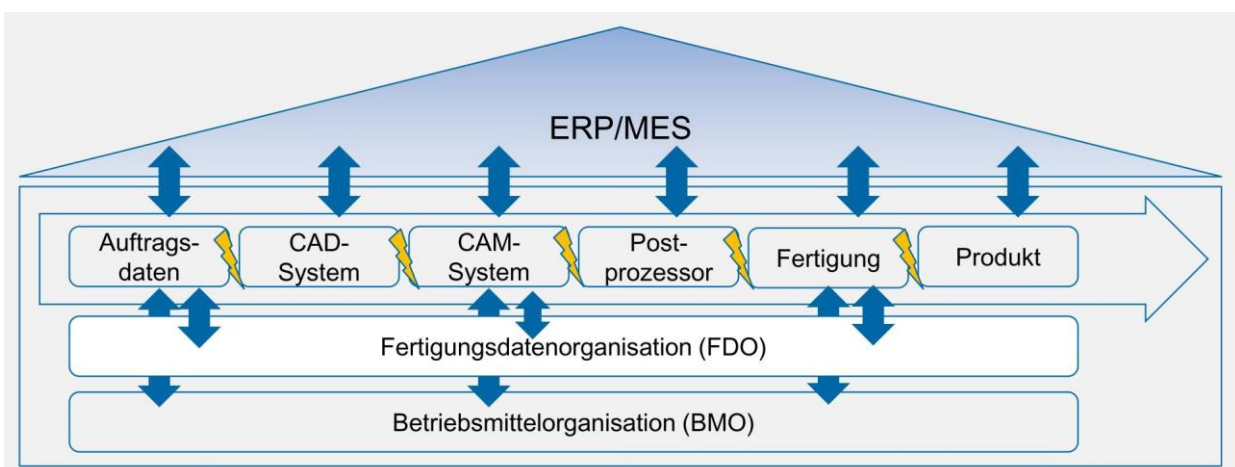


Abbildung 1 - Anforderungen an die CAD- CAM - NC - Kette und nachgelagerte Systeme

Herausforderungen bei der konkreten Umsetzung nach Industrie 4.0 ergeben sich aus der Heterogenität der Datenquellen und der zur Präsentation eingesetzten Endgeräte. In diesem Zusammenhang werden Themen wie Datensicherheit, Benutzerfreundlichkeit und Echtzeitanalyse adressiert. Diese Aufgabenfelder sind bei aktuellen Industrie-4.0-Aktivitäten nur rudimentär abgedeckt (Kagermann et al. 2013). Große Unternehmen erreichen eine Verbesserung in der Digitalisierung ihrer Prozesse durch hohe Investitionen für den Ausbau der hausinternen IT-Infrastrukturen und die Bereitstellung von zusätzlichen Terminals mit entsprechenden Softwarelizenzen (z. B. CAM-Systeme in der Fertigung) an allen Fertigungsstationen. Darüber hinaus findet durch den Einsatz zentraler Datenbanken sowie die Implementierung von Schnittstellen eine zentrale Anbindung bereits bestehender Systeme in Planung und Fertigung statt. In der Regel sind diese Systeme über das Manufacturing-Execution-System (MES) im direkten Umfeld des CAM-Systems angesiedelt, da hier die Basisdaten für den Fertigungsprozess erstellt werden und die Fertigung selbst angestoßen wird. Dieses heute übliche Vorgehen steht in einem logischen Widerspruch zum dezentralen, sich selbst steuernden Ansatz von Industrie 4.0 und der Nutzung intelligenter cyber-physischer Systeme. Im Vorhaben ist zu prüfen, welche pragmatischen Schritte auf Basis der heute verfügbaren Softwarelandschaft und den Randbedingungen aus Betriebswirtschaft und Informationssicherheit entwickelt werden können. Zu den daraus folgenden hohen Investitionskosten für die Einrichtung solcher Systeme kommt ein erheblicher Aufwand für deren Wartung und Instandhaltung. KMU sind nur in seltenen Fällen in der

Lage, diese Investitionskosten zu tätigen und den erhöhten Wartungs- und Instandhaltungsaufwand zu tragen.

Die beschriebenen, für jedes Arbeitspaket aufgeschlüsselten Tätigkeiten wurden im Zeitraum vom 01.04.2015 bis 31.03.2017 durchgeführt.

## **2. Arbeitspaket 1: Systematische Beschreibung einer Unternehmens-IT (FIR)**

### **2.1. Zielstellung des Arbeitspakets**

Im ersten Arbeitspaket soll eine Morphologie zur Beschreibung einer Unternehmens-IT und der Erfassung des Ist-Zustands einer Unternehmens-IT entwickelt werden. Die Vorgehensweise ist in Arbeitsschritte 2.2 -2.5 unterteilt.

### **2.2. Analyse und Bewertung von existierenden Referenzmodellen zur Beschreibung einer Unternehmens-IT mit Hinblick auf den Industrie-4.0–Reifegrad**

In diesem Kapitel wird die Analyse bereits bestehender Referenzmodelle zur Beschreibung der Unternehmens-IT untersucht. Ziel dieser Analyse ist es, den Einsatzzweck der Referenzmodelle zu bestimmen, um Ihre Eignung zur Beschreibung der IT im Zusammenhang von CAD-CAM-NC-Ketten im Industrie-4.0-Kontext bewerten zu können.

Um die Analyse zu präzisieren, werden im folgendem die Begriffe Modell, Referenzmodell, Architektur, Rahmenwerk und Architektur-Referenzmodell beschrieben. Anschließend werden aufbauend auf diesen Definitionen und den Zielstellungen dieses Arbeitspakets die Bewertungsbereiche konkretisiert. Anschließend folgt dann die Analyse der verschiedenen Rahmenwerke.

Abschließend werden die untersuchten Rahmenwerke und Architekturen hinsichtlich ihrer Eignung zur Beschreibung der CAD-CAM-NC Kette bewertet.

#### **2.2.1. Definition Modell**

Ein Modell ist eine Abbildung der Realität, um einen Vergleich oder eine Bewertung aufwandsreduzierter durchzuführen. Dabei ist die Problemlösung in der Realität zu kostenintensiv, unübersichtlich und komplex. (Thomas 2005)

Des Weiteren ist ein Modell „[...] ein System, welches durch eine zweckorientierte, abstrakte Abbildung eines anderen Systems entstanden ist. Im Rahmen der Allgemeinen Modelltheorie wird der Modellbegriff durch das Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal und pragmatisches Merkmal charakterisiert (vgl. Stachowiak 1973, S. 131)“. (Krallmann et al. 2013, S. 53)

„**Abbildungsmerkmal** bedeutet, dass Modelle Abbildungen von Originalen sind, welche selbst wieder Modelle sein können. Als abstraktes Abbild des Originals weisen sie lediglich eine Ähnlichkeit mit dem Urbild auf.“ (Krallmann et al. 2013, S. 54)



**"Verkürzungsmerkmal** bedeutet, dass in Modellen nur die Eigenschaften des repräsentierten Originals erfasst sind, die dem Modellbildner bzw. Modellnutzer relevant erscheinen. Dies wird durch den abstrakten Charakter der Abbildung deutlich. Eine Abstraktion ist dabei als selektiver Bewusstseinsprozess zu verstehen, bei dem im gegebenen Zusammenhang unwesentliche Eigenschaften des Erkenntnisobjekts vernachlässigt und wesentlichere hervorgehoben werden. Als Konsequenz ergibt sich die Möglichkeit der Existenz mehrerer Modelle zu einem Original, da ein Original stets unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden kann." (Krallmann et al. 2013, S. 55)

„Das **pragmatische Merkmal** des Modellbegriffs kann im Wesentlichen durch drei Fragen charakterisiert werden:

1. Welches Original wird durch das Modell repräsentiert?
2. Für wen ist das Modell bzw. wer ist der Modellnutzer?
3. Was ist der Zweck des Modells?“

(Krallmann et al. 2013, S. 55)

### 2.2.2. Definition Referenzmodell

Der Begriff Referenzmodell ist nicht eindeutig. (Fettke und Loos) Zur Klärung der verschiedenen Aussagen des Begriffs „Referenzmodell“ wird in diesem Projekt die Kategorisierung in Abbildung 2 verwendet, um Klarheit bei Verwendung des Begriffs zu schaffen. (Fettke und Loos, S. 10)

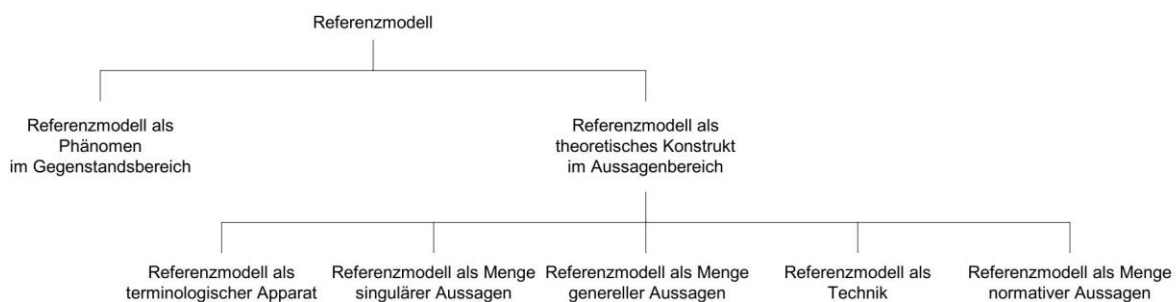


Abbildung 2: Kategorisierung von Referenzmodellen (Fettke und Loos, S. 10)

Zuerst wird zwischen Referenzmodellen als Phänomen im Gegenstandsbereich und Referenzmodellen als theoretisches Konstrukt im Aussagenbereich unterschieden. (Fettke und Loos, S. 9) Dabei ist das Verständnis des Begriffs Referenzmodell als Phänomen im Gegenstandsbereich im Rahmen dieses Projekts nicht weiter relevant, da keine Phänomene im Gegenstandsbereich beschrieben werden sollen und auch bereits existierende Referenzmodelle zur Beschreibung von Unternehmens-IT dies ebenfalls nicht beschreiben. Stattdessen sollen Aussagen über den Vernetzungsgrad durch Anwendung der Industrie 4.0 Leitgedanken und Digitalisierungsmöglichkeiten von CAD-CAM-NC-Ketten getroffen werden.

Allerdings ist der Begriff der Aussagen in diesem Zusammenhang ebenfalls noch nicht eindeutig und kann durch eine Unterscheidung in weitere fünf Fälle konkretisiert werden. Dabei wird noch einmal zwischen den folgenden Bedeutungen von Referenzmodellen unterschieden: (Fettke und Loos, S. 10)

1. **Referenzmodell als terminologischer Apparat:** In dieser Unterscheidung ist die Aufgabe eines Referenzmodells die sprachliche Verortung eines bestimmten Raum-Zeit-Gebiets, was auch Konzeptualisierung genannt wird. Diese Referenzmodelle versuchen einen Gegenstandsbereich detailliert zu beschreiben. (Fettke und Loos, S. 10–11)
2. **Referenzmodell als Menge singulärer Aussagen:** In dieser Bedeutung beschreibt das Referenzmodell als Menge singulärer Aussagen ein anderes Referenzmodell im Gegenstandsbereich, indem dieses sprachlich transkribiert wird. Bei der Erstellung eines Referenzmodells als Menge singulärer Aussagen wird also kein Modell entwickelt, sondern ein bestehendes Modell im Gegenstandsbereich beschrieben. (Fettke und Loos, S. 10–11)
3. **Referenzmodell als Menge genereller Aussagen:** In dieser Bedeutung werden Aussagen über Klassen von Unternehmen und nicht über ein bestimmtes Unternehmen getroffen. (Fettke und Loos, S. 10–11)
4. **Referenzmodell als Technik:** In dieser Bedeutung trifft ein Referenzmodell Aussagen über eine Technik, die helfen soll ein bestimmtes Ziel effizienter zu erreichen. Es ist in diesem Zusammenhang also als Handlungsempfehlung zu verstehen. (Fettke und Loos, S. 10–12)
5. **Referenzmodell als Menge normativer Aussagen:** In dieser Bedeutung ist das Referenzmodell eine Sammlung von Gesetzen, Vorschriften oder Maßstäben, die menschliche Handlung bei der Systemgestaltung vereinheitlichen oder vorschreiben soll. (Fettke und Loos, S. 11–12)

### 2.2.3. Definition Architektur

Eine Architektur ist nach (ISO/IEC/IEEE 42010:2011) wie folgt definiert: (ISO/IEC/IEEE 42010:2011)

*„Architecture: ‘The fundamental organization of a system embodied in its components, their relationships to each other, and to the environment, and the principles guiding its design and evolution.’“* (Matthes 2011, S. 10)

Architekturen können durch die folgenden Aspekte ihrer Konstruktion charakterisiert werden. (Matthes 2011, S. 10)

- Eine Zuordnung oder Ordnung hin zu Schichten, Hierarchien oder Modulen kann durch Berücksichtigung des Objekttyps (Daten, Technologien usw.) erfolgen. (Matthes 2011, S. 10)
- Architekturausprägungen können nebeneinander, aufbauend oder auch unabhängig zueinander angeordnet werden. Dies ergibt sich durch den kontextspezifischen Zusammenhang der erkenntnisrelevanten Objekte (Schlagwörter: lose oder starre Kopplung, Interaktion, Schnittstellen, Bidirektionalität usw.). Horizontale Gliederungen beschreiben dabei meist technische Abhängigkeiten. Vertikale Beziehungen beschreiben die Beeinflussung von geordneten Objekten auf einer Ebene. So sind bspw. Prozess- und Organisationsarchitektur nach [KRCMAR 1990 S. 399] auf einer Schicht nebeneinander

angeordnet, was verdeutlicht, dass diese Architekturen sich gegenseitig bedingen. (Matthes 2011, S. 10)

- Die Ordnung der erkenntnisrelevanten Objekte kann einer bestimmten Betrachtungsintention (Zielsetzung des Betrachters) entsprechen. Im Interesse eines Betrachters werden wesentliche Aspekte hervorgehoben und minder wichtige verkürzt dargestellt oder sogar ausgeblendet. (Matthes 2011, S. 10)

#### **2.2.4. Definition von Rahmenwerken und Architektur-Referenzmodellen**

Für Rahmenwerke (Framework) gibt es diverse Definitionen (Matthes 2011, S. 21), wobei im Rahmen dieses Projektes die Folgende verwendet wird:

*“A Framework “is a tool which can be used for developing a broad range of different architectures. It describes a method for designing an information system in terms of a set of building blocks, and for showing how the building blocks fit together. It contains a set of tools and provides a common vocabulary. It also includes a list of recommended standards and compliant products that can be used to implement the building blocks.” [VAN HAREN 2007 S. 5] (Matthes 2011, S. 21)*

Aus dieser Definition geht hervor, dass ein Rahmenwerk ebenfalls als Referenzmodell als theoretisches Konstrukt im Aussagenbereich mit mehreren Aussagetypen aufgefasst werden kann. Dabei kann es:

1. ein **terminologischer Apparat** sein, da es ein gemeinsames Vokabular bereitstellt.
2. eine **Menge an normativen Aussagen** sein, da es verschiedene Standards vorschlägt.
3. eine **Technik** sein, da es als Werkzeug zur Entwicklung von Architekturen genutzt werden kann.

Rahmenwerke können als theoretisches Modell oder auf Basis von Projekterfahrungen entwickelt werden. (Matthes 2011, S. 17) Im ersten Fall muss die genaue Art der Modellentwicklung betrachtet werden. Hierdurch wird festgelegt, um was für ein Referenzmodell es sich handelt. Im zweiten Fall kann man es als Referenzmodell auffassen, welches aus einer Menge singulärer Aussagen besteht.

Allerdings beinhaltet nicht jedes Rahmenwerk alle vorher genannten Eigenschaften. Rahmenwerke, deren Schwerpunkt auf der Komplexitätsreduktion durch Klassifizierung oder Einordnung eines realen in ein theoretisches Metamodell liegt, verfolgen konzeptuelle Konzepte. Allerdings kann der Schwerpunkt auch auf eine Methode zur Umsetzung eines Lösungswegs gelegt werden. In diesem Zusammenhang spricht man von einem operationellen Konzept. Verfolgt ein Rahmenwerk beide Konzepte, wird es als übergreifend bezeichnet. (Matthes 2011, S. 30–31)

Ein Architektur-Referenzmodell kann Teil eines konzeptionellen oder übergreifenden Rahmenwerks sein. Es besteht aus Schichten und Sichten, welche im Metamodell des Rahmenwerks spezifiziert werden. (Matthes 2011, S. 18–19)

Rahmenwerke sind Modelle und haben daher einen Modellcharakter. Sie können als konzeptionell, operationell oder übergreifend kategorisiert werden. Typisch, aber nicht notwendig für konzeptuelle Rahmenwerke sind Architektur-Referenzmodelle, die durch die Rahmenwerke angeführt werden. Konzeptionelle Konzepte haben die Komplexitätsreduktion eines Modells im Fokus, indem Reale klassifiziert und eingeordnet werden. Operationelle haben eine Methode im Fokus. Typisch für diese Kategorie sind Vorgehensreferenzmodelle, die im Rahmenwerk beschrieben werden.

Übergreifende Rahmenwerke beinhalten sowohl operationelle als auch konzeptuelle Ausführungen. (Matthes 2011, S. 30–31)

Nach Kapitel 2.2.1 gilt: „Ein Modell ist ein System, „welches durch eine zweckorientierte, abstrakte Abbildung eines anderen Systems entstanden ist.“. [KRALLMANN et al. 2002 S. 32]“ (Matthes 2011, S. 18). Dabei werden auch in diesem Kontext definierende Merkmale unterschieden:

- **„Abbildungsmerkmal:** Rahmenwerke sind abstrakte Abbildungen der Originale. Dabei weisen sie eine gewisse Ähnlichkeit zu den Urbildern auf. Übertragen auf die Rahmenwerk-Praxis: Die „Originale“ und „Urbilder“ sind die (IT-)Systeme der Unternehmen, Organisationen und Einrichtungen.
- **Verkürzungsmerkmal:** Infolge des selektiven Bewusstseinsprozesses werden relevante Eigenschaften des Systems unterstrichen und unwesentliche Aspekte vernachlässigt. [KRALLMANN et al. 2002 S. 33] Rahmenwerke erfüllen dieses Verkürzungsmerkmal bspw. durch die Bereitstellung von Sichtweisen (View- Points),<sup>1</sup> mit deren Hilfe bestimmte Sichten (Views)<sup>2</sup> auf relevante Aspekte einer Architekturbetrachtung offeriert werden
- **Pragmatisches Merkmal** (Sinn für das Nützliche): Die Fragen aus der Modelltheorie zur Charakteristik des pragmatischen Merkmals eines Modells können in Bezug auf Rahmenwerke folgendermaßen formuliert werden: Welches Problem wird durch das Rahmenwerk gelöst? Für wen ist das Rahmenwerk? Wer ist der Nutzer des Rahmenwerkes? Was ist der Zweck des Rahmenwerkes?“ (Matthes 2011, S. 18)

Im Rahmen der Analyse von Referenzmodellen in dieser Arbeit ist besonders das pragmatische Merkmal in Hinsicht auf die Beschreibungsmöglichkeit der CAD-CAM-CNC Kette von Interesse.

### **2.2.5. Anforderungen an ein Kombiniertes Referenzmodell**

Um den Analyserahmen der vorhandenen Referenzmodelle genauer definieren zu können, wird an dieser Stelle die Anforderungen an das im Abschnitt 2.4 zu erstellendem Referenzmodells aus den Zielen dieses Projektes abgeleitet.

Es muss sich als Menge genereller Aussagen verstehen, da es Aussagen über möglichst viele kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit CAD-CAM-NC-Kette treffen soll. Die Anforderung nach einem Referenzmodell als Technik ergibt sich aus dem Ziel Handlungsempfehlungen und Vorgehensweisen zur Umsetzung der Industrie-4.0-Gedanken auf die CAD-CAM-NC-Kette geben zu können. Zuletzt muss es sich ebenfalls als terminologischer Apparat begreifen, da es die CAD-CAM-NC-Kette im Rahmen der Industrie-4.0 beschreiben muss, um in Arbeitspaket 2 (vgl. Kapitel 4) den Industrie-4.0-Reifegrad der Unternehmen mit CAD-CAM-NC-Kette beschreiben zu können.

Zur Beschreibung der IT einer CAD-CAM-NC-Kette im Kontext der Industrie 4.0 muss die CAD-CAM-NC-Kette in ihren relevanten Merkmalen dargestellt werden können. Diese müssen aus Gründen der Komplexitätsreduzierung in drei Schichten dargestellt werden. Diese sind im folgendem aufgezählt:

1. **Physische Ebene:** Hierzu zählen insbesondere die verwendeten Rechner, Maschinen, Menschen und NC-Steuerungen
2. **Datenebene:** In dieser Ebene müssen alle generierten und erhaltenen Daten und Ihre Beziehungen untereinander dargestellt werden können

3. **Prozessebene:** In dieser Ebene sollen die Unternehmensprozesse im Zusammenhang mit der CAD-CAM-NC-Kette dargestellt werden

Des Weiteren muss es möglich sein die Vernetzung im Gegenstandsbereich dazustellen.

Zwei weitere Anforderungen entstehen aus der Betrachtung innerhalb des Industrie-4.0-Kontextes. Die erste Anforderung entsteht aus den Leitgedanken der Verfügbarkeit und der Zugriffsmöglichkeit von Daten, welche für alle relevanten Objekte und Entitäten der CAD-CAM-NC-Kette modellierbar sein muss. Damit ist sowohl eine physische Vernetzung (bspw. eine Netzwerkverbindung zweier Rechner) sowie eine Vernetzung zwischen Daten und gemeint.

Die zweite Anforderung ergibt sich aus dem Betrachtungsanspruchs des Lebenszyklus. Daher muss jede Komponente in verschiedenen Abschnitten des Lebenszyklus abgebildet werden können.

Das zu erstellende Referenzmodell muss sich sowohl als Menge genereller Aussagen, als terminologischer Apparat und als Technik begreifen um den Zielen des Projektes gerecht zu werden.

Daher werden die Referenzmodelle im Folgenden nach diesen Eigenschaften untersucht. Dabei kann vorweggenommen werden, dass die Forderung nach einem normativen Referenzmodell zur Umsetzung der Industrie-4.0-Leitgedanken sehr speziell und nur ein Teil des Referenzarchitekturmodells Industrie 4.0 ist.

### **2.2.6. Grundlagen Reifegradmodelle**

Ein Reifegradmodell beurteilt, in welchem Maß Anforderungen an ein definiertes Kompetenzobjekt erfüllt sind (Ahlemann et al. 2005, S. 15). In dieser Eigenschaft handelt es sich um ein Referenzmodell als Sammlung normativer Aussagen, da für das Kompetenzobjekt des Modells einheitliche Qualitätskriterien definiert werden. Des Weiteren sortiert es diese Kriterien in Reifegrade, die in einer bestimmten Sequenz erreicht werden sollen (Ahlemann et al. 2005, S. 14–15). Somit ist es ebenfalls als Referenzmodell der Technik zu verstehen.

Dabei durchlaufen Elemente eines Systems ausgeprägte und genau beschreibbare (Entwicklungs-) Stufen innerhalb einer Zeitperiode und geben somit einen gewünschten Entwicklungspfad vor. (Nolan 1973, S. 400) Der jeweilige Reifegrad ist der indikatorabhängige Entwicklungsstand eines Betrachtungsobjekts zu einem bestimmten Zeitpunkt. Er ist vom Begriff „Fortschritt“ zu unterscheiden. „Fortschritt“ verzeichnet lediglich einen positiven Anstieg des Entwicklungsgangs, das heißt eine positive Weiterentwicklung. ("Fortschritt" auf Duden online) Ein „Reifegrad dahingegen kann aufgrund neuer, zu berücksichtigender Erkenntnisse oder erforderlicher Änderungen, die den Entwicklungsstand zurückwerfen, auch negative Gradienten im Fortlauf der Entwicklung aufweisen.“ (Akkasoglu 2013, S. 9) Die Ermittlung des individuellen Reifegrades erfolgt häufig mittels vorgegebener Bewertungsmethoden. In vielen Fällen werden Prozesse durch Reifegradmodelle beurteilt und mit den Ergebnissen werden einheitliche und überprüfbare Aussagen zum aktuellen Status und zur Qualität in der Durchführung abgeleitet. Ausgehend von der ermittelten Ist-Situation lassen sich Verbesserungsvorschläge und Handlungsempfehlungen ableiten. (IT Governance Institute 2007, 18 f.)

### **2.2.7. Architektur integrierter Systeme (ARIS)**

„ARIS – Architektur integrierter Informationssysteme (engl.: Architecture of Integrated Information Systems). Die von ARIS beschriebene Architektur wird umgangssprachlich auch als ARIS-Haus

bezeichnet.“ (Matthes 2011, S. 72)“ ARIS ist abgeleitet von CIMOSA 1989. „(Matthes 2011, S. 72) „Scheer veröffentlichte 1991 sein Buch „Architektur integrierter Informationssysteme“, in dem ARIS mit anderen Architekturen (z. B. CIMOSA) verglichen wurde.“ (Matthes 2011, S. 72) Die aktuelle Version der ARIS Software heißt ARIS 9.8 SR6 und wird von der Software AG vertrieben. (ARIS 9.8 SR6 Business Process Modeling & Analysis | Software AG)

ARIS konzentriert sich in wesentlichen Teilen auf die Abbildung und Optimierung von Geschäftsprozessen, aber enthält auch Aspekte der Implementierungsebene. (Matthes 2011, S. 73)

ARIS unterstützt Aufgaben im Rahmen des Geschäftsprozessmanagements. Das Prozessmanagement kann dabei in die vier Bereiche Strategisches Prozessmanagement, Prozessentwurf, Prozessimplementierung und Prozesscontrolling gegliedert werden. (Seidlmeier 2015, S. 4) Wie diese Bereich im Zusammenhang stehen ist in Abbildung 3 dargestellt.

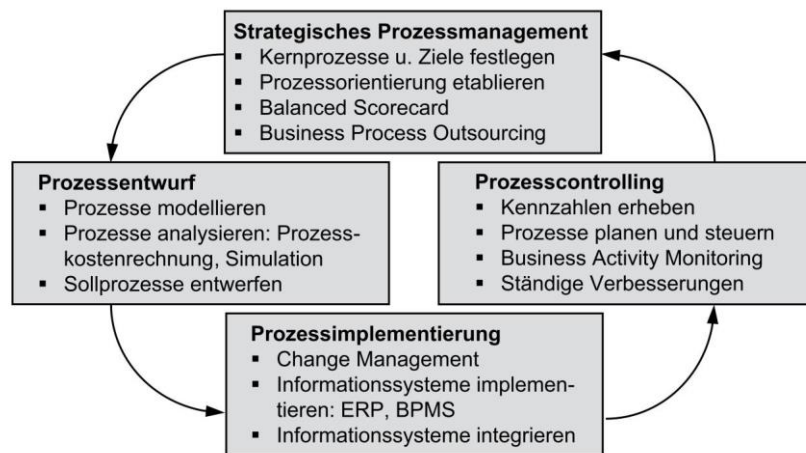


Abbildung 3 Konzept des Prozessmanagement (Seidlmeier 2015, S. 5)

Im Folgenden sind die verschiedenen Softwarelösungen für diese Bereiche aufgelistet (Seidlmeier 2015, S. 9):

- **Strategisches Prozessmanagement:** ARIS Business Strategy
- **Prozessentwurf:** ARIS Architect, ARIS Designer, ARIS Express, ARIS Simulation, ARIS Connect
- **Prozessimplementierung:** ARIS Publisher, ARIS for SAP Solutions, ARIS Process Governance, ARIS Connect
- **Prozesscontrolling:** ARIS Process Performance Manager, ARIS Mashzone, Model-to-Execute

An dieser Stelle wird genauer auf den Prozessentwurf eingegangen, um bewerten zu können, inwiefern die CAD-CAM-NC-Kette mittels ARIS modelliert werden kann. Der Prozessentwurf untergliedert sich in die vier Ebenen „Prozessoptimierung“, „Prozessmanagement“, „Workflow“ und „Bearbeitung“. Methoden und Werkzeuge für ein referenzmodellbasiertes Softwarekonzept. dienen zusätzlich der Rückkopplung zwischen den Ebenen, um eine kontinuierliche Verbesserung der Geschäftsprozesse zu erreichen. (Scheer 1999, S. 368–369)

In ARIS sind die folgenden Modellierungsobjekte enthalten (Seidlmeier 2015, S. 18):

1. Funktion,
2. Ereignis,
3. Daten,
4. Organisationselement und
5. Leistung

Zur Komplexitätsreduzierung bietet ARIS die Sichten Funktionssicht, Datensicht, Organisationssicht Steuerungs-(Prozess-)Sicht. (Seidlmeier 2015, S. 21–25)

Aris bietet die Möglichkeit, Informationssystemen mithilfe seines Lifecycle-Modells über ihren den Lebenszyklus zu betrachten. Allerdings kann der Lebenszyklus von physischen Produkten nicht betrachtet werden (Matthes 2011, S. 74)

### **2.2.8. Beschreibungsmodell zur IT-gestützten betrieblichen Informationsverarbeitung**

Das Modell wurde von Frau Prof. Dr. Albers an der Fachhochschule Düsseldorf ohne erkennbaren Bezug auf andere Modelle entwickelt. Das Thema des Modells ist: „Computergestützte betriebliche Informationssysteme: Mensch-Maschine Systeme als Instrumente zur effizienten Erfüllung betrieblicher Aufgaben“ (Albers 2005). Das Modell dient dazu, die IT-Strategie zu veranschaulichen, IT-Controlling zu vereinfachen und die Unterstützung der betrieblichen Aufgaben durch die Unternehmens-IT zu erleichtern, was „Betriebliche IT-Anwendungskonzeption“ genannt wird. (Albers 2005) Hierbei geht das Modell analytisch vor. Zurzeit gibt es keine Veröffentlichungen zu dem Modell und die Aussagen stützen sich nur auf ein Schaubild, das von der Fachhochschule Düsseldorf bereitgestellt wurde. Daher kann das Modell nicht abschließend bewertet werden.

### **2.2.9. Business Process Maturity Model (BPMM)**

BPMM ist ein Reifegradmodell zum Prozessmanagement. Ziel ist die Unterstützung von Prozessverantwortlichen beim Geschäftsprozessmanagement bei Fragestellungen hinsichtlich der Komplexitätsbeherrschung. (Hogrebe und Nüttgens 2009, S. 17)

Das Business Process Maturity Model (BPMM) wurde von der Object Management Group entwickelt und ist außerhalb der USA weitestgehend unbekannt. Das Reifegradmodell ist nichtkommerziell verfügbar und kann frei verwendet werden. BPMM unterscheidet zwischen 30 verschiedenen Prozessklassen wie zum Beispiel „Defect and Problem Prevention“, „Product and Service Deployment“ oder „Work Unit Configuration Management“. Die Prüfung der jeweiligen Prozesse findet generisch statt, sodass ausschließlich geprüft wird, was zu tun ist, jedoch nicht wie es getan wird. (Brunner 2012)

Innerhalb von BPMM sind die folgenden fünf Reifegrade definiert, welche auch in Abbildung 4 dargestellt sind (Wolle 2014, S. 135) (Hogrebe und Nüttgens 2009, S. 18–20):

1. **Initial:** Auf dieser untersten Stufe befindet sich jedes Unternehmen in dem überhaupt kein Prozessmanagement stattfindet, wo die Prozesse also weitgehend ungeplant ablaufen. Es findet lediglich problemorientiertes Ad-hoc-Management statt.

2. **Managed:** Prozesse sind definiert und wiederholbar und Abteilungen steuern ihre Prozesse isoliert. Dieses Vorgehen wird Bereichsmanagement genannt.
3. **Standardized:** Es sind unternehmensweite, standardisierte „End-to-end“-Prozesse definiert. Schriftlich fixierte Verhaltensregeln bilden die Basis für das so institutionalisierte Prozessmanagement.
4. **Predictable:** Es findet eine quantitative Planung und Überwachung der Prozesse statt, um vorhersagbare Ergebnisse zu erzielen. Dies bildet die Grundlage für das Potenzialmanagement mit dem Ziel, Standardprozesse zu optimieren.
5. **Innovating:** Die Prozesse werden kontinuierlich weiterentwickelt und verbessert. Dieses Konzept wird Innovationsmanagement genannt.

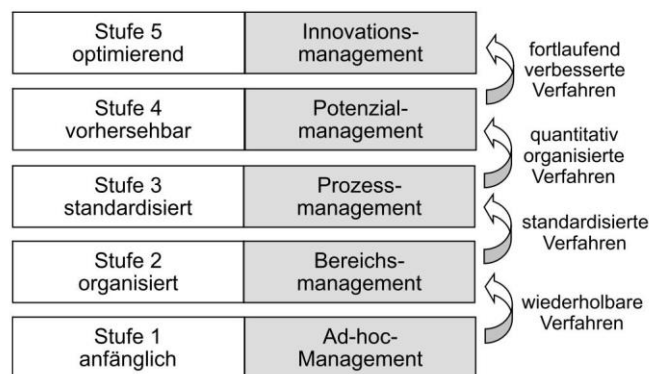


Abbildung 4 Darstellung der Reifegradstufen von BPMM (Hogrebe und Nüttgens 2009, S. 19)

Um die eine Reifegradstufe zu erreichen, werden jedem Reifegrad diverse Prozessbereiche zugeordnet. Diese werden in Teilaktivitäten und Teilziele aufgeteilt, welche den Prozessbereich genauer definieren. Für jeden Prozessbereich gibt es spezielle Ziele, welche das Unternehmen erfüllen muss, um den jeweiligen Reifegrad zu erreichen. (Hogrebe und Nüttgens 2009, S. 20)

Eine wesentliche Stärke von BPMM ist die branchenunabhängige Einführung. BPMM wird sowohl bei Banken und Finanzdienstleistern als auch bei Beratungsunternehmen und Unternehmen der medizinischen Versorgung eingesetzt. Weiterhin besteht die Möglichkeit, BPMM nur in Teilbereichen des Unternehmens einzuführen. Eine Schwäche von BPMM ist, dass die Prozesse oder Prozessklassen nicht gewichtet werden können. (Hogrebe und Nüttgens 2009, S. 24)

### 2.2.10. Business Process Model and Notation (BPMN)

„Die BPMN, sprich die „Business Process Model and Notation“, ist ein weltweit verbreiteter Standard zur Prozessmodellierung, genauer zur graphischen Darstellung, aber auch zur – derzeit weit weniger häufigen – maschinellen Ausführung von Prozessen.“ (Seidlmeier 2015, S. 159) BPMN ist nicht in Konkurrenz zu ARIS zu betrachten, da BPMN nur für die Prozessmodellierung und ARIS für die Unternehmensmodellierung konzipiert ist. (Seidlmeier 2015, S. 159) So lässt BPMN ebenfalls in der ARIS Software modellieren. (Seidlmeier 2015, S. 166–167). „Die „Business Process Model and Notation“(BPMN) [...] entstand aus der Business Process Modeling Language (BPML) von der Business Process Management Initiative (BPMI)“. (Seidlmeier 2015, S. 160)

„Der Hauptzweck von BPMN 2.0[welches die aktuelle Version ist (Object Management Group 2016)] ist die grafische Modellierung von Unternehmensprozessen. Man kann eine eher fachliche (anwendernahe, betriebswirtschaftliche) und eine eher technische (entwicklernahe,



implementierungsorientierte) Modellierung unterscheiden. Anwender und Entwickler sollen über gleichartige Modelle ein gemeinsames Problemverständnis entwickeln („Business/IT-Alignment“). (Seidlmeier 2015, S. 160)

Die BPMN-Kernelemente Flussobjekte, Verbindende Objekte und Artefakte sind in Abbildung 5 dargestellt. Flussobjekte stellen den Kern des Prozesses dar, verbindende Objekte geben Reinfolgen und Verbindungen an und durch Artefakte können zusätzliche Informationen zum Prozess bereitgestellt werden. (Freund et al. 2010, S. 21)

Zu den Flussobjekten zählen Aktivitäten, Ereignisse und Gateways. Aktivitäten geben an, was getan werden muss und durch die Ereignisobjekte können Geschehnisse modelliert werden. Durch Gateways können Bedingungen dargestellt werden. (Freund et al. 2010, S. 21).

Pools werden genutzt, um organisatorische Einheiten im Prozess darzustellen. Fluss-Objekte können durch Sequenzflüsse oder Nachrichtenflüsse verbunden werden. Diese werden in Abhängigkeit davon verwendet ob die Flussobjekte innerhalb eines Pools oder zwischen zwei Pools verbunden werden. Werden Fluss-Objekte innerhalb Pools verbunden wird der Sequenzfluss verwendet, andernfalls der Nachrichtenfluss. (Freund et al. 2010, S. 21).

Durch Artefakte, wie z.B. Datenobjekte, können zusätzliche Informationen für den Prozess bereitgestellt werden. Diese haben allerdings keinen Einfluss auf den Ablauf des Prozesses. Artefakte können prinzipiell mit jedem Flussobjekt durch Assoziationen verbunden werden. (Freund et al. 2010, S. 21).

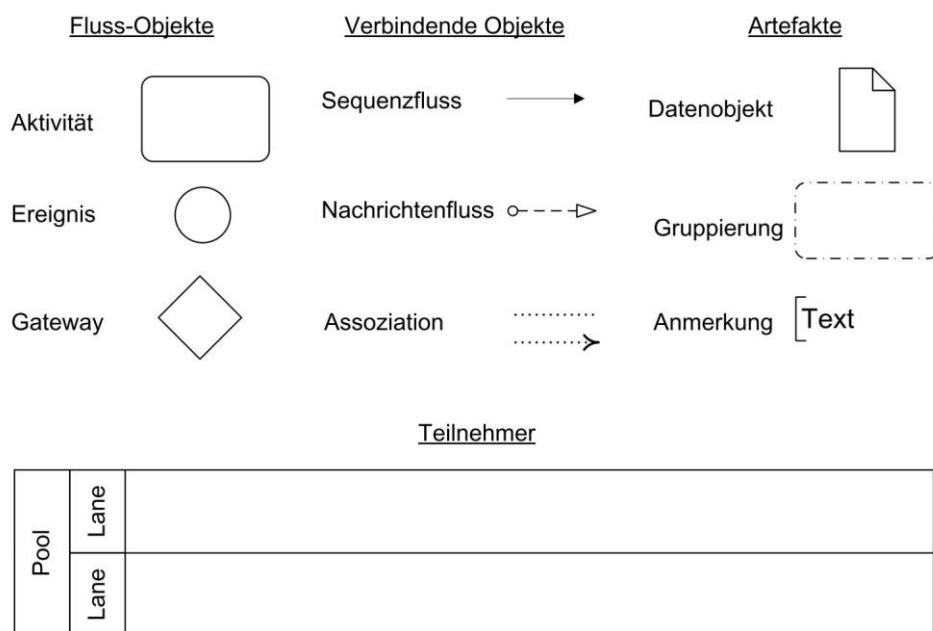


Abbildung 5 Darstellung der BPMN Kernelemente (Freund et al. 2010, S. 21)

Insgesamt gibt es über 100 Elemente in BPMN (Seidlmeier 2015, S. 161). Zur Prozessdarstellung bietet BPMN 2.0 die vier Diagrammtypen Prozessdiagramme, Choreographie-Diagramme, Kollaborationsdiagramme und Konversationsdiagramme (Seidlmeier 2015, S. 162–164)

BPMN wurde für die Modellierung von Prozessen entwickelt und kann die folgenden Strukturen nicht abbilden (Freund et al. 2010, S. 20):

- Prozesslandschaften
- Aufbauorganisation
- Daten
- Strategien
- Geschäftsregeln
- IT-Landschaften

### 2.2.11. Capability Maturity Model Integration (CMMI)

CMMI wird zur Verbesserung von Unternehmensprozessen angewendet (CMMI Product Team 2002, S. 15). Es gibt unterschiedliche CMMI Modelle die auf Basis des CMMI Rahmenwerks erstellt wurden. Diese können in kontinuierliche Modelle und Stufenmodelle zur Darstellung von Prozesskategorien unterteilt werden. (CMMI Product Team 2002, S. 16)

Ursprünglich wurde CMMI für die Reifegradentwicklung von Softwareentwicklungsprozessen entwickelt. Heute ist es der Standard in den Entwicklungsabteilungen der deutschen Automobilindustrie. (Brunner 2012)

Bei der Erstellung eines CMM können die Wissensbestände Systems Engineering, Software Engineering, Integrated Product and Process Development und Supplier Sourcing zurückgegriffen werden. Diese Disziplinen decken unterschiedliche Betrachtungsräume ab (CMMI Product Team 2002, S. 17) Elementare Komponenten dieser Disziplinen sind Prozessbereiche, spezifische Ziele und spezifische Methoden. Bei den Prozessbereichen handelt es sich um Sammlungen spezifischer Ziele, die für diesen Bereich als signifikant betrachtet werden. Zum Erreichen dieser Ziele gibt es spezifische Methoden. (CMMI Product Team 2002, S. 31) Die Verbesserung innerhalb der Prozessbereiche kann einerseits stufenförmig erfolgen, wie in den meisten Reifegradmodellen zu finden, oder andererseits kontinuierlich, was eine detailliertere Darstellung zulässt (Shavrov, S. 5). Unabhängig von der Unterteilung in kontinuierliche diskontinuierliche Modelle enthält jedes CMMI Modell die Prozess-Kategorien Process Management, Project Management, Engineering und Support. (CMMI Product Team 2002, S. 61–62) Die kontinuierliche Variante verwendet sogenannte „Capability Levels“, um die Prozessverbesserung der einzelnen Prozessgebiete zu messen. Die stufenweise Variante ermittelt nicht den Reifegrad einzelner Prozessgebiete, sondern den Reifegrad der gesamten Organisation als „Maturity Level“. Die Reifegradeinteilungen von CMMI werden für die kontinuierlichen Modelle in

Tabelle 1 und für die Stufenvariante in

Tabelle 2 aufgelistet.

	Capability Level	Merkmale
0	Incomplete	Ein Prozess wird nicht oder nicht vollständig durchgeführt, ein oder mehrere spezifische Ziele werden nicht erreicht.
1	Performed	Alle spezifischen Ziele eines Prozessgebietes werden erreicht.
2	Managed	Ein Prozess wird geplant, die Einhaltung des Plans wird kontrolliert und Abweichungen gegebenenfalls korrigiert.
3	Defined	Es werden bewährte Standardprozesse eingesetzt, die detailliert beschrieben werden. Außerdem liegt ein Verständnis über die Beziehungen zwischen den verschiedenen Prozessaktivitäten vor.

4	Quantitatively Managed	Ein Prozess wird mit Hilfe von statistischen und anderen quantitativen Methoden gesteuert und damit vorhersagbar.
5	Optimizing	Ein Prozess wird kontinuierlich verbessert, indem Abweichungsursachen behoben werden.

Tabelle 1 Reifegradeinteilung des CMMI in der kontinuierlichen Variante (Kneuper 2007, S. 17)

	Maturity Level	Merkmale
1	Initial	Ad hoc; chaotische Prozesse kennzeichnen diesen Reifegrad; Erfolg ist personen- und nicht von dem Einsatz bewährter Prozesse abhängig; Termin- und Budgetüberschreitungen sind typisch.
2	Managed	Prozesse werden geplant, durchgeführt, überprüft und gesteuert.
3	Defined	Prozesse sind gut charakterisiert, werden verstanden und in Standards, Werkzeugen und Methoden beschrieben; Prozesse werden proaktiver und detaillierter als im 2. Level geplant und durchgeführt.
4	Quantitatively Managed	Quantitative Zielvorgaben für Qualitätsüberprüfung und Prozessdurchführung sind etabliert, die Prozessdurchführung wird damit vorhersagbar.
5	Optimizing	Es erfolgt eine kontinuierliche Prozessverbesserung aufgrund technologischer Innovationen und der Feststellung und Behebung allgemeiner Prozessstörungen.

Tabelle 2 Reifegradeinteilung des CMMI in der stufenweise Variante (Kneuper 2007, S. 16)

## 2.2.12. Computer Intergrated Manufacturing open System-Architecture (CIMOSA)

CIMOSA ist ein Rahmenwerk zur Unternehmensmodellierung, dass bei der Entwicklung und Implementierung von Computer Integrated Manufacturing(CIM)-Systemen und –Komponenten eingesetzt wird. Für diese Anwendungsfälle hält es eine entsprechende Methodik bereit. Innerhalb dieser werden die Produktionsaufgaben grundsätzlich in generische und spezifische Funktionen unterteilt. Die Nutzung dieser Funktionen wird wiederum in drei miteinander in Beziehung stehenden Konzepten definiert. (Matthes 2011, S. 82–83)

- **Generische Funktionen** können von jedem Unternehmen, unabhängig von seiner Größe, Geschäftsgebiet und Organisation ausgeführt werden. Hierzu zählen Funktionen wie die Kontrolle von Workflows und Kommunikationsmanagement.
- **Spezifische Funktionen** sind vom individuellen Unternehmen abhängig. Zu diesen Prozessen kann bspw. Die Produktentwicklung, Terminierung von Versand oder Wartung von Equipment sein. (Matthes 2011, S. 83)

Das erste Konzept ist das CIMOSA Modeling Framework, welches sich als Anleitung zum Entwickeln einer Unternehmensstruktur versteht. Es wird durch den CIMOSA CUBE in Abbildung 6 dargestellt. Dabei Steht ein Würfel für einen bestimmten Teil der Entwicklung einer CIM-Komponente. Die Vertikale Achse zeigt die Entwicklungsschritte Requirements Definition, Design Specification und Implementation Description des CIMOSA Phasenkonzepts. Die vordere

waagerechte Achse zeigt die Spezifizierungsschritte generic, partial und particular der Komponente. Diese Blöcke einer Achse sind in Abfolge beim Komponententwurf zu betrachten und folgen der Prämisse vom Allgemeinen zum Speziellen. Die vertikale Achse gibt die Sichtweisen auf die Komponente an Organisation, Ressource, Information und Function an. (Matthes 2011, S. 83–84)

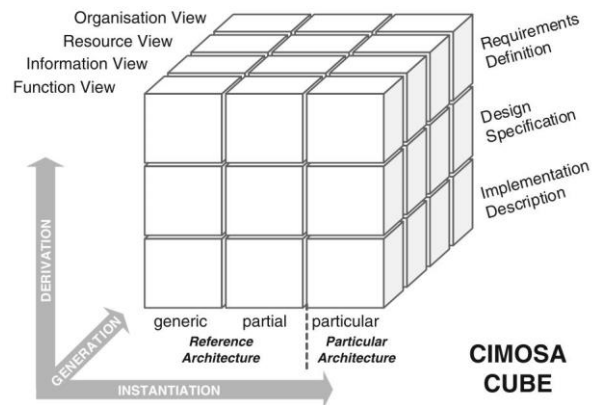


Abbildung 6 : Darstellung des ersten Konzeptes anhand des zugehörigen CIMOAS-CUBE (Matthes, S. 84)

Das zweite Konzept ist die CIMOSA Integrating Structure, die auch CIMOSA 2 genannt wird. CIMOSA 2 bietet die Möglichkeit, Hardware und Funktionen in ein CIM-System zu integrieren. Dabei bietet es die Möglichkeit, spezifische Funktionen mit generischen Funktionen zu verknüpfen und auszuführen. (Matthes 2011, S. 84)

Das dritte Konzept beschreibt das Informationssystem Lebenszyklus und unterteilt dieses in die 6 Phasen (Matthes 2011, S. 84):

1. Requirements
2. Design
3. Implementation
4. Release
5. Operate
6. Maintain

CIMOSA bietet jedoch keine Möglichkeit Physische Komponenten, außer den Menschen zu berücksichtigen.

### 2.2.13. DeLone and McLean Informationssystem (IS) Success Model

Das DeLone und McLean Information Systems Success Model ist ein Rahmenwerk, dass komplexe, abhängige Variable in der Informationssystem Forschung misst. Das DeLone and McLean Model baut auf zwei konträren Theorien auf. Hierbei handelt sich um eine Theorie über Kommunikation und Informationseinflusstheorie. Die Kommunikationstheorie betrachtet Informationen seriell in den verschiedenen Stationen ihrer Entstehung bis hin zur Auswirkung beim Empfänger. Indem ein Informationseinflusslevel zusätzlich zum Informationslevel hinzugefügt wurde, leitete DeLone und McLean 6 Kategorien von IS Erfolg ab. Diese werden Systemqualität, Informationsqualität, Nutzen, Nutzerzufriedenheit, Individueller Einfluss und Organisatorischer Einfluss genannt. Diese Kategorien werden benutzt, um die Forschung am Informationssystem zu organisieren, potentielle Variablen für jede Kategorie zu identifizieren und schlussendlich ein

deskriptives Modell für das Informationssystem zu entwickeln. (E. Niemi und S. Pekkola 2009, S. 1–10)

Dabei geht das Modell analytisch vor. Es werden die Verbindungen bzw. die Informationsflüsse zwischen sechs Dimensionen identifiziert, beschrieben und analysiert. (Gemik et al. 2010, S. 6–10):

1. Information Quality (Informationsqualität)
2. Systems Quality (Systemqualität)
3. Service Quality (Servicequalität)
4. Usage Intentions/System-Use (Beabsichtigte Nutzung/Nutzung)
5. User Satisfaction (Nutzerzufriedenheit)
6. Net System Benefits (Nettonutzen)

### 2.2.14. EDEN – Reifegradmodell

Ziel von Eden ist die Optimierung von Geschäftsprozessen. Dazu werden verschiedene Reifegrade definiert. Dadurch kann der Ist-Zustand eines Unternehmens erfasst und diesem ein Sollzustand zugeordnet werden. Aufbauend darauf kann eine Strategie zur Erreichung des Soll-Zustandes entwickelt sowie der Verlauf der Strategieumsetzung dargestellt werden. (Allweyer und Knuppertz 2009, 2009, S. 3)

EDEN wurde vom deutschen Business Process Management (BPM) Club entwickelt und ist branchenunabhängig, sodass sich die Kriterien auf jede Organisationsform anwenden lassen. Der Reifegrad wird anhand von 170 Einzelkriterien in neun Dimensionen abgebildet. (Brunner 2012) Diese neun Dimensionen sind in Abbildung 7 dargestellt.

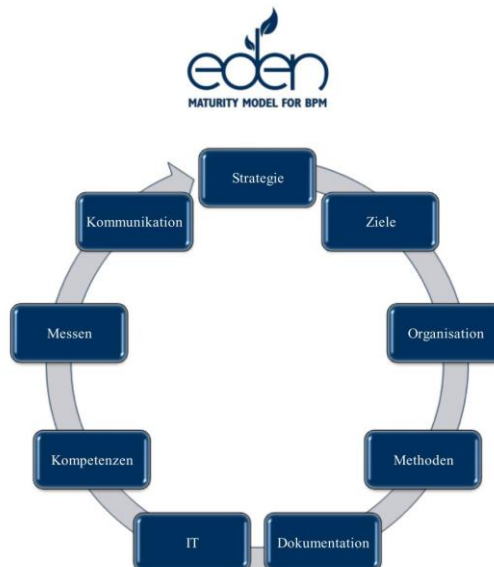


Abbildung 7 Dimensionen des Eden Modells (Allweyer und Knuppertz 2009, S. 5)

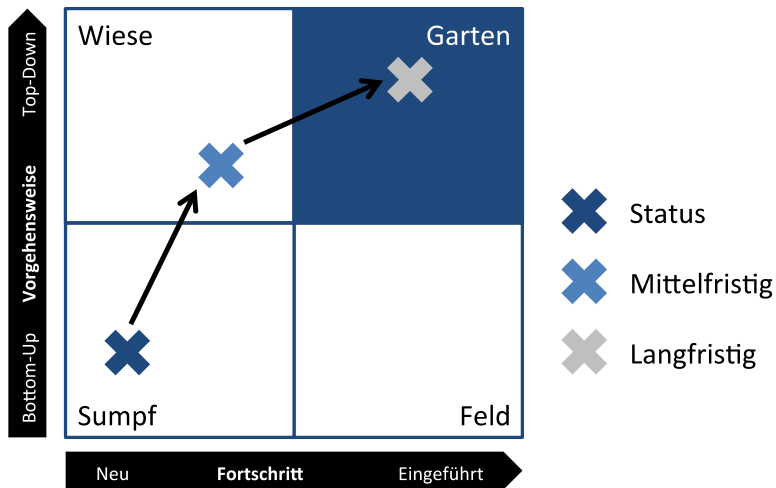


Abbildung 8 EDEN Positionierungsmatrix Beispiel „Top Commitment“  
(in Anlehnung an: Allweyer und Knuppertz 2009, S. 10)

Nachdem für alle 170 Kriterien ein Soll-Zustand definiert wurde und der Ist-Zustand aufgenommen ist, kann jede Dimension in eine der sechs Reifegradstufen eingeordnet werden: (Allweyer und Knuppertz 2009, S. 7–8)

1. **Chaotisch:** Durchführung und Ergebnisse des Prozessmanagements sind unvollständig, zufällig oder nicht vorhanden.
2. **Ansatzweise:** Initiale Aktivitäten zum Aufbau eines Prozessmanagements sind durchgeführt und erste Maßnahmen wurden ergriffen.
3. **Fortgeschritten:** Umfangreiche Aktivitäten zum Aufbau eines unternehmensweiten Prozessmanagements sind durchgeführt. Die Prozessmanagementaktivitäten werden im Kontext eines durchgängigen Ansatzes koordiniert.
4. **Durchgängig:** Prozessmanagement ist im ganzen Unternehmen etabliert. In allen EDEN-Dimensionen ist ein spürbarer Grad an Anwendung erreicht.
5. **Gesteuert:** Prozessmanagement wird zielorientiert und effizient im Unternehmen angewandt und das Prozessmanagement auf Basis von Messungen weiterentwickelt
6. **Nachhaltig:** Die Prozesskultur ist Bestandteil der Unternehmenskultur. Das Denken in Prozessen und die Anwendung des Prozessmanagements in allen Bereichen sind fest im gesamten Unternehmen und im Bewusstsein aller Mitarbeiter verankert.

EDEN selbst erstellt kein konkretes Vorgehensmodell, aber definiert den aktuellen Status sowie mittelfristige und langfristige Ziele. Dazu erfolgt eine Einordnung in die zwei Dimensionen „Fortschritt“ (Extremwerte: „Neu“ zu „Eingeführt“) und „Vorgehen“ (Extremwerte: „Bottom-Up“ zu „Top-Down“). „Die gegenwärtige Situation wird ebenso wie das mittelfristige und langfristige Ziel in eine Positionierungsmatrix aus den genannten Dimensionen „Fortschritt“ und „Vorgehen“ eingeordnet[...]. Dies ist in Abbildung 8 dargelegt. Es ergibt sich eine Zuordnung zu einem der folgenden vier Felder:“ (Allweyer und Knuppertz 2009, S. 9) Sumpf, Wiese, Feld, Garten. Das Ziel ist unabhängig vom aktuellen Status des Feldes „Garten“. (Allweyer und Knuppertz 2009, S. 9) Auf

dem Weg dorthin lassen sich je nach Voraussetzungen und Rahmenbedingungen des betrachteten Unternehmens unterschiedliche Strategien definieren.

### **2.2.15. Enterprise Architecture Management (EAM)**

EAM wird auch als Unternehmensarchitekturmanagement bezeichnet (Ross et al. 2013). Das Model gilt als zentrales Bindeglied zwischen IT-Strategie, Implementierung, Betrieb, Sicherstellung einer werthaltigen und zielstrebigem Ausrichtung an den Unternehmenszielen. (Friedrichsen und Schrewe 2010) Das Modell soll die Leistungsinfrastrukturen im Hinblick auf die Unternehmensziele und Geschäftsmodelle optimieren (BITKOM 2011). Außerdem wird die zunehmende Komplexität der Unternehmens-IT im Rahmen gehalten, die Kosten überwacht und Lücken im IT-Portfolio aufgedeckt (Seidlmeier 2015). Ein weiteres Ziel der EAM ist es, die Innovation und die Differenzierung zu unterstützen (Friedrichsen und Schrewe 2010).

Das EAM ist aus verschiedenen IT-Strategien hervorgegangen, die alle das Business und die Informationstechnik als gemeinsames Ganzes sehen. Als Urvater des EAM, welches in den 1980er Jahren zum ersten Mal in Erscheinung trat, wird John Zachman bezeichnet. (Friedrichsen und Schrewe 2010; Zachman 1987) Zudem hat EAM die Aufgabe die EA weiterzuentwickeln (BITKOM 2011).

EAM ist ein analytisches Modell, das versucht die Architektur des gesamten Unternehmens bzw. Systems zu erfassen und Optimierungspotenziale aufzudecken. (BITKOM 2011) Es stellt zum einen eine Capability Map auf, die Beziehungen von Geschäfts- und Investitionsstrategie dokumentiert und eine Landkarte der Capabilities zur Verfügung stellt (BITKOM 2011). Darüber hinaus dienen Bebauungspläne (sogenannte Bebauungsdiagramme) zur Visualisierung von Datenbanken, Services, Architektur, Geschäftsprozesse. In diesem Zusammenhang wird bei Datenbanken und Services auch von Softwarekarten gesprochen. (BITKOM 2011)

Vorteilhaft an EAM ist, dass es in hohem Maße Transparenz schafft, indem die bestehende IT-Landschaft bzw. die Ist-Architektur modelliert und strukturiert wird, um zum Beispiel Sparpotenziale aufzudecken (BITKOM 2011). Zudem weist EAM genau aus, in welchem Maße die Unternehmens-IT zum Erfolg des Geschäftsmodells beiträgt. (BITKOM 2011) EAM erleichtert die Formulierung realistischer Planungsprämissen, indem es ein ganzheitliches Verständnis der Zusammenhänge zwischen Unternehmensstrategie, Geschäftsmodell sowie unterstützender IT schafft. Zudem unterstützt EAM die IT-Transformation.(BITKOM 2011)

Zu seinen Besonderheiten zählt weiter, dass es aus den vier Architekturebenen Geschäftsarchitektur, Informations-, Anwendungs-, Geschäfts- und technologische Architektur besteht. Des Weiteren steht es in enger Wechselbeziehung mit EA, SOA (Service-orientierte Architektur) und BPM (Business Process Management). (BITKOM 2011) Diese Architekturen sind in Abbildung 9 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass im EAM keine ausreichende Möglichkeit besteht, eine physikalische Ebene mit Arbeitsmaschinen zu modellieren.

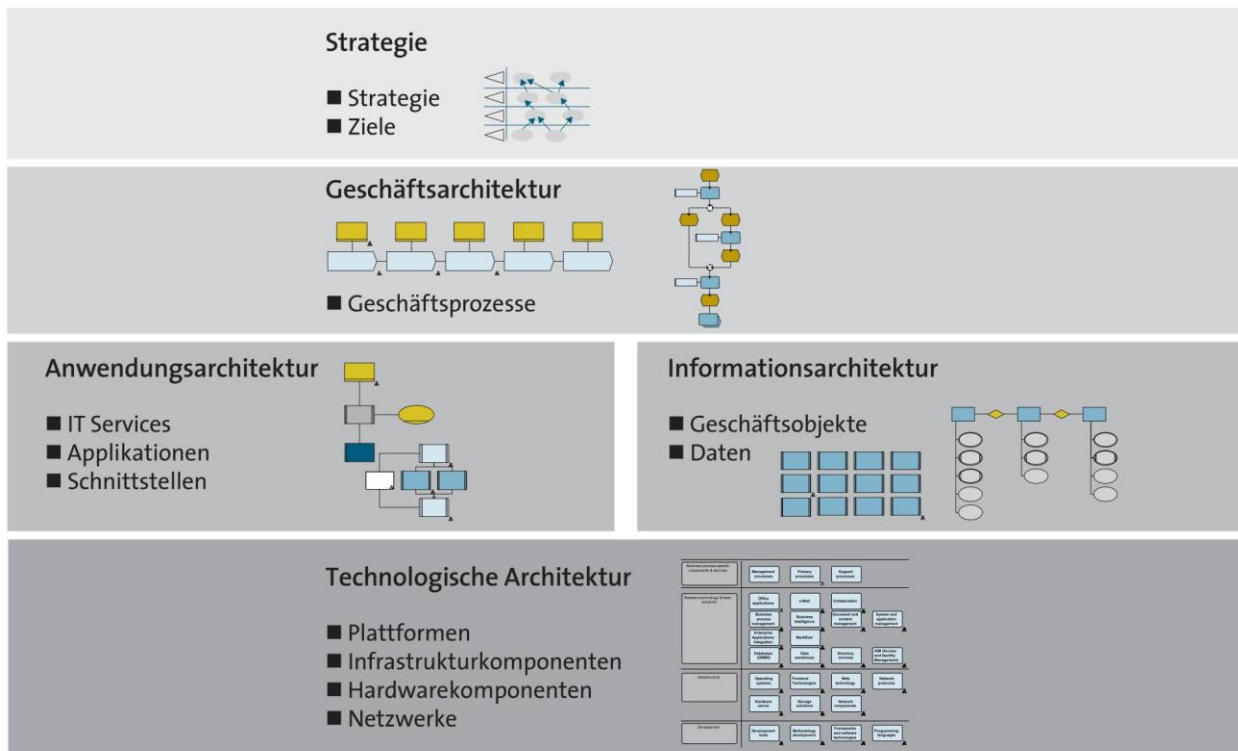


Abbildung 9 Darstellung der betrachteten Architekturen im EAM (Gerhard Auer et. al 2011, S. 13)

## 2.2.16. Enterprise Architecture (EA)

EA ist eine Theorie und Methode um die Unternehmens- und IT-Ausrichtung zu unterstützen. (Xueying Wang et al. 2008). EA ist ein vergleichendes Rahmenwerk, welches das Ziel verfolgt, die IT einer Organisation mit Menschen, Aktionen, Projekten und operativen Charakteristika der Organisation in Einklang zu bringen. (Xueying Wang et al. 2008, S. 740) Das EA Konzept wurde von 1987 von John Zachman entwickelt. Heute dominieren vier Ausprägungen das Feld EA. Diese sind das Zachman Framework, The open Group Architecture Framework (TOGAF), Federal, Enterprise Architecture (FEA) und Gartner EA- process. (Xueying Wang et al. 2008, S. 742)

Es beinhaltet die vier Kernelemente (Xueying Wang et al. 2008, S. 742):

1. Geschäftsarchitektur
2. Anwendungsarchitektur
3. Daten Architektur
4. Technologie Architektur

Daraus ergibt sich, dass keine physische Ebene betrachtet wird und Arbeitsmaschinen nicht dargestellt werden können. Ebenfalls liegt der Schwerpunkt nicht auf der Berücksichtigung produzierenden Unternehmen.

## 2.2.17. Entity-Relationship-Diagramme (ERM/ER-Modell)

Das Entity-Relationship Modell ist ein Datenmodell und beinhaltet eine grafische Methode, mit der Entity-Relationship- Diagramme (ERD) zur Gestaltung von Datenbanken (Chen 1976, S. 9) erstellt werden können. Dort werden die vier Schichten Entity, Attribute, Value und Relationship berücksichtigt. Eine Beispieldarstellung eines ERD ist in Abbildung 10 gegeben.



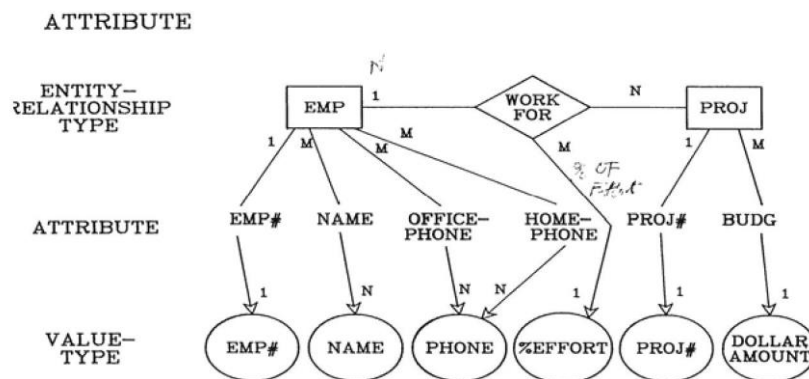


Abbildung 10 Beispiel für ein Entity Relationship Diagramm (Chen, S. 4)

Eine Entität ist ein eindeutig definiertes Objekt, welches zum Beispiel eine Person, ein Unternehmen, oder ein Ereignis sein kann. Es wird in einem Entity-Relationship-Diagramm(ERD) durch ein Rechteck dargestellt. Eine Relationship (Beziehung) ist eine Assoziation zweier Entitäten. Ein Beispiel hierfür ist die Beziehung „Arbeitet für“. Sie werden in ERD durch Rauten dargestellt. Die Werte bzw. Values werden durch Kreise dargestellt und beinhalten zusätzliche Informationen zur Entität. Attribute dienen der Abbildungen von Einstellwerten von Entitäten und Beziehungen. (Chen, S. 3–4)

### 2.2.18. European Foundation for Quality Management Modell

Der European Foundation for Quality Management (EFQM) Excellence Ansatz ist eine moderne Umsetzung der Total-Quality-Management-Idee. Die aktuellste Version ist das EFQM Excellence Modell 2013, welches unter Qualitätsmanagern eine hohe Bekanntheit genießt. Das Modell beinhaltet acht Grundkonzepte:

1. Dauerhaft herausragende Ergebnisse erzielen
2. Nutzen für Kunden schaffen
3. Mit Vision, Inspiration und Integrität führen
4. Veränderungen aktiv managen
5. Durch Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erfolgreich sein
6. Kreativität und Innovation fördern
7. Die Fähigkeiten der Organisation entwickeln
8. Nachhaltig die Zukunft gestalten

Exzellente Organisationen zeigen zu allen Grundkonzepten einen hohen Reifegrad. (Sommerhoff 2013) Das EFQM Excellence Modell greift die Grundkonzepte der Excellence inhaltlich durch vier Ergebniskriterien und fünf sogenannte Befähigerkriterien auf. Dies ist in Abbildung 3 zu sehen. Dabei liefert es keine Checkliste oder eine Vorgehensbeschreibung, wird aber in vielen Fällen als Methode zur Selbstbewertung verwendet. (Sommerhoff 2013)

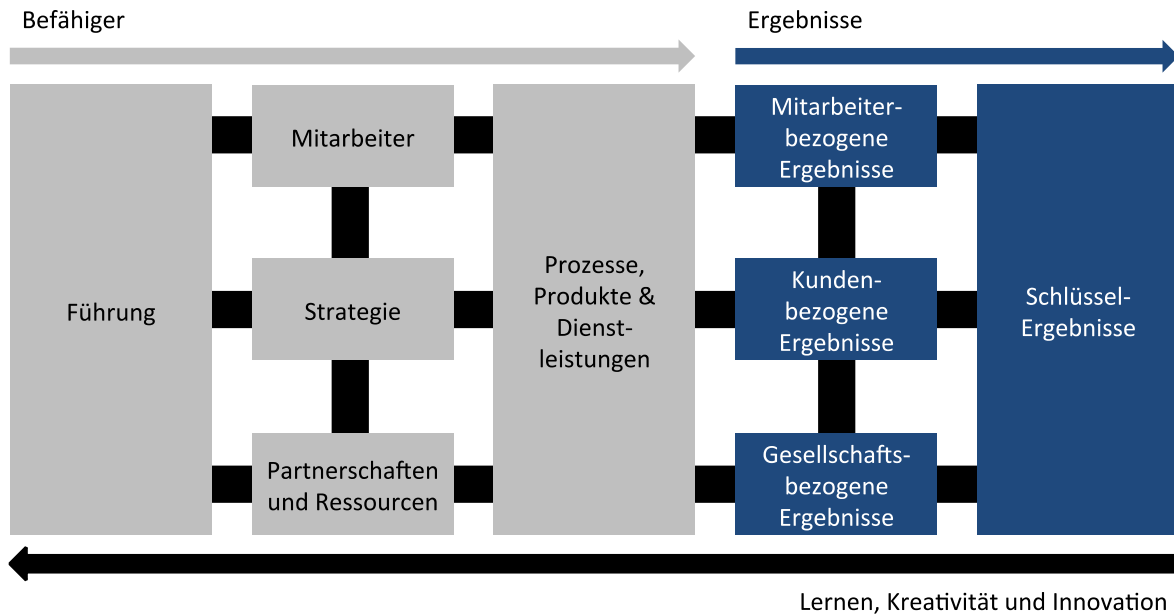


Abbildung 11: Das EFQM Excellence Modell (Sommerhoff, 2013, S. 3)

Durch einen Algorithmus werden die Ergebniskriterien und Befähigerkriterien des EFQM Excellence Modells bewertet. Bewertungsgrundlage sind die RADAR-Attribute „Results“, „Approach“, „Deployment“, „Assessment“ und „Refinement“. Die Bewertung erfolgt auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent durch die Zusammenfassung von Einzelkriterien und deren Gewichtung. (Sommerhoff 2013)

Die größte Stärke des EFQM Modells besteht in der Bereitstellung eines Instruments, durch welches Unternehmen eigenständig ihre Stärken, Schwächen und Verbesserungspotentiale erkennen und Strategien entsprechend ausrichten können. Das Befähigerkriterium „Prozesse“ wird auch in allen anderen Reifegradmodellen abgebildet. Da das EFQM Modell jedoch viele weitere Kriterien betrachtet, ist es allumfassender als die anderen betrachteten Reifegradmodelle. (Heilmann und Kneuper 2003)

### 2.2.19. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems

Das Modell soll die Entwicklung und die Verbesserung der informationstechnischen Systems unterstützen und vorantreiben, wobei hauptsächlich die Entwicklung von Software betrachtet wird. Das Modell wurde von IEEE Projektgruppen von 1995 (Beginn der Planung) bis 2000 entwickelt (IEEE's Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems becomes an American National Standard 2001) Es verfolgt mehrere Ziele:

- Die Architektur der Systeme nach IEEE Standards
- Einheitliches Vokabular und einheitliche Rahmen für die Entwicklung von „software-intensive systems“
- Unterstützung der Entwicklung dieser Systeme. (IEEE's Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems becomes an American National Standard 2001)

Dabei geht das Modell analytisch vor. Es werden alle verschiedenen Verknüpfungen, Blickwinkel, Kapazitäten und Beteiligten aufgenommen und abgebildet. Alle aufgenommenen Daten, Informationsflüsse, Teilnehmer und Blickwinkel werden in einem Diagramm visualisiert. Dabei werden bestimmte Wechselwirkungen durch verschiedene Symbole abgebildet. (IEEE's Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems becomes an American National Standard 2001)

### 2.2.20. Information Technology Infrastructure Library (ITIL)

ITIL deckt das enorme Optimierungspotenzial von Organisationsstrukturen und Prozessen auf. (Olbrich 2008) ITIL ist eine Sammlung der wichtigsten Literaturquellen zum Thema Unternehmens-IT vor dem Hintergrund des Aufbaus eines vereinheitlichenden Standards. ITIL wurde erstellt indem umfangreiche Befragungen und Ist-Aufnahmen in repräsentativen IT-Dienstleistungsunternehmen, Rechenzentren, bei Kunden und Lieferanten durchgeführt wurden. Das Ergebnis umfasste einige hundert Bücher, die als „IT Infrastructure Library“ dem Ganzen den Namen ITIL gab. Nach etlichen Konsolidierungsläufen schrumpfte das Werk auf etwa 70 Bücher zusammen, von denen heute in der Praxis vorwiegend im Kern sechs Bücher verwendet werden. Alle Bücher zum Thema ITIL sind öffentlich zugänglich. (Olbrich 2008)

### 2.2.21. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)

Bei RAMI 4.0 handelt es sich um ein Referenzmodell in Form eines terminologischen Apparats. Es bietet einen gemeinsamen Begriffsbereich, um Objekte im Kontext Industrie 4.0 beschreiben zu können. Zudem ist es als Menge normativer Aussagen zu verstehen, da es versucht, Industrie 4.0 Ansätze zu vereinheitlichen. Des Weiteren schlägt es eine Technik vor, um einen gegebenen Sachverhalt Industrie-4.0-fähig zu gestalten und mögliche Industrie-4.0-Potenziale auszuschöpfen.

Ein zentrales Element dieses Modells ist die Industrie-4.0-Komponente. Dabei wird einem Gegenstand eine sogenannte Verwaltungsschale zugeordnet. Ein Beispiel ist in Abbildung 12 gegeben. Erst eine solche Hülle macht Objekte bzw. Entitäten zu Industrie-4.0-Objekten. Dabei kann ein Objekt oder eine Entität ein physikalisches Objekt wie eine Maschine, aber auch eine nichtphysische Software, ein Entwurf oder eine Idee sein. (Adolphs 2015, S. 16–17)

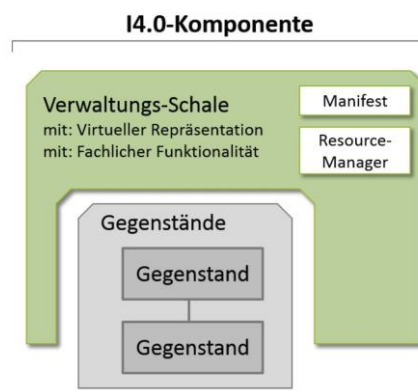


Abbildung 12 Verwaltungsschale (Adolphs 2015, S. 18)

Dabei kann der Aufbau dieser Hülle, welcher im Folgenden näher erläutert wird, als Technik oder als normative Vorgabe verstanden werden, um einen Raumzeitbereich in ein Industrie-4.0-fähiges Konstrukt zu überführen.

Ziel dieser Industrie-4.0-Komponente ist es, Daten und Funktionen in einem Informationssystem bereitzustellen. Diese Industrie-4.0-Komponenten können durch die fünf Schichten Funktionen, Virtuelle Repräsentation (Daten), Kommunikationsfähigkeit, Typ/Instanz, Gegenstands/Entität beschrieben werden. Diese sind in Abbildung 13 dargestellt. (Adolphs 2015, S. 15)

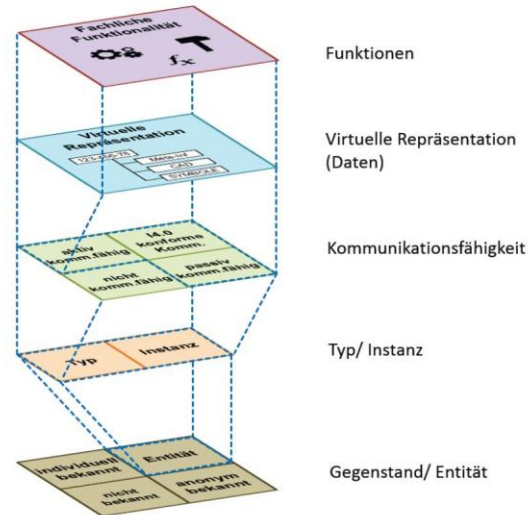


Abbildung 13 Industrie 4.0 Komponente (Adolphs 2015, S. 15)

RAMI 4.0 dient zur Veranschaulichung eines Sachverhalts im Kontext Industrie 4.0. Dadurch wird eine zielgerichtete Diskussion über Standardisierung und Normung erst ermöglicht. Bei Industrie 4.0 stehen in diesem Zusammenhang Produktentwicklungs- und Produktionsszenarien im Fokus (Adolphs 2015, S. 8). Um ein gemeinsames Verständnis, welches für die Definition von Standards, Use-Cases und Normen erforderlich ist, aufzubauen, entstand der Bedarf dieses einheitlichen Architektur-Referenzmodells. Dabei orientiert sich das Modell in seinen Grundzügen am Smart Grid Architecture Model (SGAM3), welches von der europäischen Smart Grid Coordination Group (SG-CG) definiert wurde und weltweit akzeptiert ist. Außerdem ergänzt RAMI 4.0 die Hierachiestufen aus IEC 62264 um die Stufen des Produkts bzw. Werkstücks („Product“) sowie der „Connected World“. (BITKOM et al., 41ff.)

RAMI4.0 besteht aus den drei Dimensionen „Life Cycle & Value Stream“, „Hierarchy Levels“ und „Layers“, die in Abbildung 14 dargestellt werden. Die senkrechte Dimension „Layers“ stellt die Schichten auf einen Use-Case dar (Adolphs 2015). Auf einer der nach rechts gerichteten horizontalen Achse "Life Cycle & Value Stream" wird der Produktlebenszyklus und die Wertschöpfungskette abgebildet. (Adolphs 2015) Die dritte Achse " Hierarchy Levels" verortet die Funktionen und Verantwortlichkeiten des betrachteten Objekts. (Adolphs 2015)

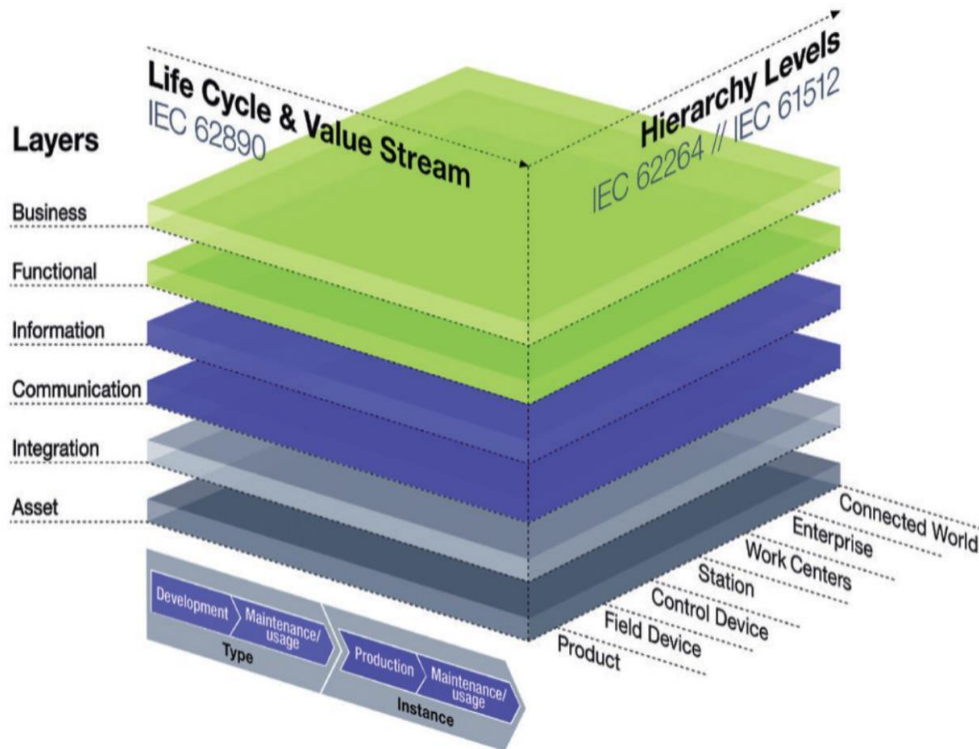


Abbildung 14: Darstellung der Dimensionen des RAMI 4.0 Industrie 4.0 Referenzmodells (Hankel und Rexroth 2015, S. 1)

In der Dimension Layers werden die sechs verschiedenen Sichtweisen des Modells dargestellt, welche im Folgenden näher erläutert werden:

- **Gegenstandsschicht** (Asset Layer): Diese Schicht stellt die Realität da und umfasst physikalische Elemente, wie Maschinen, Blechteile und Dokumente, aber umfasst auch Menschen z.B. als Anwender. (Adolphs 2015, S. 9)
- **Integrationsschicht** (Integration Layer): Aufgabe der Integrationsschicht ist die Bereitstellung von Ereignissen und rechnerverarbeitbaren Informationen des Asset Layers. (Adolphs 2015, S. 9) Sie enthält ebenfalls physikalische Geräte die zur Integration relevant sind, wie RFID Reader und human-machine Interfaces (HMI). Die Interaktion mit diesen Geräten ist ebenfalls Teil dieser Schicht. (Adolphs 2015, S. 9)
- **Kommunikationsschicht** (Communication Layer): Diese Schicht stellt die Kommunikation dar. Ihre Aufgabe ist die Vereinheitlichung der Kommunikation durch Verwendung eines durchgängigen Dateiformats. (Adolphs 2015, S. 9)
- **Informationsschicht** (Information Layer): Die Informationsschicht entspricht der Laufzeitumgebung für die Ereignisverarbeitung. (Adolphs 2015, S. 9) In dieser Schicht persistieren die Daten und werden strukturiert und bereitgestellt. Außerdem werden Ereignisse entgegengenommen und zu Daten für die Funktionsschicht transformiert. (Adolphs 2015, S. 9)

- **Funktionsschicht** (Functional Layer): Diese Schicht ist die Plattform für die horizontale Integration, die Laufzeitumgebung und die Modellierungsumgebung für die verschiedenen Funktionen dar. (Adolphs 2015, S. 8)
- **Geschäftsschicht** (Business Layer): Diese Schicht stellt die Geschäftsmodelle und den sich daraus ergebenden Gesamtprozess dar. Sie empfängt Ereignisse und schaltet damit den Geschäftsprozess weiter und orchestriert die verschiedenen Dienste der Funktionsschicht. (Adolphs 2015, S. 8)

Die Dimension „Life Cycle & Value Stream“ stellt den gesamten Lebenszyklus von Produkten, Maschinen, Fabriken und Ähnlichem dar. Dabei orientiert sie sich an der IEC 62890. Innerhalb des Lebenszyklus wird dabei zwischen Typen (Type) und Instanzen (Instance) unterschieden. (Adolphs 2015, S. 9)

Typen beschreiben die Entstehungsphasen eines Produkts. Dabei wird noch einmal zwischen der Entwicklung (Development) und der Nutzung bzw. Instandhaltung unterschieden. Ist die Entwicklung abgeschlossen wird der Typ für die Serienproduktion freigegeben. (Adolphs 2015, S. 10) In Instanzen werden eine oder mehrere Chargen eines Typs beschrieben. Dabei wird während der Produktion jedem verkauften Produkt eine Seriennummer zugewiesen, um es eindeutig identifizieren zu können. Es ist außerdem möglich, zwischen der Phase Typ und Instanz hin und her zu wechseln, um beispielsweise zurückgemeldete Verbesserungen über eine Charge in die Typunterlagen einzuarbeiten oder um die Serienproduktion dementsprechend anzupassen. (Adolphs 2015, S. 10) Zusätzlich zu den produktbezogenen Angaben Typ und Instanz soll innerhalb dieser Dimension die Digitalisierung und Verknüpfung der gesamten Wertschöpfungskette dargestellt werden. Hierbei geht es insbesondere um die Erfassung und Verwendung von produktionsbezogenen Logistikdaten. (Adolphs 2015, S. 10)

Die letzte Dimension „Hierarchieebenen“ klassifiziert einen Sachverhalt nach seinen verschiedenen Funktionen. Dabei werden ausschließlich die Funktionalitäten der Sachlagen betrachtet und ausdrücklich nicht die Implementierung und Vernetzung. Die Implementierung und Vernetzung wird in ihren verschiedenen Ausprägungen in der Integrationsschicht, der Kommunikationsschicht und der Funktionsschicht dargestellt. Die sechs Hierarchieebenen werden in Abbildung 15 dargestellt. Dabei sind die Hierarchieebenen Connected World, Enterprise, Work Units, Station, Control Device, Field Device und Product zu unterscheiden.

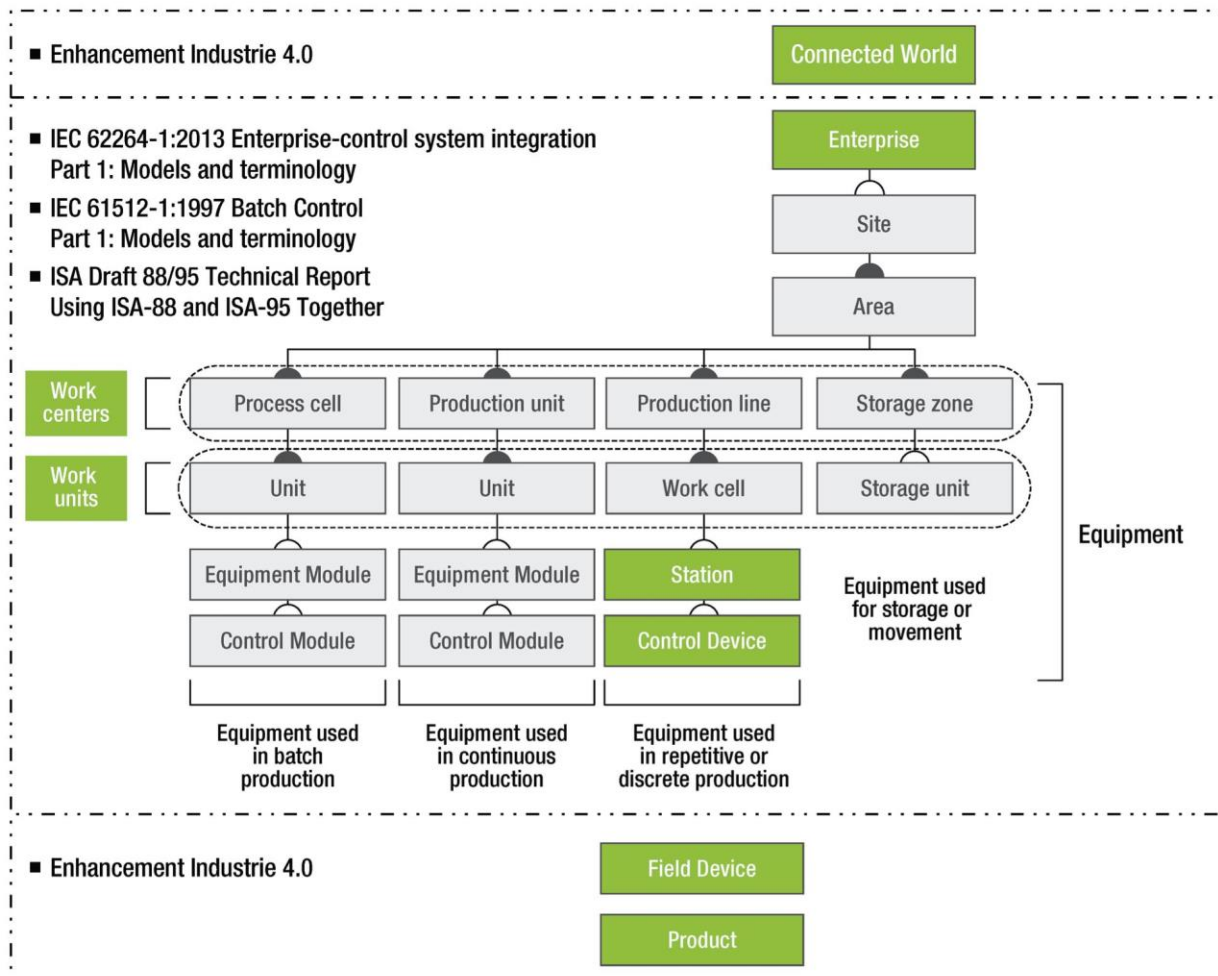


Abbildung 15: Darstellung der verschiedenen Hierarchieebenen von RAMI 4.0 (Adolphs 2015, S. 11)

Innerhalb einer Fabrik orientiert sich die Einteilung der Hierarchieebenen an den Normen IEC 62264 und EC 61512. (Adolphs 2015, S. 10) Um einen Sachverhalt innerhalb von RAMI 4.0 verorten zu können, muss der Sachverhalt nun in verschiedene Industrie-4.0-Komponenten aufgeteilt werden. Diese können sich in Abhängigkeit von den verschiedenen definierten Komponenten in unterschiedlichem Ausmaß über die Ebenen verteilen. (Adolphs 2015, S. 15)

### 2.2.22. Strategic Alignment Model (SAM)

Das Modells betrachtet die Abstimmung zwischen der IT und verschiedenen Fachabteilungen bzw. der Unternehmensführung (Useem und Kochan 1992). Das Ziel besteht in der Leitung und der Konzeptionalisierung hinsichtlich einer strategischen Managements der IT. (Pulkkinen und Hirvonen 2005) Außerdem soll der Unternehmenserfolg anhand dieses Modells gesteigert werden, indem die Zusammenarbeit der IT-Abteilungen besser an den Unternehmenszielen und an der Arbeit der verschiedenen Fachrichtungen orientiert wird. (Pulkkinen und Hirvonen 2005)

Eine Grundannahme von SAM ist, dass die ökonomische Leistung direkt von der Fähigkeit zur Abstimmung zwischen der Positionierung des Unternehmens auf dem Wettbewerbsmarkt und der administrativen Struktur des Unternehmens abhängt. Dabei wird die Marktposition „External Domain“ und die administrative Struktur „Internal Domain“ genannt. Des Weiteren besteht das Modell aus den beiden Achsen „Strategic Fit“ und „Functional Integration“. Diese werden in Abbildung 16 dargestellt. „Strategic Fit“ bezeichnet die senkrechte Achse und „Functional

Integration“ die horizontale Achse. (Avison et al. 2004) Innerhalb dieser Achsen werden die verschiedenen Entscheidungsbereiche einsortiert. So wird innerhalb des Geschäftsbereich die Domäne „Business Strategy“ im externen Teil und die „Organizational Infrastructure and Processes“ im internen Bereich einsortiert. Dies geschieht analog für die IT. Dort wird die IT Strategy im externen Teil einsortiert und die „IS Infrastructure and Processes“ im internen Teil. Die Trennung in externe und interne Domänen dient der koordinierten Abstimmung der Entscheidungsbereiche durch das Modell. Die zweite Achse „Functional Integration“ stellt die IT und den Geschäftsbereich gegenüber und ermöglicht so die Abstimmung zwischen diesen Bereichen. (Avison et al. 2004, S. 224–225) Am Schaubild ist zu erkennen, dass SAM keine Möglichkeit zur Modellierung einer physischen Ebene abseits der IT Strukturen vorsieht.

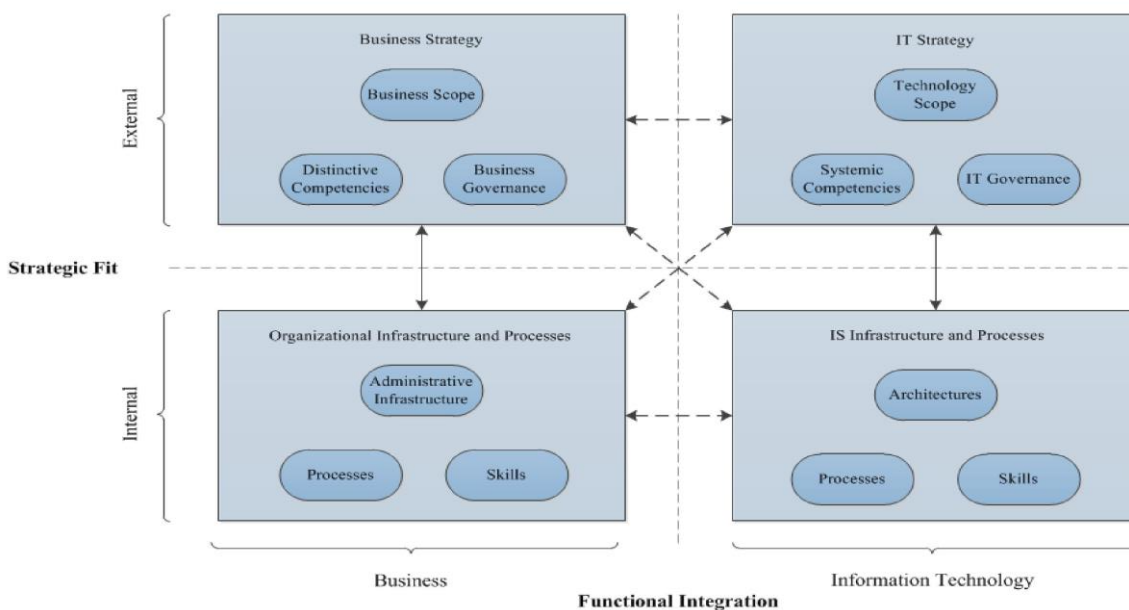


Abbildung 16 Darstellung der Elemente und Dimensionen des Strategic Alignment Modells (SAM). (Avison et al. 2004, S. 226)

Das Modell erfasst die Hardware und die Software und wird von wiederum von beiden beeinflusst. Zudem lässt sich das Modell um Dimensionen und Perspektiven erweitern. Zu den Besonderheiten des SAM Modells zählt, dass abgeschlossener Zustand, sondern ein laufender Prozess ist. (Useem und Kochan 1992)

### 2.2.23. The Open Architecture Framework (TOGAF)

TOGAF ist ein „[...]“ werkzeugunabhängiges Rahmenwerk, um technische Architekturen zu entwickeln. [MASAK 2005 S.20] Neben dem Vorgehens-Referenzmodell TOGAF ADM als Schwerpunkt des Konzeptes ist auch das TOGAF TRM als Architektur-Referenzmodell klar mit der Prämisse der Umsetzung und Methodik zu verstehen und weniger mit der konzeptuellen Darstellung einer Architektur.“(Matthes 2011, S. 188) Ziel von TOGAF ist es, die Unternehmenseffizienz zu verbessern. Es spiegelt die Struktur und den Inhalt einer Unternehmensarchitekturpotenzials innerhalb eines Unternehmens wieder(TOGAF® Version 9.1 - G116).

"TOGAF wurde von Mitgliedern des *The Open Group Architecture Forums* entwickelt. Dieses Forum ist ein IT-Konsortium, das u. A. aus Endanwendern, Dienstleistern, Beratungsunternehmen, Bildungsträgern besteht. Die Mitglieder des Konsortiums stammen zu 50% aus Nordamerika, zu



25% aus Europa und zu 25% aus dem asiatisch-pazifischen Raum." (Matthes 2011, S. 188). TOGAF TRM und ADM stammen vom TAFIM 2.0 (Technical Architecture Framework for Information Management) und deren Methodik ab. (Matthes 2011, S. 189) „TOGAF ist die Basis für das SAP Enterprise Architecture Framework. Das CLEAR Framework bediente sich der TOGAF ADM“. (Matthes 2011, S. 189)

TOGAF gliedert sich in sieben Hauptteile, wovon im Folgenden nur die Hauptkomponente Architecture Development Method (ADM) analysiert wird. (Matthes 2011, S. 189)

Die ADM gliedert sich in neun Phasen, die alle jeweils mit dynamischen Randbedingungen in Wechselwirkung stehen. Diese Phasen sind bis auf Phase 1 als Zyklus zu betrachten und werden kurz aufgelistet sowie in Abbildung 17 dargestellt: (Matthes 2011, S. 190–195)

- Preliminary Framework and Principles
  - a. Architecture Vision
  - b. Business Architecture
  - c. Information System Architectures
  - d. Technology Architecture
  - e. Opportunities and Solutions
  - f. Migration Planning
  - g. Implementation Governance
  - h. Architecture Change Management

Diese 5 Phasen gliedern sich nochmal in 8 Unterschritte. Dabei zeigt sich, dass über diese 9 Phasen ebenfalls der Lebenszyklus der Architektur dargestellt werden kann. Die 8 Unterarbeitsschritte sind folgende: (Matthes 2011, S. 190–195):

1. create baseline
2. consider Views
3. Create architecture model
4. select services
5. confirm bus. objs
6. determine Criteria
7. define architecture
8. conduct gap analysis

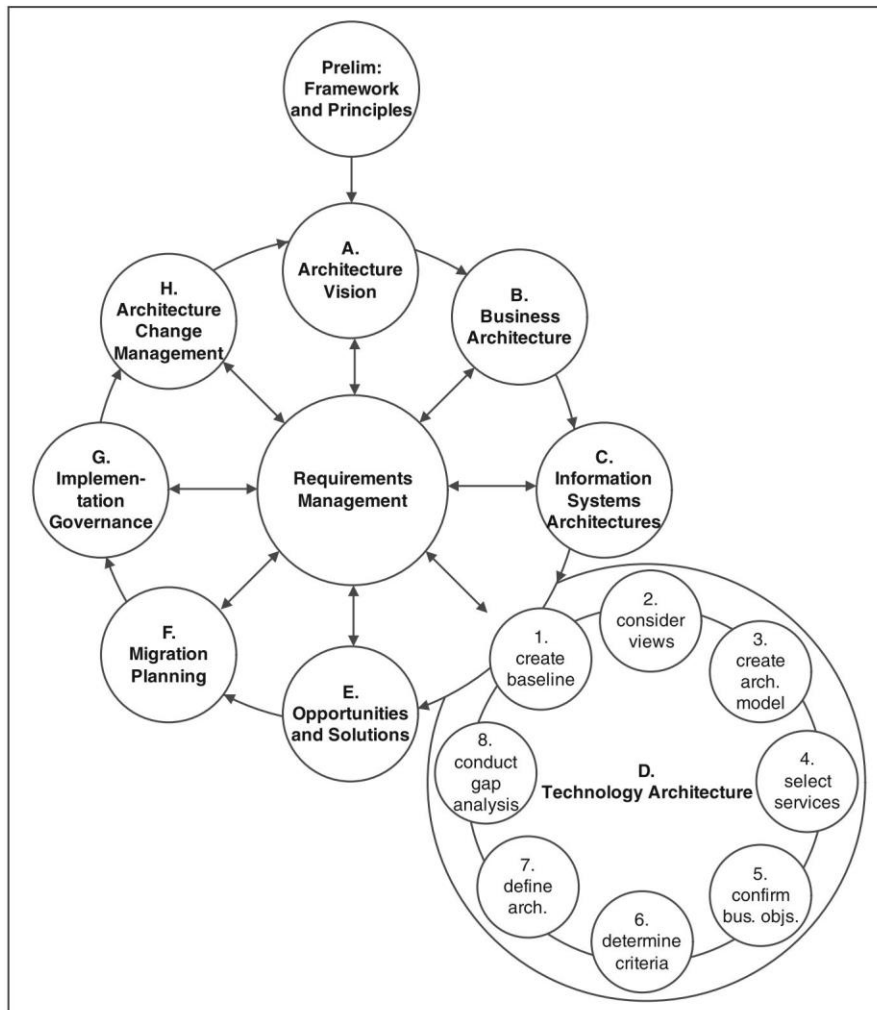


Abbildung 17 Darstellung der Abfolge der ADM Phasen (Matthes 2011, S. 191)

TOGAF berücksichtigt keine physischen Komponenten wie Menschen und Arbeitsmaschinen. (Matthes 2011, S. 199)

### 2.2.24. Vergleich vorhandener Reifegradmodelle

Zur Erstellung des kombinierten Referenzmodells ist in diesem Abschnitt eine Gegenüberstellung inwiefern die Analysierten Referenzmodelle die Anforderungen an das kombinierte Referenzmodell erfüllen. Dabei werden die folgenden Kategorien eingeführt:

- Darstellung von Objekte und Entitäten im Referenzmodell
- Fokus auf produzierende Unternehmen
- Darstellung von Geschäftsprozessen
- Erfassung von Industrie 4.0 Potenzialen
- Betrachtung der Architektur
- Darstellung des Lebenszyklus der CAD-CAM-NC-Kette und ihrer Produkte

In Tabelle 3 ist der Vergleich der Reifegradmodelle anhand der zuvor aufgeführten Kriterien aufgeführt.

Modelle	Objekte und Entitäten	Fokus Produzierende Unternehmen	Geschäftsprozesse	Industrie 4.0 Potentiale	Architektur-betrachtung	Lebenszyklus-darstellung
2.2.7. Architektur integrierter Systeme (ARIS)						
2.2.8. Beschreibungsmodell zur IT-gestützten betrieblichen Informationsverarbeitung	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe	Keine Angabe
2.2.9. Business Process Maturity Model (BPMM)						
2.2.10. Business Process Model and Notation (BPMN)						
2.2.11. Capability Maturity Model Integration (CMMI)						
2.2.12. Computer integrated Manufacturing open system architecture (CIMOSA)						
2.2.13. The DeLone and McLean IS Success model (Information systems success model)						
2.2.14. EDEN – Reifegradmodell						
2.2.15. Enterprise Architecture Management (EAM)						

Modelle	Objekte und Entitäten	Fokus Produzierende Unternehmen	Geschäftsprozesse	Industrie 4.0 Potentiale	Architektur-Betrachtung	Lebenszyklus-darstellung
2.2.16. Enterprise Architecture (EA)						
2.2.17. Entity-Relationship-Modelle (ERM)						
2.2.18. European Foundation for Quality Management Modell (EFQM)						
2.2.19. IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems						
2.2.20. Information Technology Infrastructure Library (ITIL)						
2.2.21. Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0)						
2.2.22. Strategic Alignment Model (SAM)						
2.2.23. The Open Group Architecture Framework (TOGAF)						

Tabelle 3 Bewertung der analysierten Referenzmodelle

= Nein    = Ja / Nein    = Ja

Bei der Gegenüberstellung stellt sich heraus, dass RAMI 4.0 einen Großteil der gestellten Anforderungen erfüllt. Jedoch ist dieses Modell sehr generisch angelegt, weshalb sich eine

Reduktion auf die notwendigen Komponenten zur Modellierung der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette anbietet. CIMOSA erfüllt ebenfalls viele der Anforderungen. Allerdings werden bis auf Menschen keine weiteren physischen Komponenten berücksichtigt. Folglich können z. B. keine Arbeitsmaschinen modelliert werden.

Zudem ergibt sich insgesamt, dass kein Modell die vollständige Abbildung und Bewertung von Industrie-4.0-Potenzialen erlaubt.

## **2.3. Entwicklung eines Bezugsrahmens zur Beschreibung der Begriffswelt und des Betrachtungsraums**

In diesem Kapitel werden die Begriffe im Kontext der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette näher beschrieben.

### **2.3.1. Computer Aided Design (CAD)**

Computer Aided Design (CAD) bezeichnet die rechnerunterstützte Arbeit, welche mit Hilfe von CAD-Anwendungsprogrammen, die Berechnungsaufgaben, Informationsbereitstellung, automatisiertes Zeichnen und rechnerunterstützten Entwurf zum Zweck der Erstellung eines Produktmodells beinhaltet. Dabei handelt es sich um ein Zeichnungsprogramm für technische Anwendungen. Ein CAD-Anwendungsprogramm ist ein EDV-Programm, das zur Unterstützung des Anwenders bei seinen Aufgaben in der Entwicklung und Konstruktion dient. CAD-Systeme werden im Planungsprozess für die Modellierung von Produkten und Produktionsanlagen eingesetzt. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um ein neues Produkt oder um eine Optimierung oder Abänderung eines bestehenden Produktes handelt. (Hehenberger 2011, S. 120; Schenk et al. 2014a, S. 265–266) Während vor einiger Zeit primär geometrische Daten genutzt wurden, werden inzwischen auch numerische und technologische Daten als Ergebnisse des CAD-Bereiches verstanden. Dies umfasst alle Vorgänge zur rechnerunterstützten Herstellung der Werkstückdaten, wie Zeichnungen, Stücklisten und grafische Werkstückmodelle. (Hehenberger 2011, S. 120)

Die Daten dieser Dateiformate werden entlang des Produktlebenszyklus – von der Konzeptphase bis zum Start der Produktion – ständig – ob unternehmensintern oder -übergreifend – über Schnittstellen übertragen (Vajna et al. 2009, S. 416). Dabei ist eine Schnittstelle ein System von Bedingungen, Regeln und Vereinbarungen, das den Informationsaustausch mehrerer Systeme festlegt (Eversheim 1990, S. 186). Bei externen Softwareschnittstellen muss zwischen einer direkten Konvertierung und einer indirekten Konvertierung unter Nutzung eines neutralen Datenformates unterschieden werden. Die direkte Konvertierung benutzt eine direkte Datenumwandlung, die eine vollständige Übertragung an Informationen ermöglicht. Jedoch erweist sich dies schnell als unwirtschaftlich, da bei einer Anzahl von  $n$  Systemen  $n \times (n-1)$  Direktkonverter erforderlich werden. Aus diesem Grund handelt es sich hier ausschließlich um systemneutrale Datenformate. Die Datenstrukturen des Ausgangssystems werden durch einen sog. Postprozessor auf ein systemneutrales Format abgebildet und dann durch einen Präprozessor in die Datenstruktur des Zielsystems umgewandelt (siehe Abbildung 18). Bei  $n$  Systemen sind hierbei nur  $2 \times n$  Prozessoren erforderlich. Der Datenumfang muss sich hierbei am schwächeren System ausrichten, weshalb Informationsverluste wahrscheinlich sind. (Vajna et al. 2009, S. 417)



Abbildung 18 Datenkonvertierung mit Hilfe eines systemneutralen Datenformats nach (Vajna et al. 2009, S. 419)

Aufgrund der Vielzahl von herstellerspezifischen Anwendungsprogrammen gibt es kein einheitliches Datenaustauschformat (Vajna et al. 2009, S. 418–420; Bergholz 2010, 140.ff; Hehenberger 2011, S. 140).

### 2.3.2. Computer aided manufacturing (CAM)

Unter Computer Aided Manufacturing (CAM) fallen Systeme, die für die technische Steuerung aller Einrichtungen der Flusssysteme zuständig sind (Schenk et al. 2014b, S. 266). Die Einführung von CAM-Systemen bedeutete den Einzug der Computertechnologie in die Fertigung. Gemäß Abbildung 19 umfassen diese Systeme technologische und verwaltungstechnische Aufgaben in der Fertigung und der Montage. Dazu zählen neben dem Fertigungssystem auch Lager-, Transport-, Handhabungs- und Montagesysteme. Die Verwaltung von NC-Programmen, Maschinen, Werkzeugen und Prüfmitteln gehört ebenso in den Bereich CAM wie die Steuerung der Lager- und Transportsysteme auf operativer Ebene und der Anbindung von Werkzeugmaschinen und Handhabungssystemen. Die Instandhaltung wird ebenfalls diesem Bereich zugeordnet. (Muhlis Kenter o.J.a, S. 8; Hehenberger 2011, 121-120)

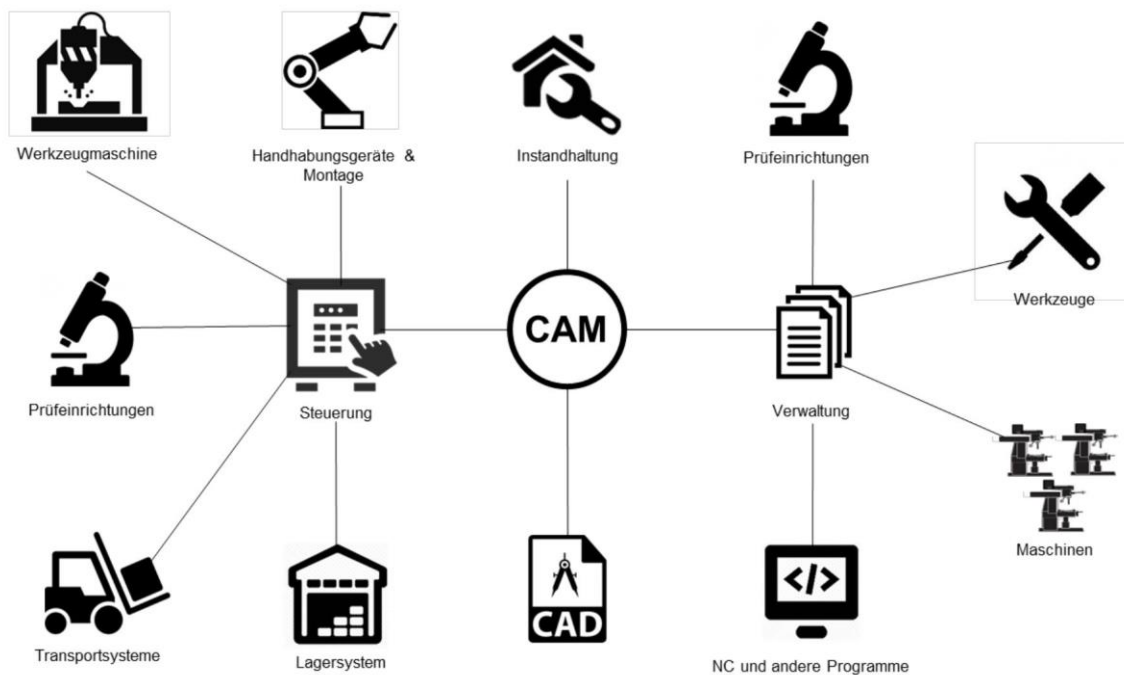


Abbildung 19 Die Umgebung von Computer Aided Manufacturing (Eigene Darstellung nach (Muhlis Kenter o.J.b, S. 8)

Neben der technischen Steuerung der Produktionsumgebung und Verwaltung der Betriebsmittel werden CAM-Systeme zur Generierung von Daten für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen

aus der Geometriebeschreibung eines Werkstücks, die in einem CAD-System modelliert wurde, verwendet (Eigner 2012, S. 3). Dazu wird das konstruierte 3D-Modell mit den Technolgie-daten des Rohmaterials in einem Bearbeitungsmodell zusammengeführt. Unter Einbeziehung von Werkzeugmaschinen-daten, Werkzeug-daten und sonstigen fertigungsrelevanten Informationen wird eine NC-Bearbeitungsdatenbank erstellt. Nach Angabe der Bearbeitungsoperation (z.B. Fräsen, Drehen usw.) werden die NC-Folgen definiert. Das fertiggestellte NC-Programm wird dann bis zum Start der Produktion im CAM-System zwischengespeichert, wo es jederzeit abrufbar ist. (Hehenberger 2011, S. 120; Eigner 2012, S. 3; Zafirov 2014, 302 ff.) Die weiteren Funktionen des rechnergestützten Fertigers, wie die Verwaltung von Prüfeinrichtungen, Werkzeugen und Maschinen sowie die Steuerung der Montage, Transport- und Lagersteuerung werden weitergehend nicht mehr betrachtet.

### **2.3.3. Numerical Control (NC)**

Die Numerical Control (NC) wurde erstmals vom Massachusetts Institute of Technology (MIT) für die Luftfahrtindustrie entwickelt und bezeichnet das Gerät zur Steuerung von Werkzeugmaschinen (Hehenberger 2011, S. 79). Die numerische Steuerung wurde mittlerweile von der Computerized Numerical Control (CNC), der elektronischen Steuerung von Werkzeugmaschinen, abgelöst, die alle erforderlichen Funktionen für die Maschine, wie Interpolation, Lage- und Geschwindigkeitsregelung, Datenspeicherung und -verarbeitung, Anzeigen und Editor, enthält (Xu 2009, S. 209; Hehenberger 2011, 79-81, 84). Neben der CNC-Software wird ein Anpassungsprogramm, welches spezielle Funktionsabläufe, wie Werkzeug- und Werkstückwechsel sowie Achsbegrenzungen enthält, für die jeweilige Maschine benötigt, das vom Maschinenhersteller bereitgestellt wird und in die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) der Maschine integriert ist (Hehenberger 2011, S. 84). Die SPS ist das Bindeglied zwischen der CNC-Steuerung und den Funktionen der Werkzeugmaschine. (Muhlis Kenter o.J.a, S. 9). CNC-Maschinen sind wegen ihrer Prozesseffizienz, Präzision und einfacher Bedienbarkeit in der Produktionsindustrie weit verbreitet (Upadhyay und Rana 2014, S. 106).

### **2.3.4. CAD-CAM-NC-Verfahrenskette**

Die CAD-CAM-NC-Kette ist eine Kette von Prozessketten. Sie wird so genannt, da zur Umsetzung ihrer Prozesse CAD- und CAM-Anwendungsprogramme sowie eine NC-Steuerung verwendet werden. Eine Prozesskette beschreibt allgemein die formale, hierarchische und strukturierte Zusammenfassung von einzelnen Prozessen (Erzeugung, Verarbeitung und Austausch von Informationen), die einem gemeinsamen Prozessziel dienen (Eigner 2012, S. 2)).

Ziel der CAD-CAM-NC-Kette ist die Übertragung und Umwandlung der Geometriedaten (CAD-Daten) in Fertigungsdaten (NC-Daten). Diese NC-Daten werden von der NC-Steuerung gelesen, um damit eine Maschine, wie z.B. eine Fräse zu steuern. Die Reihenfolge der Prozesse der CAD-CAM-NC-Kette ist in Abbildung 20 dargestellt. (Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008, Abschnitt 2.2 -2.4; Eigner 2012, S. 5)

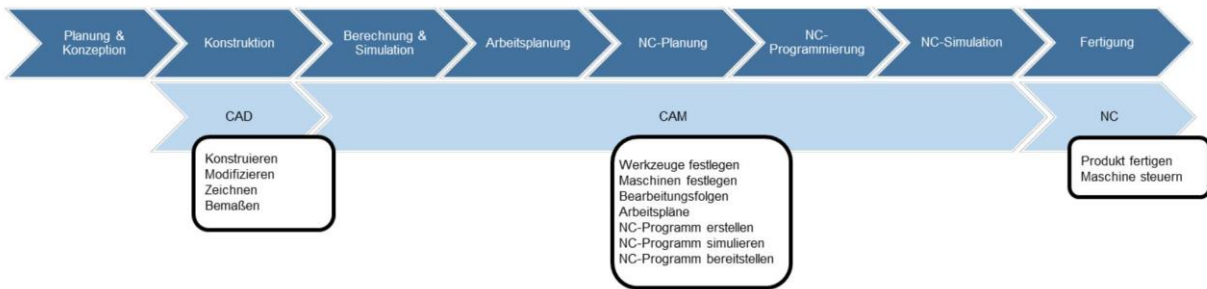


Abbildung 20 Die CAD-CAM-NC-Kette (Eigene Darstellung)

Die Prozesse Planung & Konzeption und Konstruktion werden mit dem CAD-Programm durchgeführt. Berechnung & Simulation, Arbeitsplanung, NC-Planung, NC-Programmierung und NC-Simulation werden mit dem CAM-Programm durchgeführt. Die Fertigung wird durch Auslesen des NC-Programms in der numerischen Steuerung gesteuert durchgeführt. (Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008, Abschnitt 2.2 -2.4; Eigner 2012, S. 5)

In Abbildung 21 wird die Generierung und Konvertierung von Daten innerhalb der CAD-CAM-NC-Kette betrachtet. Zuerst wird von einem Konstrukteur mithilfe des CAD-Anwendungsprogramms ein CAD-Modell entsprechend den Vorgaben aus der Planung & Konzeption des zu fertigenden Produkts erstellt. (Vajna et al. 2009, S. 365)

Alle nachfolgenden Schritte finden innerhalb des CAM-Anwendungsprogramms statt. Die CAD-Datei des CAD-Modells wird mit zusätzlichen technologischen Daten und Arbeitsanweisungen ergänzt und zur sogenannten Cutter Location Data (CLDATA) umgesetzt (Vajna et al. 1994, S. 367–369; Hehenberger 2011, S. 83–85). Diese Datenumsetzungen wird entsprechend dem internationalen Standard ISO 4343/2000 (DIN 66215) (ISO-Norm 4343:2000) durchgeführt. (Vajna et al. 2009, S. 367–396; Kief und Roschiwal 2013, S. 586). Das NC-Programm wird dann vom CAM-System aus den CLDATA Dateien generiert. Um die grafischen, steuerungsunabhängigen Arbeitsplan-Daten des Programmiersystems in ein maschinenlesbares NC-Programm umzuwandeln, werden diese durch den Postprozessor an die Werkzeugmaschine angepasst (Vajna et al. 2009, S. 374–376; Xu 2009, S. 3). Der Programmcode für die Werkzeugmaschine – G-Code – ist international nach ISO 6983 (ISO-Norm 6983-1) genormt. Der vereinheitlichte Programmcode, der in einem letzten Schritt von der im CAM-System integrierten Distributed Numerical Control (DNC) an die Maschine übertragen wird, kann einerseits maschinenunabhängig von jedem Programmiersystem geschrieben und andererseits von jeder NC-Maschine gelesen werden. (Vajna et al. 2009, S. 372; Hehenberger 2011, S. 84–85; Kief und Roschiwal 2013, S. 585–586)

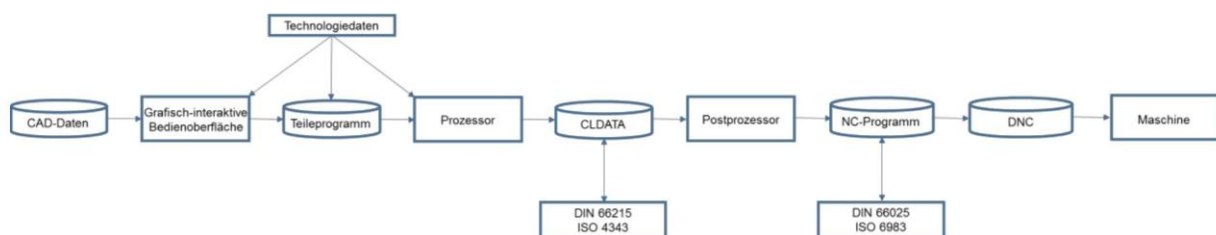


Abbildung 21: Datenfluss NC-Programm (Vajna et al. 2009, S. 368)



Für CAD- und CAM-Systeme können auf unterschiedliche Rechnertypen wie z.B. Notebooks einfache Personal Computer (PCs) und Arbeitsplatzrechner (Workstations), wobei die Grenzen dazwischen fließend sind, verwendet werden (Vajna et al. 2009, S. 62) Zusätzlich können mehrere Rechner, mehrere NC-Steuerungen und an die NC-Steuerungen angeschlossenen Maschinen Teil einer CAD-CAM-NC-Kette sein.

### 2.3.5. Product Lifecycle Management (PLM)

Product Lifecycle Management (PLM) ist ein integrierendes Konzept zur IT-gestützten, ganzheitlichen, unternehmensweiten Verwaltung und Steuerung aller Produktdaten und Prozesse (Arnold et al. 2011, S. 9–11; Rudolf und Schrey 2015, S. 1). Der Produktlebenszyklus (Product Lifecycle) bezeichnet dabei die einzelnen Phasen, die ein Produkt durchläuft – wie die Produktentstehung, der Wachstum, die Reife und die Entsorgung (RUDOLF u. SCHREY 2015a, S. 8). Ziel ist es, dass die „richtige Information zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Form an der richtigen Stelle zur Verfügung steht“ (Arnold et al. 2011, S. 10). Beginnend bei der Entwicklung und Produktion über den Vertrieb bis zur Wartung werden mit Hilfe des PLM alle relevanten Produktdaten gespeichert und organisiert, sodass eine zukünftige Verwendung erleichtert wird. PLM integriert somit einzelne IT-Systeme, wie ERP- und Produktdatenmanagement (PDM), zu einer Gesamtlösung für das Informationsmanagement. Durch das Datenmanagement soll der Produktentstehungsprozess unterstützt werden und zu einer Produktivitätssteigerung in den einzelnen Prozessen führen. Das Prinzip des PLM ist in Abbildung 22 dargestellt. (Arnold et al. 2011, S. 9–12; Rudolf und Schrey 2015, S. 8–9; Stark 2015, S. 1–12).

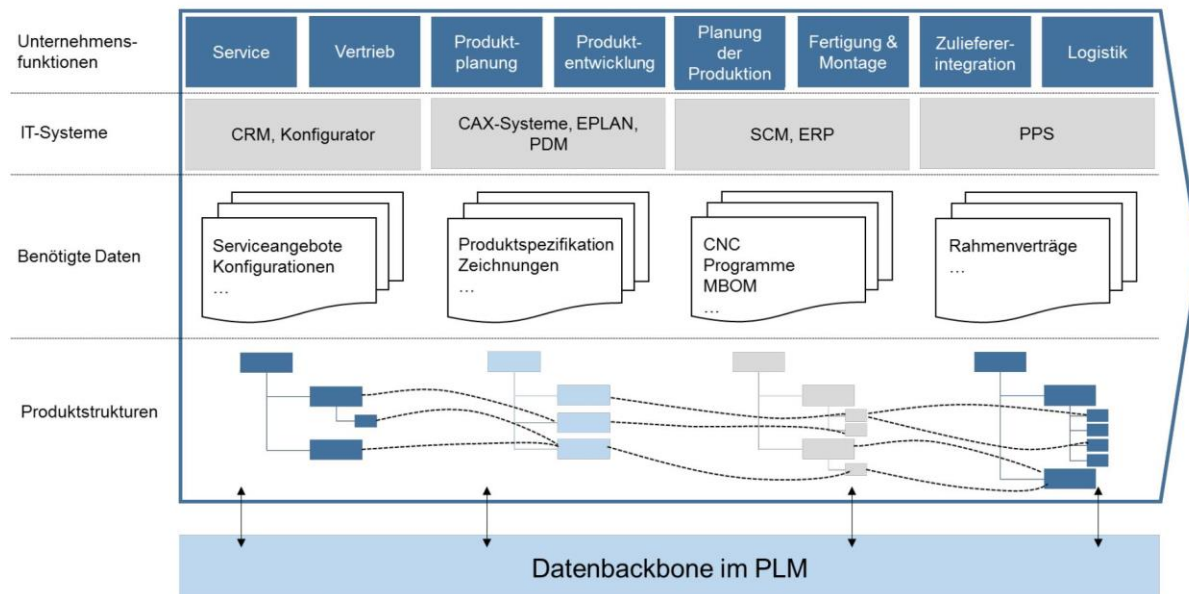


Abbildung 22 Prinzip des Product Lifecycle Managements nach (Rudolf und Schrey 2015, S9)

### 2.3.6. Industrie 4.0

Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution und beschreibt eine neue Organisationsstufe, die die Wertschöpfungskette über den gesamten Lebenszyklus steuern soll. Dieser Zyklus berücksichtigt zunehmend individualisierte Kundenwünsche und erstreckt sich von Auftragseingang über die Entwicklung und Fertigung bis hin zur Auslieferung und Entsorgung von

Produkten. Dabei werden insbesondere die damit verbundenen Dienstleistungen abgebildet. (BITKOM et al., S. 8)

Voraussetzung ist die Verfügbarkeit aller relevanten Informationen in Echtzeit durch Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen. Dies bedingt die Fähigkeit, Daten zu jedem Zeitpunkt für einen optimalen Wertschöpfungsfluss ableiten zu können. Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich nach unterschiedlichen Kriterien wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen. (BITKOM et al., S. 8)

Der Ausdruck Industrie 4.0 steht für eine neue Art von Produktionssystemen, welche über eine vernetzte, mit dem Internet über Unternehmensgrenzen hinweg verbundene, industrielle Produktion verfügen, um eine höhere Ressourcenproduktivität und -effizienz zu erreichen. Durch eine enge Verknüpfung von MES-, ERP-Systemen und Datenbanken mit Echtzeitinformationen aus Fabriken, Lieferketten und Kunden lassen sich vielfältige Potenziale, wie die Berücksichtigung individueller Kundenwünsche, flexible Reaktion auf Störungen und Ausfälle, eine transparente und produktive Produktion, umsetzen. (Sendler 2013, S. 21; Kagermann et al. 2013, S. 5; Kleinmeier 2014, S. 572)

Speziell wurden für die Unternehmen folgende acht Handlungsfelder im Abschlussbericht der Forschungsunion Wirtschaft-Wissenschaft zu Industrie 4.0 im April 2013 beschrieben:

1. Offene Standards für eine Referenzarchitektur
2. Beherrschung komplexer Systeme
3. Flächendeckende Breitband-Infrastruktur für die Industrie
4. Sicherheit
5. Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung
6. Aus- und Weiterbildung
7. Rechtliche Rahmenbedingungen
8. Ressourceneffizienz

Für die deutsche Industrie geht es darum, auch weiterhin führend auf dem Weltmarkt zu sein. Um dieses Ziel zu erreichen muss „das konsequente Zusammenführen der Informations- und Kommunikationstechnologie“ (BITKOM et al.) umgesetzt werden.

## **2.4. Erstellung eines kombinierten Referenzmodells**

In diesem Kapitel wird das im Rahmen dieses Projekts entwickelte Referenzmodell vorgestellt. Aus den definierten Anforderungen ergibt sich der Bedarf eines übergreifenden Rahmenwerks. Es muss konzeptionell sein, da zunächst eine einheitliche Terminologie erforderlich ist, um die CAD-CAM-NC-Kette im Kontext der Industrie 4.0 beschreiben zu können. Zeitgleich muss es operationell sein, da eine Strategie zur Transformation hin zu einer Industrie 4.0-fähigen CAD-CAM-NC-Kette entwickelt werden soll. Die Strategieentwicklung wird im Arbeitspaket 2 (vgl. Kapitel 4) näher erläutert.

Der konzeptionelle Anteil baut auf RAMI4.0 auf. Grundlage der Referenzarchitektur ist dabei die individuelle Ausprägung der im Unternehmen vorgefundenen CAD-CAM-NC-Kette.

Bei der Betrachtung der Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses wurde ersichtlich, dass die vorgefundenen Architekturen in KMU vor allem in Abhängigkeit der Größe des Unternehmens variieren. Da der Industrie-4.0-Gedanke vor allem die Vernetzung fokussiert, muss das im Projekt zu definierende Referenzmodell vor allem mit bereits bestehenden Architekturen und Ihren Gegenständen und Entitäten abbilden können. Daher kann die Referenzarchitektur nicht starr vorgegeben werden, sondern schlägt die Weiterentwicklung vorgefundener Gegenstände und Entitäten eines Unternehmens vor, um die Potenziale von Industrie 4.0 zu nutzen. Dabei entsteht eine offene Referenzarchitektur. Diese soll von den KMU umgesetzt werden, indem die Objekte und Entitäten der jeweiligen CAD-CAM-NC-Kette hin zu ihren Industrie-4.0-Pendants transformiert werden.

Zur Beschreibung dieser Industrie 4.0 Objekte wird im Folgenden dargelegt, wie das RAMI-4.0-Modell in reduzierter Form in das zu erstellende Referenzmodell überführt wird. Dabei wird ersichtlich, dass nicht jede Dimension des RAMI-4.0-Modells benötigt wird, um die CAD-CAM-NC-Kette sinnvoll abzubilden. Die folgenden Dimensionen wurden übernommen:

- **Gegenstandsschicht** (Asset Layer): In dieser Schicht werden die Rechner, Konstrukteure und NC-Steuerung und Produkte als Physikalische Objekte modelliert
- **Integrationsschicht** (Integration Layer): In dieser Schicht wird beschrieben wie von den physikalischen Objekten der Gegenstandsschicht rechnerverarbeitbaren Daten gewonnen werden. Beispielsweise mit welchen Eingabewerkzeugen die CAD-Daten erstellt werden.
- **Kommunikationsschicht** (Communication Layer): Sinn dieser Schicht ist die Darstellung der Vernetzung der Industrie 4.0 Objekte.
- **Informationsschicht** (Information Layer): Hier werden die Daten und deren Verarbeitung, welche innerhalb der Kette betrachtet werden, dargestellt.
- **Funktionsschicht** (Functional Layer): In der Funktionsschicht werden die Funktionen der CAD-CAM-NC-Komponenten dargestellt. Hierzu zählen beispielsweise die Funktion CAD-Daten mit einem CAD-Anwendungsprogramm zu erstellen, mit einem CAM-Programm ein NC-Programm zu generieren oder mit einer NC-Steuerung ein NC-Programm zu lesen.
- **Geschäftsschicht** (Business Layer): Diese Schicht wird benötigt um die verschiedenen Prozesse der CAD-CAM-NC-Kette darstellen zu können.

Von den Hierarchieebenen des RAMI 4.0 Modells werden die folgenden Ebenen übernommen:

- **Enterprise:** Funktion in dieser Ebene Überwachen und Überprüfen Prozesse der CAD-CAM-NC-Kette.
- **Work Units:** Funktionen dieser Ebene ist die führen der Prozesse CAD-CAM-NC-Kette durch.
- **Control Device:** Die Funktion dieser Ebene ist die Steuern z.B. die Arbeitsmaschine mit der NC-Steuerung
- **Field Device:** Funktionen dieser Ebene beschreiben die Arbeit der Maschinen der NC-Steuerung.

- **Produkt:** Funktionen auf dieser Ebene, sind Funktionen des Produkts.

Die Ebene Connected World wird zur Beschreibung der CAD-CAM-NC-Kette nicht benötigt, da KMU keine Funktionen haben, deren Zuständigkeit nicht am Standort des Unternehmens zu verorten ist.

In der Referenzarchitektur dieses Modells sind die folgenden Industrie-4.0-Gegenstände der CAD-CAM-NC-Kette definiert:

- Der CAD-Arbeitsplatz
- Der CAM Arbeitsplatz
- Die NC-Arbeitsmaschine
- Produkte

Dabei ist der CAD-Arbeitsplatz in der Gegenstandsschicht ein oder mehrere Rechner und ein Mitarbeiter der Konstruktionsabteilung. Auf der Informationsschicht wird mit diesem Objekt die CAD-Datei der CAD-CAM-NC-Kette erstellt. Auf der Kommunikationsebene ist dieses Objekt sowohl mit dem CAM-Sever als auch mit der NC-Arbeitsmaschine verbunden. Auf der Funktionsschicht bietet dieses Objekt die Möglichkeit zur Erstellung einer CAD-Datei für eine Konstruktion. Auf der Geschäftsschicht ist dieses Objekt Teil des Konstruktionsprozesses. Auf der Funktionshierarchie ist dieses Objekt eine Work-Unit, da sie Teil einer entsprechenden Organisationseinheit des Unternehmens ist. Auf der Integrationsschicht bietet der CAD-Arbeitsplatz gängige Rechnereingabegeräte.

Ein CAM-Arbeitsplatz stellt auf der Gegenstandsschicht einen oder mehrere Rechner dar. Auf der Integrationsschicht besitzt er gängige Rechnereingabegeräte, wie Maus und Tastatur. Auf der Informationsschicht wird dargestellt, welche Daten in Zwischenschritten aus den CAD-Daten erstellt werden, um das NC-Programm zu generieren. Dabei wird ebenfalls dargestellt, wie diese Daten zusammenhängen. Dieser Weg ist in Abbildung 21 dargestellt. Auf der Geschäftsebene ist dieses Objekt für die Prozesse Berechnung & Simulation, Arbeitsplanung, NC-Planung, NC-Programmierung, und NC-Simulation aus Abbildung 20 zuständig. Die Funktionen bestehen in der Umsetzung der verschiedenen Prozesse im Zusammenhang mit dem CAM-Arbeitsplatz. Auf der Funktionshierarchie ist dieses Objekt ebenfalls eine Work-Unit, da sie Teil einer anderen Organisationseinheit des Unternehmens ist.

Die NC-Arbeitsmaschine ist auf der Gegenstandsebene die NC-Steuerung und das von der NC-Steuerung geführte Werkzeug. Auf der Prozessebene steht das Objekt im Zusammenhang mit der Fertigung. Auf der Informationsebene wird das NC-Programm verwendet. Auf der Kommunikationsschicht findet der Datenaustausch statt. Die Funktion der NC-Steuerung besteht im Lesen des NC-Programms, die Funktion der Arbeitsmaschine in der Fertigung. Auf der Funktionshierarchieebene ist die NC-Steuerung als Steuerungsgerät und die Arbeitsmaschine als Feldgerät anzusiedeln. Die NC-Steuerung kommuniziert mit dem CAM-Arbeitsplatz und der Arbeitsmaschine. Die Arbeitsmaschine kommuniziert allerdings nur mit der NC-Steuerung. Auf der Integrationsebene ist es ebenfalls möglich, die Maschine direkt über die NC-Steuerung zu berücksichtigen. Die NC-Steuerung bietet auf der Integrationsebene ebenfalls die Möglichkeit die Arbeitsmaschine anzusteuern.

Produkte werden zu unterschiedlichen Zeiten des Lebenszyklus in den Schichten unterschiedlich dargestellt. Zuerst werden die Produkte in der Typphase und darauf in der Instanzphase nach

Abbildung 14 beschrieben. Die Typphase beginnt zuerst mit der Unterphase Development. Dies umfasst die Prozesse Planung & Konzeption bis zur Fertigung nach Abbildung 20. Auf der Gegenstandsebene handelt es sich während dieser Phase um ein Modell, das – während es die Prozesse durchläuft – auf der Informationsschicht mit weiteren Daten bestückt wird. In der Kommunikationsschicht werden die Daten vom Rechner des CAD-Arbeitsplatzes zum Rechner des CAM-Arbeitsplatzes und anschließend an die NC-Steuerung übertragen.

Nachdem die Fertigung abgeschlossen ist, findet die Unterphase Maintenance/Usage statt. Innerhalb dieser Phase ist das Asset, also das produzierte Produkt. Ihm werden auf der Informationsebene alle fertigungsrelevanten Daten und Anmerkungen während der Gebrauchs beigefügt.

Anschließend beginnt die Instanzphase mit der Unterphase Produktion. Dabei handelt es sich auf der Gegenstandsebene um die CAD-Datei aus der Typphase. Auf der Geschäftsebene werden dann die Prozesse Berechnung & Simulation, Arbeitsplanung, NC-Planung, NC-Programmierung, NC-Simulation und Fertigung durchlaufen. Auf der Informationsebene werden ebenfalls Dateien nach Abbildung 21 erzeugt. Auf der Kommunikationsebene wird der gleiche Vorgang wie in der Developmentphase durchlaufen. Die Funktion dieses Objekts ist während des gesamten Produktionszyklus auf der Ebene Produktion zu verorten.

Nachdem das Produkt in der Instanzphase gefertigt wurde beginnt die Maintenance/Usage Phase. Sollten während dieser Phase Probleme auftreten, kann zurück in die Typphase gewechselt werden, um diese Fehler in zukünftigen Instanzen des Produkts zu beheben.

Um die vorgefundenen Objekte einer CAD-CAM-NC-Kette zur ihren Industrie-4.0-Pendants zu transformieren wurden Digitalisierungsprozesse zusammengetragen. Die Prozesse selbst und eine Umsetzungsstrategie werden im Arbeitspaket 2 (vgl. Kapitel 4) präsentiert.

## **2.5. Empirisch-induktive Identifikation aller relevanten Dimensionen (z.B. Daten, Informationsflüsse, Software, Hardware, Maschinen, Organisation, Ressourcen, Anwender) und ihre Merkmale zur Beschreibung der Unternehmens-IT (ordinal-skalierte Morphologie)**

Um alle relevanten Dimensionen der CAD-CAM-NC-Kette effizient in den definierten Dimensionen ermitteln zu können, wurde ein Fragebogen entwickelt, welcher an die am Projekt beteiligten Unternehmen versendet wurde. Dieser wurde auf Basis einer Literaturrecherche entwickelt, damit die aus Sicht der Unternehmen relevanten Dimensionen möglichst allumfänglich angegeben werden können. Die Ergebnisse dieser Literaturrecherche wurden in der zweiten Sitzung des projektbegleitenden Ausschusses am 27.01.2016 präsentiert und von den Projektpartnern als vollständig betrachtet. Der Aufbau des Fragebogens wird in Abschnitt 0 präsentiert.

Mit diesem Fragebogen wurden detaillierte Informationen zu den folgenden Dimensionen erfasst:

- Anwendungsprogramme
- Organisationsstrukturen
- Unternehmensprozessen
- Flexibilität
- Digitalisierungsstand
- Ausrichtung des Unternehmens
- Investitionsbereitschaft

Als die Fragebögen von einigen der teilnehmenden Unternehmen ausgewertet wurden zeigte sich eine starke Heterogenität in den abgefragten Ausprägungen. Hieraus ergab sich die Notwendigkeit zur Komplexitätsreduzierung bei der Strategieentwicklung. Es wurde die Möglichkeit gewählt, die Unternehmen nicht im Raumzeitbereich einzuordnen, sondern sie innerhalb eines Transformationsprozessfelds einzuordnen, welches wiederum in verschiedene Reifegrade eingeteilt ist. Der genaue Aufbau wird im Arbeitspaket 2 (vgl. Kapitel 4) erläutert. Diese Einordnung erlaubt es, Aussagen nicht über ein spezifisches Unternehmen, sondern über eine Klasse ähnlicher Unternehmen zu tätigen. Folglich werden bei der Anwendung des Referenzmodells nur noch empirische Informationen über den Transformationszustand gesammelt.

**Fazit:** Nachdem die so ermittelten Dimensionen als relevant bestätigt wurden, gab es im Rahmen dieses Ausschusses die Möglichkeit, durch die Literaturrecherche nicht erfasste Dimensionen zu ergänzen. Allerdings wurden bereits durch die Literaturrecherche alle relevanten Dimensionen abgedeckt, weshalb sich Ergebnisse analytisch-deduktiven Literaturreche mit den Ergebnissen der empirisch-induktiven Dimension gänzlich decken.

## **2.6. Entwicklung eines strukturierten KMU-gerechten Fragebogens auf Basis der entwickelten Morphologiemerkmale zur Erfassung des Ist-Zustands der Unternehmens-IT Identifikation aller relevanten Dimensionen (z.B. Daten, Informationsflüsse, Software, Hardware, Maschinen, Organisation, Ressourcen, Anwender) und ihre Merkmale zur Beschreibung der Unternehmens-IT (ordinal-skalierte Morphologie)**

Der Ist-Zustand eines Unternehmens, der die für die strategierelevanten Informationen sammelt, wird über eine Excel-Datei erfasst. Zusätzlich wurde ein Fragebogen entwickelt, der nach Abschluss des Projektes nicht mehr mit ausgegeben wird, da er zu detaillierte Informationen sammelt, die zwar zur Modellentwicklung genutzt wurden, aber keinen Einfluss auf die Handlungsempfehlungen der individuellen Strategie mehr haben. In der Excel-Datei wird der Stand der Digitalisierungsprozesse ermittelt, um darauf aufbauend eine Strategie in Form von Handlungsempfehlungen zu ermitteln. Dies wird im Arbeitspaket 2 noch weitergehend erläutert.

Der Fragenbogen ist in die folgenden vier Abschnitte gegliedert:

1. Ressourcen
2. Organisation

3. Methoden
4. Kultur

Die Dimensionen werden in diesen Kategorien abgefragt, um die Informationen möglichst direkt aus der unternehmenseigenen Struktur erfassen zu können. Dadurch kann das Modell für KMU schneller und einfacher angewendet werden. Die vier Gliederungspunkte sind dabei wie folgt definiert.

1. **Ressourcen:** Für die Umsetzung der IT-Organisation bedarf es einiger Ressourcen, die sich in personelle, technische und räumliche Infrastruktur unterteilen lassen. Die Mitarbeiter mit ihren geistigen, unternehmerischen und handwerklichen Fähigkeiten bilden hierbei die personelle Infrastruktur. Mit Hilfe der technischen Infrastruktur, die allgemein der materiellen Infrastruktur untergeordnet ist, setzen die Mitarbeiter ihre Aktivitäten im Wirtschaftsprozess um. Nach (Heinrich und Stelzer 2011) beschreibt die IT-Infrastruktur alle „Einrichtungen, Mittel und Maßnahmen zur Produktion, Verbreitung und Nutzung von Informationen im Unternehmen“ und somit die gesamte Informations- und Kommunikationstechnologie im Unternehmen. Patig erweitert den Begriff um die Sicht des Informationsmanagements auf die IT-Infrastruktur und fügt in diesem Zusammenhang organisatorische, Gesetze und Normen sowie personelle Gegebenheiten hinzu, sodass die notwendige Verbindung der technischen und personellen Ressourcen nochmals verdeutlicht wird (Patig S. 2012). Letzter Teilbereich der Ressourcen ist die räumliche Infrastruktur. Diese beschäftigt sich mit der Aufteilung der einzelnen eingesetzten IT-Komponenten. Themen wie die Standorte der Architektur, der Rechenzentren und der Arbeitsplätze finden hier Anwendung.
2. **Organisation:** Dieser Gliederungspunkt behandelt die IT-Organisation im Unternehmen. Es geht um die Fragestellungen, wie gut die Fachabteilungen und die Geschäftsführung aufeinander abgestimmt und miteinander verbunden sind und welche Organisationsform zugrunde gelegt wird. Dabei ist es ganz entscheidend, die IT-Organisation an den Zielen und den Anforderungen des Unternehmens auszurichten. Die Ausrichtung kann auf oberster Ebene zentral oder dezentral angelegt sein. Die Organisation legt dauerhafte Regelungen über Aufgabenbereich, Verantwortlichkeiten und die Art und Weise der Erfüllung der Aufgaben fest und ist damit das übergeordnete Steuerungswerk für die Unternehmens-IT.
3. **Methoden:** Die im Unternehmen eingesetzten und etablierten Methodensysteme sind ebenfalls wichtiger Bestandteil der Unternehmens-IT. Gemeint sind hier beispielsweise die Methoden für das Projekt-, Qualitäts- und Prozessmanagement, sowie Entwicklungsmethoden und Arten der Kosten-Leistungsrechnungen (KLR). Die Wichtigkeit dieses Bereiches begründet sich darin, dass die Auswahl der Methodensysteme Rückschlüsse auf die Ausrichtung des Unternehmens und die angestrebte Strategie und Arbeitsweise zulassen, sofern diese im Einklang mit der Vision und der Philosophie des Unternehmens stehen und diese mit ihren Ansätzen unterstützen.
4. **Kultur:** Die Vision und die Philosophie des Unternehmens sind wiederum in dessen Kultur verankert, die einen Bestandteil des normativen Managements (vgl. St. Gallener Management-Modell) darstellt und damit die vierte Komponente der Unternehmens-IT repräsentiert. Im Besonderen finden sich in der Vision die Antworten auf das Warum und

Wozu. Genauer gesagt werden Zwecke des Unternehmens festgehalten und Möglichkeiten der Zweckerfüllung festgelegt. Die Erreichung eines Mehrwertes für die Gesellschaft sollte einer der zentralen Aspekte sein. Weitergehend wird mit festgelegten Spielregeln, Normen und Prinzipien die Lebens- und Entwicklungsfähigkeit des Unternehmens sichergestellt.

Arbeitspaket 2: Reifegradmodell der Unternehmens-IT von KMU und Beschreibung von Referenzmustern (FIR)

### **3. Arbeitspaket 2: Reifegradmodell der Unternehmens-IT von KMU und Beschreibung von Referenzmustern (FIR)**

#### **3.1. Zielstellung des Arbeitspakets 2**

Basierend auf Unternehmenszielen soll der optimale Aufbau/die optimale Ausrichtung der Unternehmens-IT zur Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten im Bereich CAD-CAM-NC-Verfahrensketten ermittelt werden. Hierfür soll ein Reifegradmodell bezüglich der „Industrie-4.0-Reife“ der Unternehmens-IT erarbeitet werden, welches als Referenzmuster für einen Ist-Soll-Vergleich dienen soll.

#### **3.2. Identifikation von Faktoren/Indikatoren hinsichtlich der Korrelation zwischen Unternehmenserfolg und IT-Unterstützungsgrad**

Der Unternehmenserfolg tritt ein, wenn die Unternehmensziele erreicht werden. Hierbei unterstützen Digitalisierungsprozesse das Erreichen bestimmter Unternehmensziele. Daher kann das Abschließen der Digitalisierungsprozesse als positiver Korrelationsfaktor zwischen Unternehmenserfolg und IT-Unterstützungsgrad betrachtet werden.

Eine Kerneigenschaft eines Unternehmens ist, dass es Ziele verfolgt. (Dillerup und Stoi 2013, 2013, S. 5) Daher tritt der Unternehmenserfolg ein, wenn diese Unternehmensziele erreicht werden. Daher wird im Folgenden zuerst beschrieben, wie die in diesem Projekt betrachteten Unternehmensziele ermittelt wurden. Danach werden die im Rahmen dieses Projektes ermittelten Digitalisierungsprozesse vorgestellt und anschließend der Zusammenhang zwischen IT-Unterstützungsprozessen und dem Unternehmenserfolg beschrieben.

Um den Unternehmenserfolg aller produzierenden KMU betrachten zu können, wird im Folgenden ein generisches Unternehmenszielsystem verwendet, um die Vollständigkeit der Betrachtung gewährleisten zu können. Das generische Unternehmenszielsystem betrachtet zuerst, wie Unternehmensziele entstehen, um darauf aufbauend alle relevanten Unternehmensziele ableiten zu können. Die Grundlage der Unternehmensziele stellen Ziele der verschiedenen Individuen, welche mit dem Unternehmen im Kontakt stehen, dar. (Kramer 2002, S. 82) Hierzu zählen Führungskräfte, Eigenkapitalgeber, Mitarbeiter, Kunden, Lieferanten, Fremdkapitalgeber und der Staat. (Kramer 2002, S. 85). Die Unternehmensziele entstehen aus einem Zielkonflikt-Zielkompromiss-Prozess dieser Individuen. (Kramer 2002, S. 82). Das Ergebnis dieses Prozesses



ist „die **Erhaltung und erfolgreiche Weiterentwicklung des Unternehmens**“ (Kramer 2002, S. 83) „Um für die Führung einer Unternehmung anwendbar zu sein, muss diese in sehr allgemeine Gesamtziel gegliedert werden.“ (Kramer 2002, S. 85). Diese Gliederung ist in Abbildung 23 dargestellt.

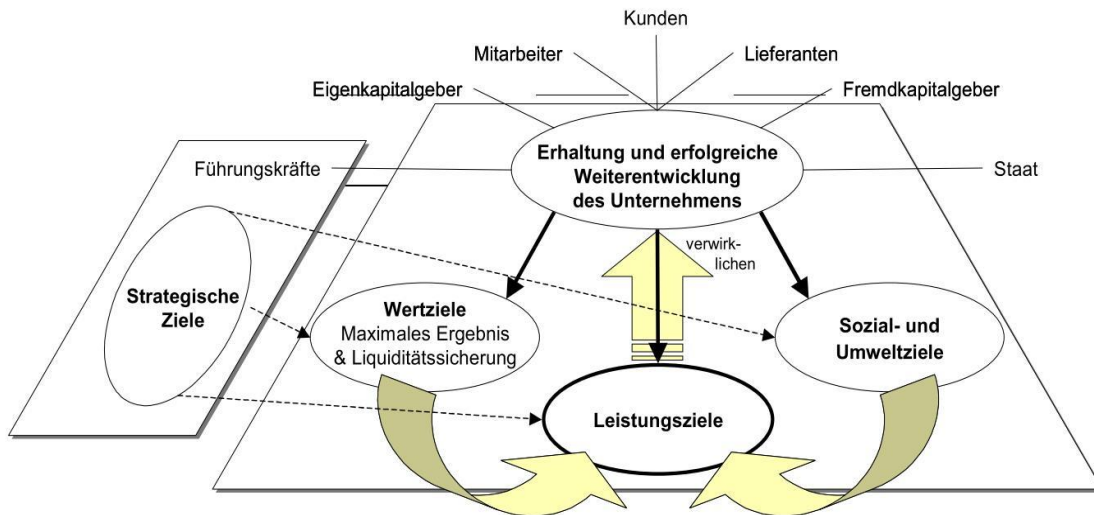


Abbildung 23 Gliederung von Unternehmenszielen (Kramer 2002, S. 85)

Das Gesamtziel wird zunächst kategorisiert in drei übergeordnete Ziele für welche anschließend weitere Zielkriterien definiert werden. Diese übergeordneten Ziele sind die Wertziele, Sozial- und Umweltziele sowie Leistungsziele. Die Definition der Wertziele und der Sozial- und Umweltziele wird an dieser Stelle von Dietgar Hahn übernommen. (Hahn 1996, S. 17) Die Definition der Leistungsziele sieht Kramer als „all die Ziele, welche sich unmittelbar auf das Leistungssystem beziehen.“ (Kramer 2002, S. 85) Damit ist gemeint, dass einzig das Leistungssystem „unmittelbaren Einfluss auf die Erhaltung und erfolgreiche Weiterentwicklung des Unternehmens ausüben kann.“ (Kramer 2002, S. 85)

Um den Unternehmenserfolg objektiv messen und bewerten zu können müssen Kennzahlen eingeführt werden, welche das Unternehmensergebnis abbilden. Hierfür wurde bei der Ermittlung einer detaillierten Gliederung einzelner Unternehmensziele eine Kennzahlhierarchie verwendet. Diese Gliederung ist in Abbildung 24 dargestellt.

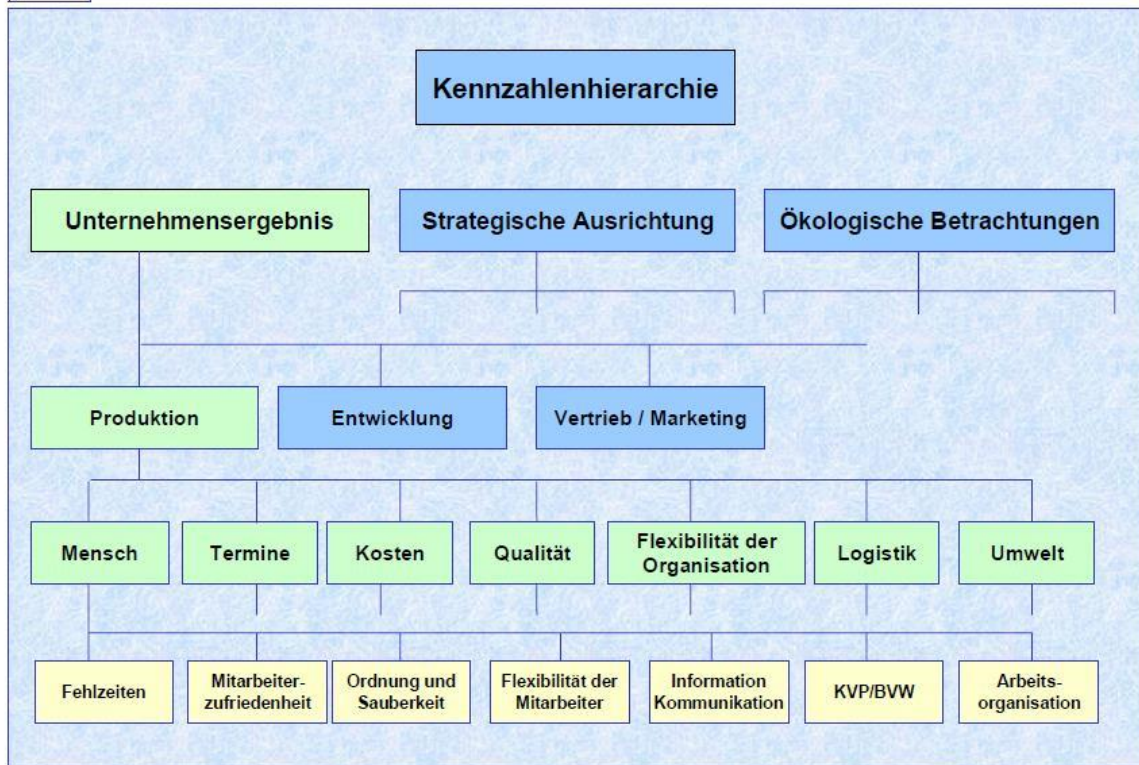


Abbildung 24: Beispiel einer Hierarchie von Kennzahlen (Engroff 2005, S. 19)

Wichtig für das Unternehmensergebnis sind hierbei Kennzahlen aus dem Bereich der Produktion, welche wiederum in die sieben Faktoren Mensch, Termine, Kosten, Qualität, Flexibilität der Organisation, Logistik und Umwelt abgestuft werden. Zu diesen Faktoren wurden schließlich 343 konkrete Kennzahlen für Unternehmensziele ermittelt und in Bezug auf ihren IT-Unterstützungsgrad analysiert. (Engroff 2005)

Zur Komplexitätsreduzierung wurde eine Auswahl besonders relevanter Unternehmensziele für KMU mit CAD-CAM-NC-Kette getroffen. Dabei sind die Unternehmensziele auf die folgenden reduziert worden:

#### Unternehmensziele

1. Abwicklung/Änderungsdienst
2. Arbeitsorganisation
3. Arbeitszeit
4. Beschaffung
5. Bestände
6. Durchlaufzeit
7. Einsatzstoffe
8. Fertigungskosten
9. Flexibilität Maschine
10. Flexibilität der Mitarbeiter
11. Information/Kommunikation
12. Innovationen
13. Kapazitätsbelegung bzw. -auslastung

- 
14. Kosten
  15. Kundenzufriedenheit
  16. KVP / BVW
  17. Lagerkosten
  18. Maschinen-verfügbarkeit
  19. Material
  20. Materialverfügbarkeit
  21. Mitarbeiterzufriedenheit
  22. Organisationsgrad
  23. Problemlösefähigkeit
  24. Prozesse/Verfahren
  25. Prozessqualität
  26. Prozesssicherheit
  27. Qualität
  28. Reaktionsgeschwindigkeit
  29. Reklamationen
  30. Termintreue
  31. Ungeplante Kosten

Die ermittelten IT-Unterstützungsprozesse zur Erstellung eines Industrie 4.0 fähigen CAD-CAM-NC-Kette lassen sich wie in Anlehnung an Kerngeschäftsprozesse (Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg und Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2000) wie in Tabelle 4 dargestellt unterteilen:

Prozesskategorien	Erläuterung
Aufbereitende Prozesse	Optimierung von Prozessen auf Basis zurückgeführter Informationen
Durchführende Prozesse	Prozess einer ausführenden Einheit der CAD-CAM-NC-Prozesskette
Management-Aufgaben	Aufgaben die in den Zuständigkeitsbereich des Managements fallen
Planende Prozesse	Prozess um durchführende Prozesse zu organisieren
Steuernde Prozesse	Eingriff in den Prozess falls Abweichung vom Soll erkannt wird
Überwachende Prozesse	Monitoring durchgeführter Prozesse

**Tabelle 4 Beschreibung der 6 Digitalisierungsprozesskategorien**

Im Folgenden sind alle IT-Unterstützungsprozesse und Ihr Ursprung aufgelistet:

### Aufbereitende Prozesse

Prozessnummer	IT-Unterstützungsprozesse	Ursprung des Digitalisierungsprozesses
1	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Anpassung der CAD Zeichnungen am Bearbeitungsprogramm	(Becker 2015)
2	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Anpassungen von Technologiewerten	(Becker 2015)
3	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Erstellung von Prüfberichten	(Becker 2015)
4	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Informationsweitergabe über Fertigteile und Restmaterial	(Becker 2015)
5	Eine zentrale Cloud-basierte Verwaltung für Mustern, Vorlagen und sonstigen CAD-Zeichnungen wird verwendet	(Ralf Steck 2016)
6	Rückfluss der CAD-CAM-NC Kette in PDCA-Prozess	(Bauernhansl 2014)
7	(Daten)-Sicherung von wichtigen CAD-CAM-Daten	(Brecher et al. 2015)

Tabelle 5 Ursprung und Prozessnummern der Aufbereitenden Digitalisierungsprozesse

### Durchführende Prozesse

Prozessnummer	IT-Unterstützungsprozesse	Ursprung des Digitalisierungsprozesses
8	Durchgängige Dateneinbindung externer CAD Daten in die Produktion (z.B. aus outgesourcetem Zeichenbüro)	(Unitechnik Cieplik & Poppek AG 2008)
9	Vereinheitlichung der CAD-CAM Schnittstelle zur einfachen Datenübertragung	(Unitechnik Cieplik & Poppek AG 2008; Becker 2015)
10	Automatische Berücksichtigung der Aufspansituation auf der verwendeten Maschine (Nullpunktlage) bei der NC-Programmierung	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)
11	Das Post Processing muss unabhängig für alle Werkzeugmaschinen durchgeführt werden	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)

Tabelle 6 Ursprung und Prozessnummer der Durchführenden Digitalisierungsprozesse

### Management-Aufgaben

Prozessnummer	IT-Unterstützungsprozesse	Ursprung des Digitalisierungsprozesses
12	Reduktion der Anzahl von eingesetzten unterschiedlichen CAD/CAM Programmen	(WZL RWTH Aachen 2011)
13	Alle Programme werden regelmäßig mit Softwareupdates versorgt	(Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2012, S. 31)
14	Mitarbeiter werden in neuen Features durch Updates geschult	(Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, S. 3)
15	Integration einer Wissensplattform um Wissen über Bearbeitungsmethoden interaktiv austauschen zu können (Erfahrungsmanagement) - Wissen weiter geben - Einarbeitung	(Nestler 2000)
16	Systemarchitekturen: Cloud based CAD System (z.B. Onshape)	(Fabian Keller 2015, S. 16)

Tabelle 7 Ursprung und Prozessnummer der Management-Aufgaben für die Digitalisierungsprozesse

## Planende Prozesse

Prozessnummer	Digitalisierungsprozesse	Ursprung des Digitalisierungsprozesses
17	Berücksichtigung von Einsatzdaten vorhandener Werkzeuge bei der NC-Programmierung	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)
18	Automatischer Abgleich von Betriebsmittelbedarf und Lagerbestand (automatische Kapazitätsplanung)	(Becker 2015)
19	Alle relevanten Daten werden in digitaler Form an den Gliedern der Prozesskette bereitgestellt	(Becker 2015)
20	Alle eingesetzten Programme der CAD/CAM/NC Prozesskette sind untereinander in gleicher Schnittstelle integriert	(Christian Brecher et al., S. 3)
21	Entwicklung und Verwendung von Prozessbaukästen	
22	automatisierte Werkzeugauswahl	(Christian Brecher et al., S. 1)
23	Automatisierte NC-Vorplanung bei Kundenanfrage	(Zeyn 2014)

Tabelle 8 Ursprung und Prozessnummer der Planenden Digitalisierungsprozesse

## Steuernde Prozesse

Prozessnummer	Digitalisierungsprozess	Ursprung des Digitalisierungsprozesses
24	Verwendung eines Software Tools, welches Hilfestellung bei der Analyse und Behebung von Fehlern in CAD Daten gibt	(Unitechnik Cieplik & Poppek AG 2008)
25	Der Ablauf der Fertigung wird vor der eigentlichen Fertigung simuliert um Fehler, Abweichungen o.ä. festzustellen (verbraucht keine Maschinenlaufzeit)	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)
26	Korrektur von Systemfehlern bereits während der Generierung von Daten	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)
27	Die Datenversorgung der Simulationsfunktionen erfolgt unterstützend automatisch und aus allgemein verfügbaren Daten	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)
28	Reduzierung von Aufwendungen für die Einführung und den Betrieb von nachgeschalteten NC-Simulationssystemen durch Vermeidung von Aufwendungen zum Aufbau spezifischer Datenbestände	(Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP) und Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen 2008)
29	Simulationen mit Kollisionskontrolle und Materialabtrag wird durchgeführt	(Coscom)
30	Die CAD/CAM/NC Prozesskette optimiert autonom den Werkzeugwechsel	(Nestler 2000)
31	Automatisierte Verteilung der Fertigungsdaten (Decentralized Production)	Dieser Prozess ist aus der Anwendung des Vernetzungsgedanken der Industrie 4.0 auf den Informationsrückführungs Prozesses nach Wolf (Wolf 1994) entstanden .
32	Einteilung der Aufträge in Fertigungspakete mit gleicher Bauteilkategorie / Herstellverfahren / automatisierungsfähige Bearbeitung	(Born und Klaus Dieter 2014)
33	Verlagerung des CAM-Systems in eine Cloud-Umgebung	(Brecher et al. 2015)

Tabelle 9 Ursprung und Prozessnummer der Steuernden Digitalisierungsprozesse

## Überwachende Prozesse

Prozessnummer	Digitalisierungsprozesse	Ursprung des Digitalisierungsprozesses
34	Verwendung eines Software Tools, welches Daten auf formale Richtigkeit prüft und regelmäßige allgemeine Plausibilitätsprüfung (aufgrund von produkt- und werkzeugspezifischen Parametern) durchführt	(Unitechnik Cieplik & Poppek AG 2008)
35	Die CAD/CAM/NC Prozesskette wird durch eine integrierte Lösung umgesetzt, welche bis in das PLM hineinreicht	(Kemper et al. 2011, 108 ff.)
36	Real Time Data Anbindung zwischen den Systemen	(BITKOM et al., S. 8)
37	Anbindung der CAD-CAM-NC Prozesskette an ERP/PLM	(Obermann und Michel 2011)
38	Definition und Umsetzung von Sicherheitsanforderungen an CAM System in Cloud	(Brecher et al. 2015)

Tabelle 10 Ursprung und Prozessnummer der Überwachenden Digitalisierungsprozesse

In einem Experteninterview mit den Experten Matthias Thamer, Ernst Köster, Hermann-Josef Zillingen der EXAPT Systemtechnik GmbH wurde der Zusammenhang zwischen den Digitalisierungsprozessen und den Unternehmenszielen ermittelt. (Bleider 21.04.2016a) (Bleider 21.04.2016b). Dort konnte der Zusammenhang mit einer natürlichen Zahl zwischen -3 und 3 bewertet werden. Ein negativer Zusammenhang beschreibt, dass der IT-Unterstützungsprozesse sich negativ auf das entsprechende Ziel auswirkt und ein positiver Wert beschreibt, dass der Prozess einen Beitrag zum Erreichen des Ziels leistet. Der Wert Null gibt an, dass der IT-Unterstützungsprozess keine Auswirkungen auf das jeweilige Ziel hat.

### 3.3. Zuordnung der Erfolgsfaktoren (Erreichung von Unternehmenszielen, Industrie-4.0-Tauglichkeit) zu Reifegradtypen

Das im Rahmen dieses Projekts erarbeitete Referenzmodell wird um 5 Reifegradlevel ergänzt, die jedem Digitalisierungsprozesskategorie aus Tabelle 4 zugeordnet werden können. So kann die Industrie-4.0-Reife einer CAD-CAM-NC-Kette abgebildet, und mit dem Reifegrad einer Referenz-Verfahrenskette verglichen werden. So können Vernetzungsmöglichkeiten hin zu einer Industrie-4.0-fähigen CAD-CAM-NC-Kette aufgezeigt und bereits durchgeführte Vernetzungstätigkeiten dargelegt werden.

Die hier verwendeten Reifegradstufen sind in Tabelle 11 dargestellt und an die IMPULS Industrie 4.0 Readiness Studie 2015 angelehnt (Bleider et al. 2015)

Reifegradlevel	Bezeichnung	Beschreibung
0	Außenstehender	Keine Anforderungen werden im Bereich der CAD-CAM-NC Prozesskette erfüllt.
1	Anfänger	Erste Prozesse bezüglich CAD-CAM-NC befinden sich in der Planung. Zum jetzigen Zeitpunkt befinden sich keine Prozesse in der Umsetzung oder wurden bereits umgesetzt.
2	Fortgeschrittener	Die ersten Prozesse befinden sich in der Umsetzung oder einige kleinere Prozesse wurden bereits umgesetzt.
3	Erfahrener	Es besteht ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Prozessen in Planung und Umsetzung und Prozesse, welche bereits umgesetzt wurden.
4	Experte	Der Großteil aller Prozesse ist bereits umgesetzt. Einige nachgelagerte Prozesse befinden sich noch in der Planung oder Umsetzung.

5	Exzellenz	Das Unternehmen hat die Umsetzung aller relevanten Prozesse erfolgreich abgeschlossen. Einige Randprozesse befinden sich in der Planung oder in der Umsetzung.
---	-----------	--

Tabelle 11 Beschreibung der Reifegradstufen (Bleider et al. 2015)

Um die Reifegradlevel bewerten zu können wird jedem Prozess einer der folgenden Umsetzungszustände zugeordnet:

- Der Prozess ist nicht relevant (leeres Feld)
- Der Prozess ist nicht geplant (a)
- Der Prozess befindet sich in der Planung (b)
- Der Prozess befindet sich in der Umsetzung (c)
- Der Prozess wurde umgesetzt (d)

Dabei impliziert der jeweils nachfolgende Umsetzungsstand den Abschluss des vorausgegangenen Umsetzungsstandes. Ausgeschlossen hiervon ist „Der Prozess ist nicht relevant“. Prozesse mit diesem Umsetzungsstand werden in der gesamten Auswertung nicht betrachtet, da die CAD-CAM-NC Prozesskette individuell und abschnittsweise in Unternehmen eingesetzt wird, was in persönlichen Besuchen bei Unternehmen während der Projektlaufzeit bestätigt wurde. Die Prozesse sind fortlaufend über die Prozessklassen hinaus nummeriert.

Die Zuordnung der Reifegrade für die jeweiligen Prozesskategorien erfolgt anhand des Umsetzungsstandes der verschiedenen Prozesskategorien. Dafür ist im Folgenden für jede Prozesskategorie eine Tabelle angegeben, die den mindestens benötigten Umsetzungsstand jedes Prozesses auflistet, der benötigt wird, um einen bestimmten Reifegrad zu erlangen.

		Kategorie: Aufbereitende Prozesse					
Nr.	Prozess	Außenstehener	Anfänger	Fortgeschrittener	Erfahrener	Experte	Exzellenz
1	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Anpassung der CAD-Zeichnungen am Bearbeitungsprogramm	17.a	17.b	17.c	17.d		
2	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Anpassungen von Technologiewerten		18.a	18.b	18.c	18.d	
3	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Erstellung von Prüfberichten	19.a	19.b	19.c	19.d		
4	Daten werden aus der Fertigung zurückgeführt zur Informationsweitergabe über Fertigteile und Restmaterial	20.a	20.b	20.c	20.d		
5	Eine zentrale cloud-basierte Verwaltung für Mustern, Vorlagen und sonstigen CAD Zeichnungen wird verwendet			24.a	24.b	24.c	24.d
6	Rückfluss der CAD-CAM-NC Kette in PDCA Prozess			35.a	35.b	35.c	35.d
7	(Daten)-Sicherung von wichtigen CAD-CAM Daten		38.a	38.b	38.c	38.d	

Tabelle 12 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Aufbereitende Prozesse

		Kategorie: Durchführende Prozesse					
Nr.	Prozess	Außenstehender	Anfänger	Fortgeschrittener	Erfahrener	Experte	Exzellenz
8	Durchgängige Dateneinbindung externer CAD Daten in die Produktion (z.B. aus outgesourcetem Zeichenbüro)		3.a	3.b	3.c	3.d	
9	Vereinheitlichung der CAD-CAM Schnittstelle zur einfachen Datenübertragung	5.a	5.b	5.c	5.d		
10	Automatische Berücksichtigung der Aufspannsituation auf der verwendeten Maschine (Nullpunktlage) bei der NC-Programmierung			7.a	7.b	7.c	7.d
11	Das post processing kann unabhängig auf alle Werkzeugmaschinen angewandt werden			29.a	29.b	29.c	29.d
Anzahl Prozesse je Reifegradlevel		1	2	4	4	3	2

Tabelle 13 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Durchführende Prozesse

		Kategorie: Management Aufgaben					
Nr.	Prozess	Außenstehender	Anfänger	Fortgeschrittener	Erfahrener	Experte	Exzellenz
12	Reduktion der Anzahl von eingesetzten unterschiedlichen CAD/CAM Programmen	21.a	21.b	21.c	21.d		
13	Alle Programme werden regelmäßig mit Softwareupdates versorgt		27.a	27.b	27.c	27.d	
14	Mitarbeiter werden in neuen Features durch Updates geschult		28.a	28.b	28.c	28.d	
15	Integration einer Wissensplattform um Wissen über Bearbeitungsmethoden interaktiv austauschen zu können (Erfahrungsmanagement) - Wissen weiter geben - Einarbeitung			31.a	31.b	31.c	31.d
16	Systemarchitekturen: Cloud based CAD System (z.B. Onshape)			33.a	33.b	33.c	33.d
Anzahl Prozesse je Reifegradlevel		1	3	5	5	4	2

Tabelle 14 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Management Aufgaben

		Kategorie: Planende Prozesse					
Nr.	Prozess	Außenstehender	Anfänger	Fortgeschrittener	Erfahrener	Experte	Exzellenz
17	Berücksichtigung von Einsatzdaten vorhandener Werkzeuge bei der NC-Programmierung		6.a	6.b	6.c	6.d	
18	Automatischer Abgleich von Betriebsmittelbedarf und Lagerbestand (automatische Kapazitätsplanung)			14.a	14.b	14.c	14.d
19	Alle relevanten Daten werden in digitaler Form an den Gliedern der Prozesskette bereitgestellt	16.a	16.b	16.c	16.d		
20	Alle eingesetzten Programme der CAD/CAM/NC Prozesskette sind untereinander in gleicher Schnittstelle integriert	22.a	22.b	22.c	22.d		
21	Entwicklung und Verwendung von Prozessbaukästen			40.a	40.b	40.c	40.d
22	automatisierte Werkzeugauswahl		42.a	42.b	42.c	42.d	
23	Automatisierte NC-Vorplanung bei Kundenanfrage			44.a	44.b	44.c	44.d

Tabelle 15 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Planende Prozesse



		Kategorie: Steuernde Prozesse					
Nr.	Prozess	Außenstehender	Anfänger	Fortgeschrittener	Erfahrener	Experte	Exzellenz
24	Verwendung eines Software Tools, welches Hilfestellung bei der Analyse und Behebung von Fehlern in CAD Daten gibt			2.a	2.b	2.c	2.d
25	Der Ablauf der Fertigung wird vor der eigentlichen Fertigung simuliert um Fehler, Abweichungen o.ä. festzustellen (verbraucht keine Maschinenlaufzeit)	9.a	9.b	9.c	9.d		
26	Korrektur von Systemfehlern bereits während der Generierung von Daten		10.a	10.b	10.c	10.d	
27	Die Datenversorgung der Simulationsfunktionen erfolgt unterstützend automatisch und aus allgemein verfügbaren Daten			11.a	11.b	11.c	11.d
28	Reduzierung von Aufwendungen für die Einführung und den Betrieb von nachgeschalteten NC-Simulationssystemen durch Vermeidung von Aufwendungen zum Aufbau spezifischer Datenbestände		12.a	12.b	12.c	12.d	
29	Simulationen mit Kollisionskontrolle und Materialabtrag wird durchgeführt	25.a	25.b	25.c	25.d		
30	Die CAD/CAM/NC Prozesskette optimiert autonom den Werkzeugwechsel	30.a	30.b	30.c	30.d		
31	Automatisierte Verteilung der Fertigungsdaten (Decentralized Production)			39.a	39.b	39.c	39.d
32	Einteilung der Aufträge in Fertigungspakete mit gleicher Bauteilkategorie / Herstellverfahren / automatisierungsfähige Bearbeitung		44.a	44.b	44.c	44.d	
33	Verlagerung des CAM-Systems in eine Cloud-Umgebung			45.a	45.b	45.c	45.d

Tabelle 16 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Steuernde Prozesse

		Kategorie: Überwachende Prozesse					
Nr.	Prozess	Außenstehender	Anfänger	Fortgeschrittener	Erfahrener	Experte	Exzellenz
34	Verwendung eines Software Tools, welches Daten auf formale Richtigkeit prüft und regelmäßige allgemeine Plausibilitätsprüfung (aufgrund von produkt- und werkzeugspezifischen Parametern) durchführt	1.a	1.b	1.c	1.d		
35	Die CAD/CAM/NC Prozesskette wird durch eine integrierte Lösung umgesetzt, welche bis in das PLM hineinreicht			23.a	23.b	23.c	23.d
36	Real Time Data Anbindung zwischen den Systemen			34.a	34.b	34.c	34.d
37	Anbindung der CAD-CAM-NC Prozesskette an ERP/PLM		41.a	41.b	41.c	41.d	
38	Definition und Umsetzung von Sicherheitsanforderungen an CAM System in Cloud			55.a	55.b	55.c	55.d

Tabelle 17 Voraussetzungen für die Reifegradlevel für Überwachende Prozesse

In diesem Projekt wird für das Reifegradmodell ein Stufenmodell verwendet, sowie eine Gewichtung der Prozessklassen vorgenommen. Darüber hinaus werden Stärken und Schwächen in der Umsetzung identifiziert. Damit ist der konstruktive Aufbau des Reifegradmodells dem Aufbau vom CMMI angelehnt.

### 3.4. Ableitung von Industrie-4.0-Strategietypen aus den Unternehmenszielen

Um eine angemessene Strategie für unterschiedliche KMU entwickeln zu können, werden Unternehmen typisiert. Dabei wurden die Typen durch die Fertigungsart, Unternehmensstrategie und den zugehörigen angestrebten Wettbewerbsvorteil charakterisiert. Die Einteilung der Fertigungsarten ist in Anlehnung an Schuh Auftragsfertigung, Rahmenauftragsfertigung, Variantenfertigung und Lagerfertigung (Schuh und Schmidt 2014, S. 35–42). Die folgenden drei Typen wurden dabei unterschieden:

#### **Fokus Innovation**

Der Unternehmenstyp mit dem Fokus Innovation differenziert sich durch selbst entwickelte, innovative Produkte. Die Produktentwicklung findet unternehmensintern statt. Dabei sind ein oder mehrere CAD-Systeme im Einsatz. Die Fertigung lässt sich am besten als Kleinserien- oder Auftragsfertigung beschreiben. Dabei besteht die Herausforderung, regelmäßig vorgenommene Anpassungen der Konstruktionen schnell in der Fertigung umzusetzen. Strategisch richtet sich dieser Unternehmenstyp an Kundenproduktion oder Marktproduktion aus (Schuh und Kampker 2011, S. 141–142). Die Unternehmensziele im Fokus für diesen Typen sind:

- Innovation
- Problemlösefähigkeit
- Arbeitsorganisation
- Flexibilität der Mitarbeiter
- Reaktionsgeschwindigkeit

#### **Produktion Individuell**

Der Unternehmenstyp „Produktion Individuell“ differenziert sich im Wettbewerb durch die Durchführung individueller Produktionsaufträge. Diese können sowohl die Konstruktion und Fertigung eines gewünschten Produktes als auch die reine Fertigung auf Basis übermittelter Konstruktionsdaten umfassen. Das heißt das Unternehmen setzt eigene CAD-Systeme ein, muss aber auch ggf. mit extern bereitgestellten CAD-Daten umgehen können. In der Fertigung ist die Herausforderung aus sich schnell ändernden Konstruktionsdaten (in ggf. unterschiedlichen Formaten) Fertigungsabläufe und NC-Codes zu generieren. Der Unternehmenstyp lässt sich am besten unter den Fertigungstypen Auftragsfertigung, Kleinserienfertigung und Bedarfsfertigung verorten. Strategisch richtet sich dieser Unternehmenstyp als Kundenproduktion oder Marktproduktion aus (Schuh und Kampker 2011, S. 141–142). Die Unternehmensziele im Fokus für diesen Typen sind folgende:

- Reaktionsgeschwindigkeit
- Materialverfügbarkeit
- Flexibilität der Maschine
- Organisationsgrad
- Prozessqualität

#### **Produktion Kostenvorteil**

Der Unternehmenstyp „Produktion Kostenvorteil“ sichert seinen Wettbewerbsvorteil durch eine kosteneffiziente Produktion. Dies geschieht in der Regel durch hohe Produktionsvolumina und effiziente Abläufe in der Fertigung. Dabei können die Konstruktionsdaten durchaus auch aus

externen Quellen stammen. Das Unternehmen setzt allerdings auf CAM-Systeme um Fertigung und Arbeitsabläufe effizient zu planen und auf schon bestehende Datensätze zurückgreifen zu können. Am besten beschrieben ist die Fertigung dieses Unternehmenstyps durch Lagerfertigung oder Variantenfertigung (Schuh und Schmidt 2014, S. 35–42). Strategisch richtet sich dieser Unternehmenstyp als Kostenführer aus (Schuh und Kampker 2011, S. 141–142). Die Unternehmensziele im Fokus für diesen Typen sind:

- Niedrige Endpreise, kurze Vorlaufzeiten
- Fertigungskosten
- Durchlaufzeit
- Kapazitätsbelegung bzw. Auslastung
- Flexibilität Maschine

### Gewichtung von Unternehmenszielen

Bei der Gewichtung der Unternehmensziele stand im Fokus, welchen Wettbewerbsvorteil ein Unternehmen anstrebt und durch welche Unternehmensziele dieser erreicht wird. So ergeben sich beispielsweise für den Strategietyp Innovation eine hohe Wertung für das Unternehmensziel Innovation. Relevant sind ebenfalls Ziele im Zusammenhang mit der Zufriedenheit des Kunden. Unternehmensziele im Zusammenhang mit den Kosten sind aufgrund der Monopolposition des Unternehmens für das Produkt vernachlässigbar. Ebenso sind Unternehmensziele im Zusammenhang mit dem Organisationsgrad irrelevant. Um die Komplexität des Modells beherrschbar zu halten, wurde eine Fokussierung auf fünf Unternehmensziele pro Unternehmenstyp durchgeführt.

Der Erfolg der Unternehmen ist in unterschiedlichem Maße von den in Abschnitt 3.2 ermittelten Unternehmenszielen abhängig. Bei der Strategieerstellung wird dies durch unterschiedliche Gewichtungsfaktoren der Unternehmenskategorien für die Unternehmensziele berücksichtigt. Diese Gewichtungsfaktoren sind in Tabelle 18 dargestellt. Ihre Summe ergibt für jeden einzelnen Unternehmenstyp 100%. Alle nicht aufgeführten Unternehmensziele werden mit dem Bewertungsfaktor 0 bewertet.

Beschreibung	Beschreibung	Ziel	Gewichtungsfaktoren
Fokus Innovation (Einmalfertigung)	starke Netzwerkpartner, smarte Innovationsprozesse, Auslagerung physischer Produktionsprozesse	1: Innovation	30%
		2: Problemlösefähigkeit	25%
		3: Arbeitsorganisation	20%
		4: Flexibilität der Mitarbeiter	15%
		5: Reaktionsgeschwindigkeit	10%
Produktion Individuell (Einzelfertigung und Kleinserienfertiger)	Kundenspezifische Produktion mit Losgröße 1, Smart Factory	1: Reaktionsgeschwindigkeit	30%
		2: Materialverfügbarkeit	25%
		3: Flexibilität der Maschine	20%
		4: Organisationsgrad	15%

		5: Prozessqualität	10%
Produktion Kostenvorteil (Massenfertigung und Serienfertigung)	Niedrige Endpreise, kurze Vorlaufzeiten	1: Niedrige Endpreise, kurze Vorlaufzeiten	30%
		2: Fertigungskosten	25%
		3: Durchlaufzeit	20%
		4: Kapazitätsbelegung bzw. Auslastung	15%
		5: Flexibilität Maschine	10%

Tabelle 18 Hierarchie der Unternehmensziele für die verschiedenen Strategietypen

### 3.5. Zuordnung der Reifegradtypen zur Beschreibung von Soll-Zuständen mit den zugehörigen Dimensionsausprägungen

Der Sollzustand der CAD-CAM-NC-Kette wird aufbauend auf den entsprechenden Strategietypen angegeben. Dafür wird zuerst der Ist-Zustand der Digitalisierungsprozesse erfasst, indem jedem der IT-Unterstützungsprozesse ein Umsetzungszustand aus Abschnitt 3.3 zugeordnet wird. Dann wird für jede Prozesskategorie geprüft, für welchen Reifegrad die Anforderung bereits erreicht ist. In Tabelle 12 - Tabelle 17 sind die Mindestumsetzungszustände für jeden Reifegrad und jede IT-Unterstützungsprozesskategorie angegeben.

Der Sollzustand wird durch die verschiedenen Reifegrade angegeben. Ein Unternehmen sollte in den jeweiligen Prozesskategorien den nächst höheren Reifegrad anstreben und die einzelnen Kategorien entsprechen Prozesskategorienhierarchie priorisieren. Diese gibt an wie Umsetzungsrelevant die jeweiligen Prozesskategorien für den entsprechenden Unternehmenstyp sind.

Die Hierarchie der Prozesskategorien baut auf einem Bewertungsschema der einzelnen Prozesse auf. Es wird für jeden Prozess ein Relevanzwert ermittelt und die Summe dieser Werte für jede Prozesskategorie gebildet. Die Prozesskategorien werden dann absteigend nach ihrem Relevanzwert sortiert. Dadurch ergibt sich eine entsprechende Prozesskategorienhierarchie. Eine solche Hierarchie ist als Beispiel in Tabelle 19 angegeben.

Relevanz der Prozesskategorien	Prozesskategorie
1	Steuernde Prozesse
2	Management-Aufgaben
3	Überwachende Prozesse
4	Aufbereitende Prozesse
5	Planende Prozesse
6	Durchführende Prozesse

Tabelle 19 Beispiel für die Prozesskategorienrelevanz

Für jede Prozesskategorie gibt es nun eine weitere Hierarchie, die angibt, in welcher Reihenfolge der nächste Umsetzungszustand eines Prozesses erreicht werden sollte. In Tabelle 20 ist ein Beispiel für die Umsetzungsrangfolge für die Prozesskategorie „Management“ angegeben. Dabei gilt es zu beachten, dass die Prozesse nicht vollständig abgeschlossen werden müssen, um den

nächsten Reifegrad zu erreichen. Der dafür notwendige Umsetzungsstand wird in Tabelle 12 bis Tabelle 17 jeweils für eine Prozesskategorie angegeben.

Umsetzungsreihenfolge	Management-Aufgaben
1	Mitarbeiter werden in neuen Features durch Updates geschult
2	Integration einer Wissensplattform um Wissen über Bearbeitungsmethoden interaktiv austauschen zu können (Erfahrungsmanagement) - Wissen weiter geben - Einarbeitung
3	Systemarchitekturen: Cloud based CAD System (z.B. Onshape)
4	Reduktion der Anzahl von eingesetzten unterschiedlichen CAD/CAM Programmen
5	Alle Programme werden regelmäßig mit Softwareupdates versorgt

Tabelle 20 Beispiel für die Umsetzungsreihenfolge von IT-Unterstützungsprozessen.

Zur Berechnung der Bewertungsfaktoren wird jeder Gewichtungsfaktor eines Unternehmenstyps für das jeweilige Unternehmensziel mit dem Gewichtungsfaktor für den Zusammenhang zwischen Prozess und Unternehmensziel multipliziert. Anschließend wird der so erhaltene Wert mit dem jeweiligen Faktor für den Umsetzungsstand aus Tabelle 21 multipliziert. Diese sollen dem Umstand Rechnung tragen, dass die Prozesse möglichst früh in Gang gesetzt werden sollen, um Synergien bei der Umsetzung auszunutzen.

Status	Bewertung
Der Prozess ist nicht geplant	1
Der Prozess befindet sich in der Planung	2/3
Der Prozess befindet sich in der Umsetzung	1/3
Der Prozess wurde umgesetzt	0

Tabelle 21 Bewertungsfaktoren für den Umsetzungsstand eines IT-Unterstützungsprozesses

Die so ermittelte Priorisierung der Prozesse soll sicherstellen, dass IT-Unterstützungsprozesse, die für die relevanten Unternehmensziele wichtig sind, besonders früh in Gang gesetzt zu werden, um möglichst schnell einen Beitrag zum Unternehmenserfolg zu leisten. Die Einteilung in verschiedene Reifegrade soll gewährleisten, dass die Prozesse in sinnvollen Kombinationspaketen umgesetzt werden. Ein Anwendungsbeispiel wird in 7.2 vorgestellt.

## **4. Arbeitspaket 3: Identifikation von Einflussfaktoren und Erklärung der Wirkungsweise hinsichtlich der Erfolgsfaktoren (FVP)**

### **4.1. Zielstellung des Arbeitspakets 3**

Das Ziel des Arbeitspakets besteht in der Identifikation von Maßnahmen zur gezielten Ausschöpfung von Restpotenzialen sowie der Beseitigung von Schwachstellen entlang von Prozessketten. Dem „Industrie 4.0“-Leitgedanken folgend stehen dabei die drei grundlegenden Strategien „Informationsintegration“, „virtuelle Abbildung von Produktionsmitteln“ sowie die „Vernetzung von Ressourcen“ im Fokus. Mittels Soll-Ist-Vergleichen zwischen dem aktuellen Stand der unternehmensinternen IT-Infrastruktur und gegebenen Referenzmustern werden zunächst mögliche Handlungsempfehlungen hergeleitet. In einem nachfolgenden Schritt werden diese Empfehlungen dann in Hinblick auf die anvisierten Unternehmensziele beleuchtet (vgl. AP 2). Eine Kosten-Nutzen-Analyse erlaubt dann eine multikriterielle Unterteilung der durchführbaren Maßnahmen hinsichtlich ihrer Kosten, ihrer zeitlichen Auswirkungen sowie ihrem letztendlichen Nutzen. Hierdurch lassen sich zum Beispiel „Quick Wins“ definieren, die bei minimalem Ressourceneinsatz den kurzfristig größten Nutzen versprechen. Veranschaulicht wird das vorgestellte Verfahren anhand von drei unterschiedlichen Unternehmenstypen, welche aus den bereits vorgestellten Typen abgeleitet wurden (vgl. Arbeitspaket 2).

### **4.2. Schwachstellenanalyse auf Basis des Ist-Soll-Vergleichs zwischen dem identifizierten Ist-Zustand der Unternehmens-IT des KMU und dem Soll-Zustand des korrespondierenden/fokussierten Referenztyps**

Im Rahmen des Projektes ist – bezogen auf die CAD-CAM-NC-Verfahrenskette und den mit ihr assoziierten unidirektionalen Informationsfluss – eine Beseitigung von Schwachstellen verbunden mit der Einführung zusätzlicher Hard- und Software-IT-Werkzeuge. Diese erlauben zum einen eine digitale Verbreitung fertigungsrelevanter Informationen *entlang* der der Verfahrenskette, um beispielsweise bei Auftreten von Planungsänderungen kurzfristig die Aktualität aller fertigungsrelevanten Daten sicherzustellen. Zum anderen ist durch diese Werkzeuge eine Verbreitung von technologischem Fachwissen oder die Rückmeldung von Problemstellungen im produktionstechnischen Umfeld *entgegen* dem eigentlichen Informationsfluss der Prozesskette möglich. Dadurch werden zum Beispiel das vorhandene wirtschaftlich-technologische Know-How sowie organisatorische Erfahrungswerte stationsübergreifend im Unternehmen verbreitet und stehen für zukünftige Planungen zur Verfügung.

Zur systematischen Unterteilung der hier kurz dargelegten Vielfalt an Funktionen findet zunächst eine Strukturierung von am Markt verfügbaren Lösungen auf Basis des erstellten Reifegradmodells und den darin enthaltenen Prozessen statt. Mittels einer Marktstudie wurde dazu eine Vielzahl an Vertretern für Planungs-, Dokumentations- und Fertigungssysteme erfasst. Auf Basis der Erhebung fand dann der Aufbau einer (Software-) Modulmorphologie statt. Dabei wurden vier

Modulkategorien unterschieden. In Abbildung 25 sind diese entlang des Informationsflusses der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette verortet.

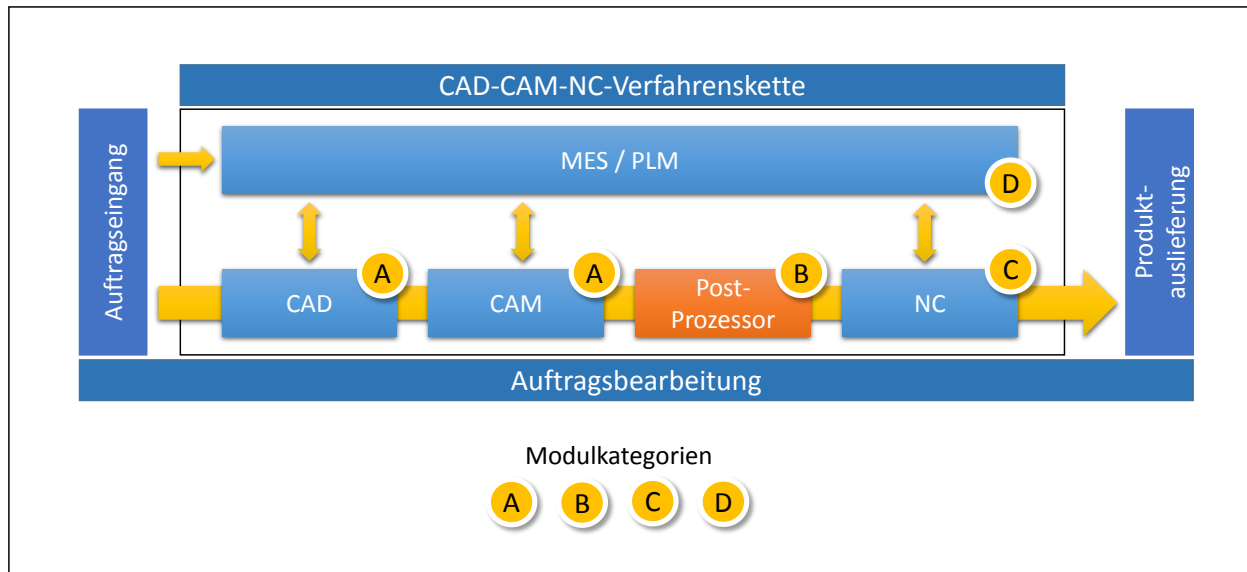


Abbildung 25: Modulmorphologie – Einordnung kategorisierter Module entlang des Informationsflusses der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette

Kategorie A umfasst die Vielzahl an CAD-CAM-Systemen. Diese werden üblicherweise wirtschaftlich eingesetzt, wenn der Aufwand der NC-Programmerstellung und der Erstellung von Fertigungsdokumentationen im Vergleich zur eigentlichen Bearbeitungszeit einen erheblichen Anteil einnimmt oder die Geometrie der zu fertigenden Bauteile einen gewissen Komplexitätsgrad überschreitet. Daran anschließend sind zu Kategorie B die Menge aller Postprozessoren zugeordnet. Im Falle eines heterogenen Maschinenparks erlauben Postprozessoren in Kombination mit einem CAM-System einen flexiblen Wechsel von Werkzeugmaschinen bei der Auftragsbearbeitung. Ein bereits erstelltes Fertigungsprogramm kann meist mit nur geringfügigen Änderungen auf mehreren, sehr unterschiedlichen Maschinen (z.B. Achs-Kinematik, NC-Steuerung) übertragen werden. Hierdurch kann der Maschinenpark deutlich flexibler eingesetzt werden, um ggf. Maschinenausfälle zu kompensieren oder unvorhergesehene Stillstandszeiten zu reduzieren.

In Kategorie C werden NC-Module zusammengefasst. Diese Module umfassen u. A. Funktionen für den digitalen Datenaustausch zwischen Stationen aus Arbeitsvorbereitung und Fertigung. Neben dem Transfer von NC-Programmen aus dem CAM-System können auf diesem Wege beispielsweise auch Werkzeug-Ist-Daten von Schneideneinstellgeräten (SEG) an die NC-Steuerung zur korrekten Berechnung von Werkzeugpfaden übertragen werden. Module zur Organisation und zum Management entlang der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette werden Kategorie D zugeordnet. Diese bauen anteilig mit Funktionen aus Kategorie C auf, kapseln diese Funktionen doch in Methoden zur Auftragsverwaltung und -bearbeitung mit einer aufgabenbezogenen Bereitstellung von Fertigungsinformationen an angebotenen Stationen der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette. Durch die in dieser Kategorie enthaltenen Module wird eine Steuerung des Produktionsablaufs möglich. Gleichzeitig erlauben einige Vertreter dieser Kategorie, dass Mitarbeitern an den einzelnen Stationen der Prozesskette ihr Expertenwissen digital zurückführen können. Hierdurch wird dieses Wissen an allen übrigen Stationen verfügbar. Die Kategorien und deren genauere Substrukturierungen sind in Abbildung 30, Abbildung 31, Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt.

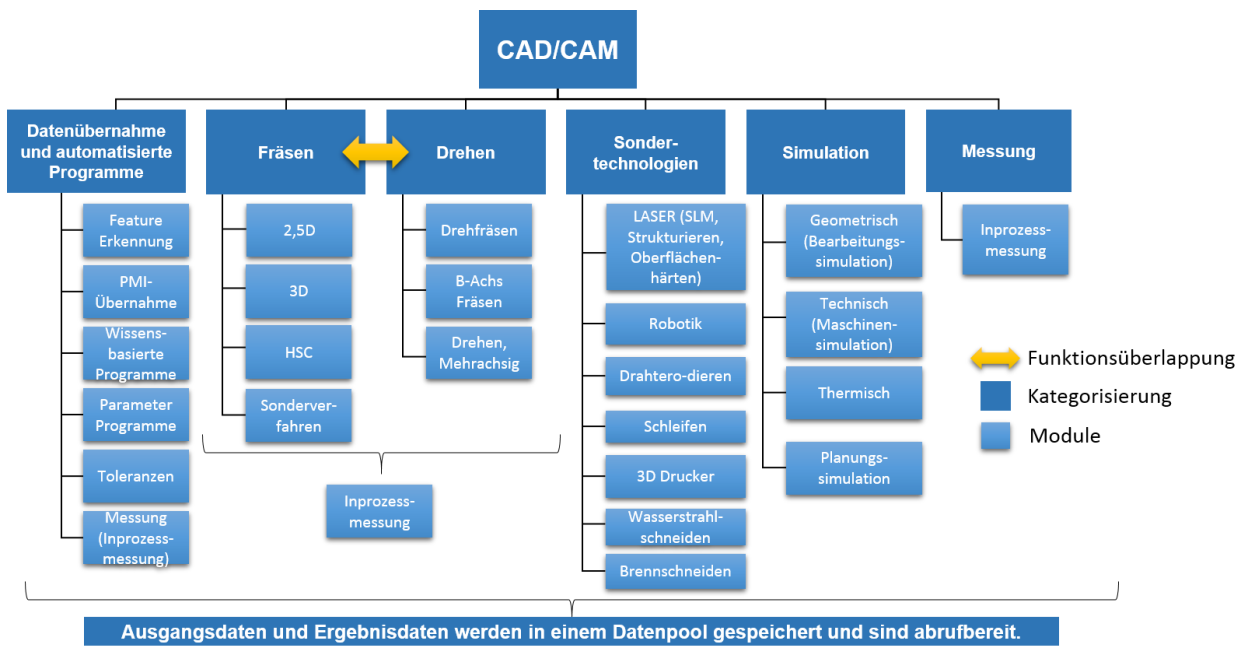


Abbildung 26: Substrukturierung von von Modulen der Kategorie A (CAD-CAM-Module)

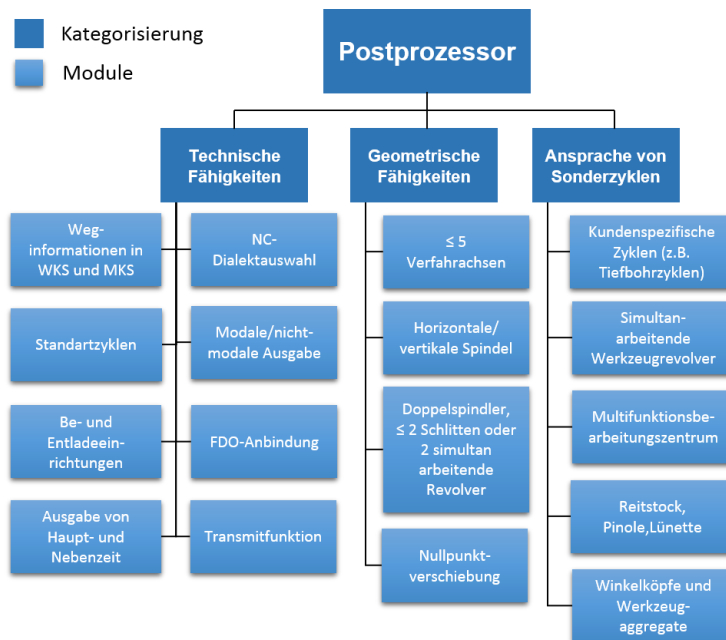


Abbildung 27: Substrukturierung von von Modulen der Kategorie B (Postprozessor-Module)



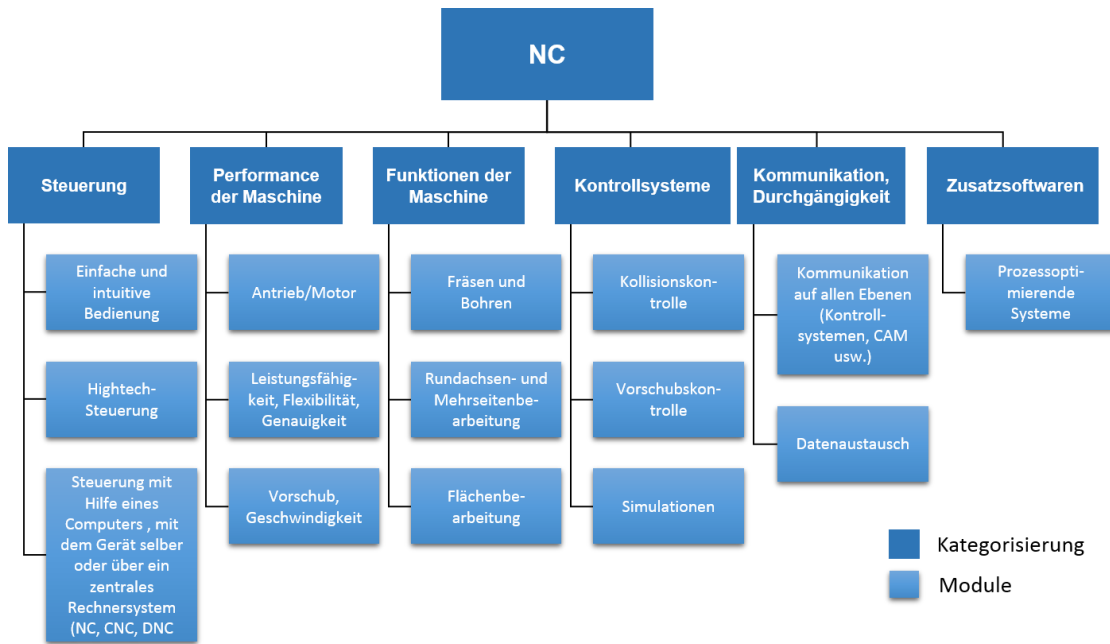


Abbildung 28: Substrukturierung von von Modulen der Kategorie C (NC-Module)

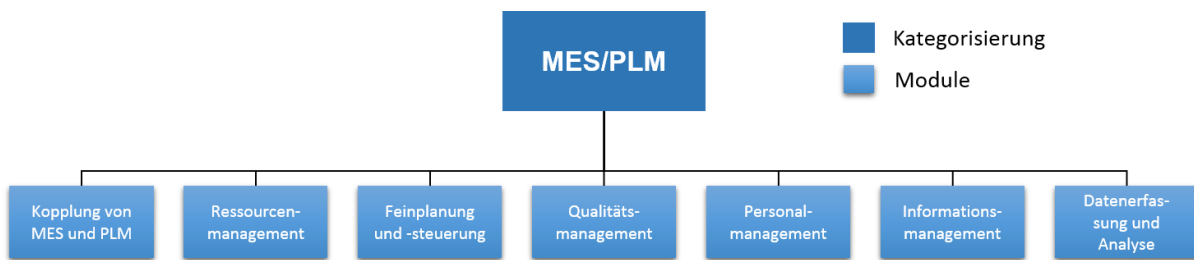


Abbildung 29: Substrukturierung von von Modulen der Kategorie D (MES/PLM-Module)

Wie auch von den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses bestätigt, ist der unmittelbare Nutzen der vorgestellten Modulekategorien stark abhängig von der Größe und der Struktur des betrachteten Unternehmens. Dies wird zusätzlich von der strategischen Positionierung und somit der unterschiedlichen Gewichtung der in Arbeitspaket 2 herausgestellten Unternehmensziele überlagert.

Um das Vorgehen im Detail zu erläutern werden im Folgenden klassische Schwachstellen unterschiedlicher Unternehmenstypen im Vergleich zu den – durch die Unternehmensziele vorgegebenen – Referenztypen (d.h. Soll-Zustand) kurz umrissen. Anschließend erfolgt für alle vier Kategorien eine Gegenüberstellung von entsprechenden Vertretern und Unternehmenszielen für das Szenario der „Einmalfertigung“. Durch die in diesem Zusammenhang vorgestellte Bewertungsmethodik können anschließend die geeignetsten Maßnahmen zur Erreichung der gewünschten Unternehmensziele identifiziert und ergriffen werden.

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde hier eine Reduktion der Unternehmensziele vorgenommen, welche in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss stattfand. Die

betrachteten Unternehmensziele sind: Kostenreduktion, Kapazitätsauslastung, Durchlaufzeitreduktion, Qualität, Flexibilität, Kundenzufriedenheit und Prozesssicherheit.

### **Schwachstellenanalyse am Beispiel unterschiedlicher Unternehmenstypen**

Im Rahmen der **Einmalfertigung** (Losgröße 1) findet im Allgemeinen eine strategische Ausrichtung hinsichtlich Innovation statt (vgl. AP 2). Die Auseinandersetzung mit dem Kunden und dessen individuellen Wünschen steht hier im Vordergrund. Dies erfordert allerdings ein hohes Maß an Flexibilität der Mitarbeiter sowie der eingesetzten Software und Fertigungsressourcen. Planerische Tätigkeiten und Nebenzeiten nehmen in diesem Kontext einen erhöhten zeitlichen Anteil bei der Bearbeitung eines Auftrags ein. Dementsprechend hoch gestaltet sich also im Verhältnis der Aufwand bei der NC-Programmierung, der Erstellung von Fertigungsdokumentation sowie der Einrichtung von Bearbeitungswerkzeugen und Werkzeugmaschinen. Schwachstellen entstehen hier schnell hinsichtlich der Flexibilität, wenn (kundenseitig) eingebrachte Planungsänderungen eine Prüfung aller bereits vorbereiteten und verbreiteten, fertigungsrelevanten Informationen erforderlich machen. Dies betrifft vor allem Datensätze, die Informationen über Werkzeuglisten und Magazinbelegungen sowie NC-Verfahrbewegungen und Aufspannsituationen enthalten. Vorrangig zu optimierende Prozesse sind damit 6, 8, 9, 15, 19, 23 und 31 (vgl. AP 2), damit vor dem Hintergrund der Innovationsstrategie das Referenzmuster erreicht wird.

Im Rahmen einer **Kleinserienfertigung** stehen vor allem Durchlaufzeiten und die Vermeidung von Stillstandszeiten im Fokus (Strategie). Der Aufwand in Bezug für die NC-Programmierung fällt hier im Verhältnis zur Fertigung deutlich geringer aus. In der Regel findet diese werkstatorientiert – also entweder direkt an der Maschinensteuerung oder auf maschinennah angesiedelten Programmierplätzen – statt. Der Bedarf an Fertigungsressourcen ist im Allgemeinen deutlich höher (z. B. Bearbeitungswerkzeuge), so dass sich folglich ein erhöhter Aufwand in der Betriebsmittelorganisation einstellt. Verstärkt wird der Aufwand noch durch einen ebenfalls höher frequentierten Austausch von werkzeugbezogenen Fertigungsdaten zwischen Arbeitsvorbereitung und NC-Steuerung. Eine Schwachstelle besteht hier also vor allem in der falschen, oft manuellen Übertragung von Korrekturwerten oder der falschen Bestückung von Werkzeugmagazinplätzen. Diese führen in einfachen Fällen zu Ausschuss, im schlimmsten Falle jedoch zu Maschinenausfällen. Zu verbessernde Prozessen sind 17, 18 und 22. Eine weitere Schwachstelle ist in der fehlenden Fähigkeit, kurzfristige Maschinenausfälle durch einen schnellen Wechsel auf u. U. nicht ausgelastete Werkzeugmaschinen zu finden. Der Grund dafür liegt in der bereits vorgestellten, maschinenspezifischen, werkstatorientierten Programmierung. Zur Übertragung zwischen Maschinen müssen in der Praxis zunächst manuelle NC-Programmänderungen vorgenommen werden, die sowohl Achs-Konfiguration und NC-Steuerung und einsetzbare Werkzeuge, aber auch zu verwendende Spannmittel betreffen. Die zugehörigen, verbesserungswürdigen Prozesse sind 10, 11 und 22.

Was für die Kleinserienfertigung zutrifft, gilt auch in verstärkter Form für die **Massenfertigung**. Allerdings verfügen diese im direkten Vergleich bereits über CAM-Systeme zur Programmierung von Werkzeugverfahrbewegungen. Noch erheblicher als in der Kleinserienfertigung sind es Programmdurchlaufzeiten für jedes gefertigte Einzelteil, die einen ganz erheblichen Einfluss auf die Fertigungskosten ausüben. Folglich werden (vom CAM-System) erstellte NC-Programme an der Werkzeugmaschine kontinuierlich hinsichtlich ihrer Laufzeit optimiert (Verringerung von Sicherheitsabständen, Auswahl der Bearbeitungswerkzeuge, Anpassung von Technologieparametern). Das hier eingebrachte Expertenwissen des Maschinenbedieners ist

damit für den Erfolg des Unternehmens erheblich. Schwachstellen sind hier somit zusätzlich in der Fehlenden Rückführung dieses Spezialwissens zu suchen. Optimierungen im Falle neuer Bearbeitungsplanungen können nicht frühzeitig im Rahmen der Arbeitsvorbereitung durchgeführt werden. Zu optimierende Prozesse sind neben 10, 11, 17, 18 und 22 also auch 15 und 19.

### **4.3. Potenzialanalyse und Identifikation von Handlungsfeldern zur Erreichung des Soll-Zustands**

Auf Basis dieser Schwachstellenanalyse und den mir Ihr identifizierten, zu optimierenden Prozessen wird im Folgenden eine Gegenüberstellung von Softwaresystemen mit Unternehmenszielen durchgeführt. Ziel ist dabei die Abbildung von Auswirkungen verfügbarer Module auf jene Ziele und damit auf entsprechend gewichtete Prozesse.

#### **Formalismus zur Abbildung des Einflusses von Modulen auf Unternehmensziele**

Mit Hilfe einer Skala kann die jeweilige Auswirkung der Softwaresysteme auf die Unternehmensziele gewichtet werden. Eine geeignete Gewichtung ist nur mit einer Skala, die sowohl positive als auch negative Auswirkungen in verschiedenen Abstufungen auf die Ziele abbildet, möglich. Im Zuge der Analyse muss jedes Modul hinsichtlich der Auswirkungen auf die Unternehmensziele untersucht werden. Ein detailliertes Beispiel wird in der folgenden Abbildung 30 für Vertreter der Kategorie A gegeben. In dieser Kategorie ist beispielsweise die „Feature-Erkennung“ eingeordnet. Diese erlaubt eine automatische Detektion von Bearbeitungsmerkmalen. Sein größter Nutzen entsteht, wenn der Programmieraufwand im Verhältnis zum sonstigen Aufwand der Auftragsbearbeitung einen besonders hohen Stellenwert einnimmt (vgl. Einmalfertigung). Die Anschaffung dieses Moduls ist jedoch nur mit erhöhten Kosten verbunden, sodass die Auswirkung auf das Ziel „Kostenreduktion“ mit „-2“ bewertet und somit die negative Auswirkung festgehalten wird. Jedoch kann durch diese zusätzliche Software die Programmierzeit sowie Durchlaufzeit reduziert werden. Daher wurde die Auswirkung mit „3“ bewertet. Darüber hinaus kann eine positive Auswirkung auf die Flexibilität festgestellt werden („1“). Auf kundenseitige Änderungen kann dadurch in gewissem Maße (z. B. bei kleinen Änderung von Dimensionen definierter Fertigungsmerkmale) ohne hohen manuellen Aufwand reagiert werden.

standardisierte Module	Kostenreduktion	Kapazitätsauslastung	Durchlaufzeitreduktion	Qualität	Flexibilität	Kundenzufriedenheit	Prozesssicherheit	Summe
<b>CAD/CAM</b>								
Datenübernahme und Automatisierte Programme								
Feature-Erkennung	-2	0	3	0	1	0	0	2
PMI-Übernahme	-1	0	0	1	0	0	1	1
Wissensbasierte Programme	-1	0	0	0	1	0	1	1
Parameter-Programme	-1	0	2	0	2	0	0	3
Toleranzen	0	0	0	1	2	0	0	3
Fräsen und Drehen								
2D Fräsen	-1	2	2	2	2	0	0	7
3D Fräsen	-2	2	2	2	2	0	0	6
HSC	-3	2	2	2	2	0	0	5
Drehfräsen	-1	2	2	2	2	0	0	7
B-Achs Fräsen	-2	2	2	2	2	0	0	6
Mehrachsiges Drehen	-2	2	2	2	2	0	0	6
Sonderverfahren	-3	2	2	2	2	0	0	5
Sondertechnologien								
LASER (SLM, Strukturieren, Oberflächenhärten)	-2	2	2	2	2	0	0	6
Robotik	-3	2	2	2	2	0	0	5
Drahterodieren	-2	2	2	2	2	0	0	6
Schleifen	-1	2	2	2	2	0	0	7
3D-Drucker	-1	2	2	2	2	0	0	7
Wasserstrahlschneiden	-1	2	2	2	2	0	0	7
Brennstrahlschneiden	-1	2	2	2	2	0	0	7
Simulation								
Geometrisch (Bearbeitungs-simulation)	-2	0	-1	2	0	0	3	2
Technisch (Maschinen-simulation)	-2	0	-1	2	0	0	3	2
Thermisch	-2	0	-1	2	0	0	3	2
Planungssimulation	-2	0	-1	2	0	0	3	2
Messung								
Inprozessmessung	-2	0	-1	1	0	0	2	0
Summe	-40	28	28	39	34	0	16	

Abbildung 30: Abbildung der Auswirkungen von Moduleinführungen auf Unternehmensziele am Beispiel der Kategorie A (CAD-CAM-Module)

Es ist nun möglich, Summen in den Zeilen und Spalten zu bilden und so die gesamte Auswirkung der „Feature-Erkennung“ zu bestimmen. Da die Software auf keine weiteren Ziele eine Wirkung hatte, wurde eine insgesamt positive Auswirkung  $(-2+3+1=2)$  auf das angestrebte Unternehmensziel festgestellt. Wie in Abbildung 30 dargelegt, wurde dasselbe Vorgehen auch bei den übrigen, aufgelisteten Modulen aus Kategorie A angewandt. Analog ging man bei den Kategorien B, C und D vor. Die Ergebnisse Abbildung 31, Abbildung 32 und Abbildung 33 zu entnehmen.

standardisierte Module	Kostenreduktion	Kapazitätsauslastung	Durchlaufzeitreduktion	Qualität	Flexibilität	Kundenzufriedenheit	Prozesssicherheit	Summe
<b>CNC</b>								
Steuerung								
Einfache und intuitive Bedienung	0	0	1	0	0	2	0	3
Hightech-Steuerung	-3	0	0	0	0	2	0	-1
Steuerung mit Hilfe eines Computers, mit dem Gerät selber oder über ein zentrales Rechnersystem	-1	0	0	0	1	0		0
Performance der Maschine								
Optimaler Motor/Antrieb	-3	0	2	0	0	0	0	-1
Leistungsfähigkeitsoptimierung	-3	0	2	0	0	0	0	-1
Höchste Genauigkeit	-3	0	2	2	0	0	0	1
Maximale Flexibilität	-3	0	2	0	2	0	1	2
Stärkster Vorschub	-3	0	3	0	0	0	-1	-1
Höchstgeschwindigkeit	-3	0	3	0	0	0	0	0
Funktionen der Maschine								
Fräsen und Bohren	-2	0	0	0	0	0	0	-2
Rundachsen- und Mehrseitenbearbeitung	-2	0	0	0	0	0	0	-2
Flächenbearbeitung	-2	0	0	0	0	0	0	-2
Kontrollsysteme								
Kollisionskontrolle	-2	0	-1	2	0	0	2	1
Vorschubkontrolle	-2	0	-1	2	0	0	2	1
Simulationen	-2	0	-1	2	0	0	2	1
Kommunikation, Durchgängigkeit								
Kommunikation auf allen Ebenen	-1	0	0	0	1	0	1	1
Datenaustausch	-1	0	0	0	1	0	0	0
Zusatzsoftware								
Prozessoptimierende Systeme	-3	0	2	2	2	0	0	3
Summe	-39	0	14	10	7	4	7	

Abbildung 31: Abbildung der Auswirkungen von Moduleinführungen auf Unternehmensziele am Beispiel der Kategorie B (Postprozessor-Module)

standardisierte Module	Kostenreduktion	Kapazitätsauslastung	Durchlaufzeitreduktion	Qualität	Flexibilität	Kundenzufriedenheit	Prozesssicherheit	Summe
<b>Postprozessor</b>								
<b>Technische Fähigkeiten</b>								
Weginformationen in WKS und MKS	0	0	1	0	0	0	0	1
Standartzyklen	-1	-1	1	0	1	0	1	1
Be- und Entladeeinrichtungen	-1	0	0	0	1	0	0	0
Ausgabe von Haupt- und Nebenzeiten	-1	-1	0	0	0	0	2	0
NC-Dialektauswahl	-1	0	0	0	1	0	0	0
Modale/ nicht-modale Ausgabe	0	0	0	0	1	0	0	1
FDO Anbindung	-1	0	0	0	1	0	2	2
Transmitfunktion	-1	0	0	0	0	0	0	-1
<b>Geometrische Fähigkeiten</b>								
≤ 5 Verfahrsachsen	-1	1	0	0	1	0	0	1
Horizontale/ vertikale Spindel	-1	1	0	0	1	0	0	1
Doppelspindel, ≤ 2 Schlitten oder 2 simultan arbeitende Revolver	-1	1	1	0	1	0	0	2
Nullpunktverschiebung	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ansprache von Sonderzyklen</b>								
Kundenspezifische Zyklen	-1	0	0	0	2	1	0	2
Simultan arbeitende Werkzeugrevolver	-1	1	2	0	1	0	0	3
Multifunktionsbearbeitungszentrum	-1	0	1	0	1	0	0	1
Winkelköpfe und Werkzeugaggregate	-1	0	0	0	0	0	0	-1
<b>Summe</b>	<b>-13</b>	<b>2</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	

Abbildung 32: Abbildung der Auswirkungen von Moduleinführungen auf Unternehmensziele am Beispiel der Kategorie C (NC-Module)

standardisierte Module	Kostenreduktion	Kapazitätsauslastung	Durchlaufzeitreduktion	Qualität	Flexibilität	Kundenzufriedenheit	Prozesssicherheit	Summe
<b>MES/PLM</b>								
Kopplung von MES und PLM	-1	1	0	0	1	0	1	2
Ressourcenmanagement	1	3	0	0	1	0	2	7
Feinplanung und -steuerung	-1	1	1	0	0	0	2	3
Qualitätsmanagement	-1	0	-2	3	0	2	0	2
Personalmanagement	-1	3	0	0	1	0	1	4
Informationsmanagement	-1	0	0	0	0	0	1	0
Datenerfassung und Analyse	-1	0	-1	1	0	0	3	2
<b>Summe</b>	<b>-5</b>	<b>8</b>	<b>-2</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>10</b>	

Abbildung 33: Abbildung der Auswirkungen von Moduleinführungen auf Unternehmensziele am Beispiel der Kategorie D (MES/PLM-Module)

So werden allgemeine Handlungsalternativen erstellt, die je nach Ergebnis der Schwachstellenanalyse voneinander abweichen. Dabei sind natürlich die Abhängigkeiten der Module zu den Unternehmenszielen ausschlaggebend, über welche letztendlich festgelegt wird, welche Systeme neu eingeführt werden bzw. welche Systeme erweitert werden müssen.

#### 4.4. Bewertung der Handlungsfelder (Kosten-Nutzen-Analyse, Quick Wins)

Zu Beginn der Analyse werden die Module der in Kapitel 3.3 vorgestellten Kategorien aufgelistet und deren entstehenden Kosten bei Einführung gegenübergestellt. Ziel ist dabei die sichere Abschätzung, ob der zu erwartende Nutzen die entstehenden Kosten der Modul-Einführung übersteigt und somit zu einem positiven Ergebnis – und somit der Erreichung der geplanten Unternehmensziele – führt. Dabei ist ebenfalls der zeitliche Horizont zu berücksichtigen, in dem sich dieser Nutzen erwartungsgemäß einstellen wird. Bei „Quick Wins“ wird in diesem Kontext von Maßnahmen gesprochen, die erkannte Schwachstellen kurzfristig beseitigen. Dabei handelt es sich vor allem um die Einführung von Software- und Hardware-Komponenten, deren Verwendung keine erheblichen Einflüsse auf die aktuelle Unternehmensorganisation ausübt, sondern nur vereinzelte Prozesse in Richtung der strategischen Industrie 4.0 Ziele verbessert. Diese dürfen darüber hinaus nicht mit einem erheblichen Einführungs- und Schulungsaufwand verbunden sein. Im Folgenden werden solche „Quick Wins“, aber auch langfristig nutzensteigernde Maßnahmen anhand der drei Unternehmenstypen „Einmalfertigung“, „Kleinserienfertigung“ und

„Massenproduktion“ beleuchtet. Die jeweiligen Schwachstellen und die entsprechend zu optimierende Prozesse wurden bereits in Kapitel 4.2 identifiziert.

### **Auswahl von Maßnahmen am Beispiel unterschiedlicher Unternehmenstypen**

Im Falle der **Einmalfertigung** finden sich „Quick Wins“ beispielsweise bei der Einführung einer DNC-Anbindungen zwischen CAM-System und den Werkzeugmaschinen (vgl. Modulkategorie C). Diese Maßnahmen stellen sicher, dass bei Eintreffen von kundenseitigen Änderungen der Datentransfer zwischen Arbeitsvorbereitung und Fertigung kurzfristig unterbrochen werden kann. Dadurch lässt sich sowohl der Teileausschuss, aber auch das Risiko von Maschinenausfällen durch Kollisionen, welche vermehrt durch aktualisierte NC-Programme in Kombination mit veralteten Aufspannsituationen auftreten können, deutlich reduzieren. Langfristig betrachtet verspricht hier – aufbauend auf der diskutierten DNC-Anbindung – die Einführung eines MES-Systems, welches alle Stationen der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette informationstechnisch anbindet, den größten Nutzen. Dadurch können Fertigungsaufträge nicht nur gestoppt, sondern auch deren fertigungsrelevante Informationen aufgrund einer zentralen Datenablage ganzheitlich aktualisieren werden. Allerdings ist die Einführung eines solchen Systems mit einem erhöhten Einführungs- und Schulungsaufwand sowie einer verstärkten Reorganisation der unternehmensinternen Workflows verbunden.

Im Rahmen der **Kleinserienfertigung** bestehen „Quick Wins“ in der Einführung eines zentralen SEGs sowie einer DNC-Anbindung zu den NC-Steuerungen. Hierdurch lassen sich Werkzeugkorrekturwerte digital von der Arbeitsvorbereitung nur NC-Steuerung übertragen, also auch Werkzeugbestände verwalten. Längerfristig, zur Kompensation von Maschinenausfällen, ist von der werkstatorientierten Programmierung Abstand zu nehmen. Einfache, in der Regel 2.5D CAM-Systeme in Verbindung mit entsprechenden Postprozessoren, erlauben eine maschinenunabhängig Programmierung und somit im Bedarfsfall einen schnellen Wechsel von geplanten NC-Bearbeitungen auf unterschiedlich ausgestattete Werkzeugmaschinen. Dies ist auch mit NC-Programm-Konvertern möglich, die Programme einer Maschine in Programme einer neuen Zielmaschine überführen können.

Im Vergleich zwischen Kleinserienfertigung und **Massenfertigung** verhält es sich in Bezug auf „Quick Wins“ ähnlich. Unterschiede finden sich vor allem bei Maßnahmen bezüglich eines sich langfristig einstellenden Nutzens. Ein MES-System, gekoppelt mit einer zentralen Wissensdatenbank schafft hier letztendlich einen bidirektionalen Informationsfluss entlang und entgegen der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette. Das Expertenwissen des Maschinenbedieners kann auf diese Weise der Arbeitsvorbereitung bereitgestellt werden. Damit können zeitintensive, iterative Programmanpassungen an der Werkzeugmaschine zur Verringerung der Programmlaufzeit im Rahmen einer wirtschaftlich-technologisch optimierten CAM-Bearbeitungsplanung vermieden werden.

## 5. Arbeitspaket 4 Gestaltungsmodell: Dokumentation der Vorgehensweise sowie Handlungsempfehlungen zur Umsetzung von Industrie 4.0 (FIR)

### 5.1. Zielstellung des Arbeitspakets 4

In diesem Arbeitspaket soll das bisherig beschriebene Vorgehen in Form einer Vorgehensbeschreibung zur Umsetzung von Industrie 4.0 in KMU umgesetzt werden.

### 5.2. Excel Tool zur Ermittlung des aktuellen Reifegrades

Zur Ermittlung des aktuellen Reifegrades wurde ein Excel Tool entwickelt mit dem Ziel der Schwachstellen und Potentialanalyse. Ziel des Tools ist, dass Unternehmen den Reifegradlevel für die CAD-CAM-NC Prozesskette im Kontext Industrie 4.0 selbst bestimmen, sowie Stärken und Schwächen eigenständig ableiten können. Dazu bewerten die Unternehmenden den aktuellen Umsetzungsstand (nicht relevant, nicht geplant, in Planung, in Umsetzung, umgesetzt) der jeweiligen Prozesse, wodurch sowohl der Reifegradlevel der einzelnen Kategorien, als auch der Reifegradlevel des gesamten Unternehmens automatisch berechnet wird. Darüber hinaus zeigt das Tool graphisch, welche Bereiche des Unternehmens das meiste Potential bieten um den Reifegrad zu steigern. Das Tool besteht aus vier Kategorien an Excel Sheets:

1. Data Input (1 Sheet)
2. Kategorisierung der Reifegradindikatoren (6 Sheets – je ein Sheet pro Kategorie)
3. Bewertung der Prozesse anhand von Unternehmenszielen (1 Sheet)
4. Gewichtung der Kategorien (1 Sheet)
5. Auswertung (1 Sheet)

Im nachfolgenden Teil werden die Inhalte und Querverweise zwischen den Excel Sheets erläutert. Im Folgenden wird erklärt, wie das entstandene Excel-Tool, in welchem das Modell hinterlegt ist, angewendet wird. Zuerst muss im Blatt „Übersicht Bewertung Prozesse“ der Umsetzungsstand der einzelnen IT-Unterstützungsprozesse angegeben werden. Dafür muss in Spalte F der Wert für den jeweiligen Umsetzungsstand aus Tabelle 22 für den jeweiligen Prozess angegeben werden.

Umsetzungszustand	Prozess ist nicht relevant	Prozess ist nicht geplant	Prozess befindet sich in Planung	Prozess befindet sich in Umsetzung	Prozess ist Umgesetzt
Zahl die den Umsetzungsstand repräsentiert	0	1	2	3	4

Tabelle 22 Nummern der Umsetzungsstände

Anschließend werden die aktuellen Reifegrade für die Prozesskategorien im Blatt „Auswertung“ angegeben.

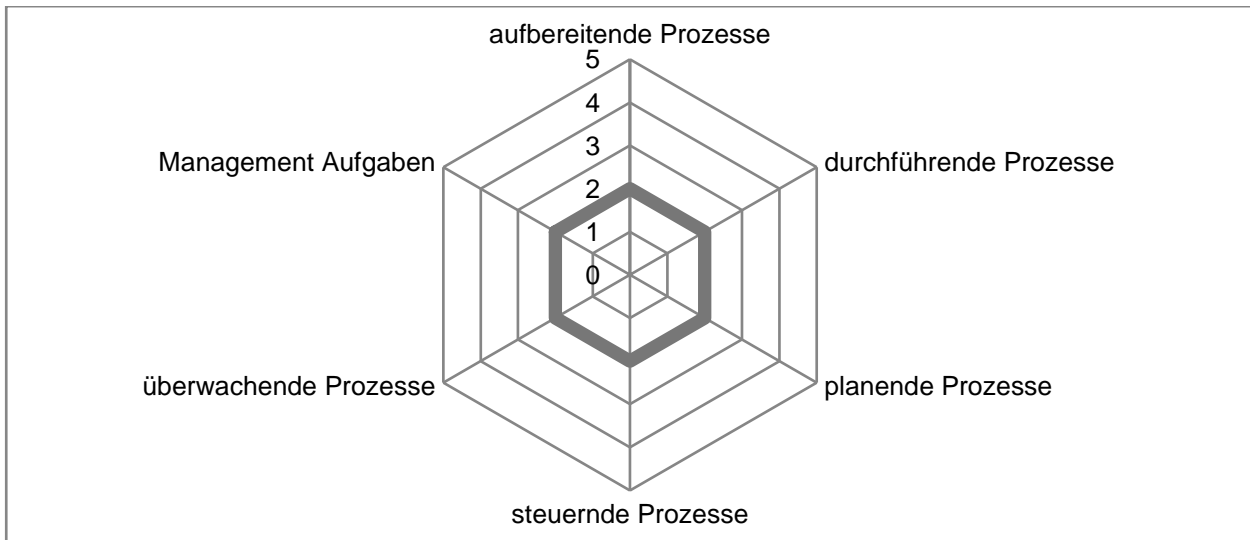


Abbildung 34 Beispiel für eine Reifegradauswertung eines Beispiel Unternehmens

Aufbauend auf dem aktuellen Reifegrad des Unternehmens wird dann in Blatt „Handlungsempfehlungen“ die für die Strategie relevanten Informationen ausgegeben. Dafür muss zuerst im Feld A10 der Unternehmenstyp ausgewählt und eine der folgenden Zahlen für den jeweiligen Unternehmenstyp eingetragen werden:

- Für den Unternehmenstyp Kostenvorteil: 1
- Für den Unternehmenstyp Individuell: 2
- Für den Unternehmenstyp Innovation: 3

Im gleichen Blatt in der Tabelle „Prozesskategorie“ wird dann angegeben, wie Relevant die Umsetzung des nächsten Reifegrads einer Kategorie für den Unternehmenserfolg ist. Dabei ist 1 am Relevantesten und 5 am wenigsten Relevant.

Um zu erfahren, wie der nächste Reifegrad in einer Prozesskategorie erreicht werden kann, muss der benötigte Mindestumsetzungsstatus für die jeweilige Prozesskategorie aus Tabelle 12 - Tabelle 17 ermittelt werden.

Im Blatt „Handlungsempfehlungen“ wird in den Tabellen Aufbereitende Prozesse, Durchführende Prozesse, Management Aufgaben, Planende Prozesse, Steuernde Prozesse und Überwachende Prozesse angegeben wie relevant das Erreichen des nächsten Umsetzungsstatus eines Prozesses für den Unternehmenserfolg ist. Ist ein Prozess nicht relevant oder bereits abgeschlossen, wird er in der Tabelle nicht mehr aufgeführt.

Zur Nachvollziehbarkeit ist im Blatt „Info“ die Zuordnung der Unternehmensziele zu den IT-Unterstützungsprozessen und im Blatt „Gew.fak. Unternehmensziele“ die Bewertungsfaktoren für der Unternehmensziele für die verschiedenen Unternehmenstypen angegeben.

### 5.3. Data Input

Im ersten Excel Sheet werden die einzelnen Prozesse per Drop-Down bewertet. Vorausgewählt ist jeder Prozess mit „Der Prozess ist nicht geplant“. Durch diese Vorauswahl ist sichergestellt, dass jeder Prozess bewertet ist und keine leere Zelle zur Auswertung vorliegt. Der aktuelle



Umsetzungsstand wird in eine Zahl gewandelt, damit die bewerteten Prozesse im weiteren Verlauf der Auswertung möglichst einfach auszuwerten sind.

#### 5.4. Kategorisierung der Reifegradindikatoren

Für jede der sechs Kategorien wurde ein Excel Sheet erstellt. Die Bewertung der Reifegradlevel erfolgt automatisch per Zellenverknüpfung aus dem Excel Sheet „Data Input“. Die Excel Sheets zur Kategorisierung erlauben einen detaillierteren Einblick in die Bewertung der CAD-CAM-NC Prozesskette und können im Rahmen der Auswertung betrachtet werden. Um alleine den Reifegradlevel für die gesamte Prozesskette zu ermitteln, können diese sechs Excel Sheets ausgeblendet werden.

#### 5.5. Bewertung der Prozesse anhand von Unternehmenszielen und Gewichtung der Kategorien

Die Prozesse sind 31 Unternehmensziele zugeordnet als Basis für die Gewichtung der Kategorien und zur Ermittlung der Produktionstypen. Die Zuordnung inklusive Gewichtung wurde von der Forschungsvereinigung Programmiersprachen e. V. erarbeitet. Für die Gewichtung der Kategorien wird die Anzahl an Unternehmenszielen für alle Prozesse in den einzelnen Kategorien berechnet. Die Gewichtung der Kategorien ist Tabelle 23 zu entnehmen und ein Beispiel der Berechnung ist in Tabelle 23 dargestellt.

Kategorie	Anzahl Prozesse	Anzahl Unternehmensziele pro Kategorie über alle Prozesse	Gewichtung
A	2	4	4/13=31%
B	3	9	9/13=69%

<b>Gesamtzahl Unternehmensziele</b>	<b>4+9=13</b>
-------------------------------------	---------------

Tabelle 23 Beispielhafte Berechnung

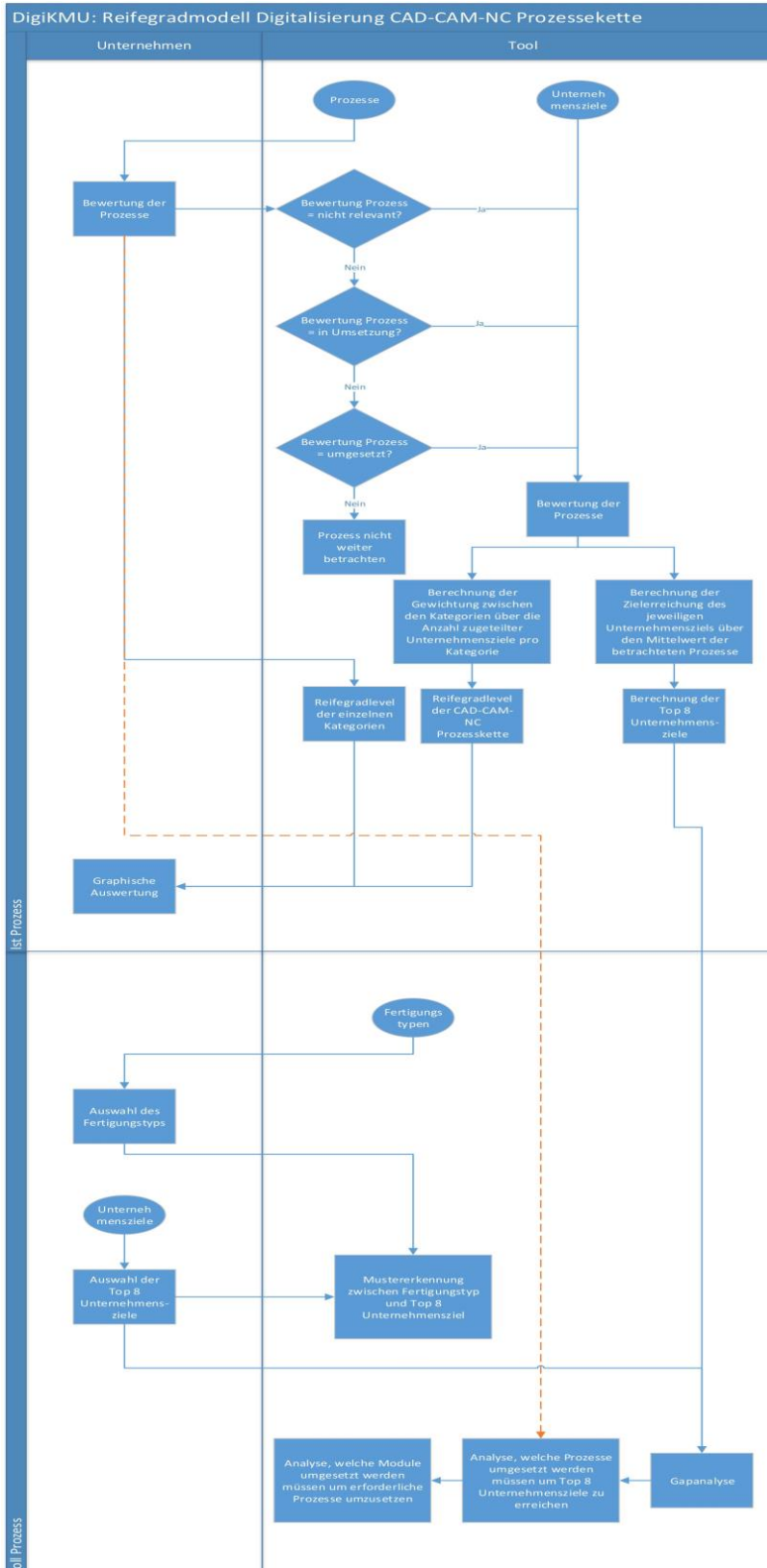
#### 5.6. Auswertung

Die Auswertung des Reifegradmodells unterteilt sich in einen allgemeinen Teil der Auswertung und in einen Detailbereich, welcher sich in den Excel Sheets der einzelnen Kategorien befindet. Falls einzelne Prozesse und/oder ganze Kategorien als „Prozess ist nicht relevant“ bewertet werden, werden diese Prozesse in der gesamten Auswertung nicht betrachtet

Die allgemeine Auswertung zeigt in einer Tabelle den erzielten Reifegradlevel in jeder Kategorie. Über die Gewichtung der einzelnen Kategorien berechnet sich der Reifegradlevel der CAD-CAM-NC-Prozesskette, welche ebenfalls in der Tabelle abgebildet ist. Um den Vergleich der Reifegradlevel in den einzelnen Kategorien übersichtlicher zu gestalten, ist unter der Tabelle eine graphische Auswertung der Reifegradlevel in Form eines Netzdiagramms zu finden.

Zur Auswertung der Produktionstypen werden ausschließlich Prozesse betrachtet, welche mit „Prozess befindet sich in Umsetzung“ und „Prozess ist umgesetzt“ bewertet wurden. In der Tabelle sind die vier Produktionstypen mit der jeweiligen Zielerreichung inklusive Gewichtung abgebildet.

Die detaillierte Auswertung zeigt, welche Reifegradlevel in den einzelnen Kategorien erreicht wurden. Darüber hinaus gibt die Auswertung Auskunft darüber, welche spezifischen Prozesse weiterentwickelt werden müssen um das nächste Reifegradlevel zu erreichen.



## 6. Arbeitspaket 5 Validierung der Projektergebnisse(FVP)

### 6.1. Zielstellung des Arbeitspakets 5

Das in Arbeitspaket 2 und 3 entworfene Konzept, sowie die in Arbeitspaket 4 durchgeführte, demonstratorische Implementierung wurde im Rahmen von Arbeitspaket 5 validiert. In diesem Zusammenhang wurde ein Leitfaden erstellt, der notwendigen, sukzessiv durchzuführenden Schritte enthält, um eine vollständige Umsetzung von Industrie 4.0-Konzepten bei gegebenen Unternehmenszielen zu erreichen. Dieser wurde in Absprache mit dem projektbegleitenden Ausschuss bei zwei ausgewählten Unternehmen angewendet. Um die Allgemeingültigkeit des Leitfadens und somit des Antragskonzeptes zu bewerten, entschied man sich hier für einen Lohnfertiger und ein Unternehmen im Bereich der Großserienfertigung. **Hinweis:** Beide Fallbeispiele werden in diesem Zusammenhang hinsichtlich der Arbeitspunkte 5.2.1 bis 5.2.4 (vgl. Antrag) beleuchtet. Die Ergebnisse werden aufgrund ihrer engen Verzahnung an dieser Stelle gebündelt im Fließtext dargelegt.

Der Leitfaden beinhaltet die Erstellung der in Arbeitspaket 3 vorgestellten Modulstruktur. Darüber hinaus ist eine Gegenüberstellung von den darin enthaltenen Modulen mit angestrebten Unternehmenszielen notwendig. Zur Veranschaulichung dieses Prozesses wurde zusätzlich eine Strukturierung für Produkte eines CAM-Systemanbieters vorgenommen.

### 6.2. Beschreibung einer standardisierten Vorgehensweise, entwickelt in AP1-AP3 (Handbuch, KMU-gerechte Aufbereitung der Ergebnisse)

Die aufeinander folgenden Schritte des Leitfadens sind in Abbildung 35 dargestellt. Diese werden im Folgenden kurz erläutert.

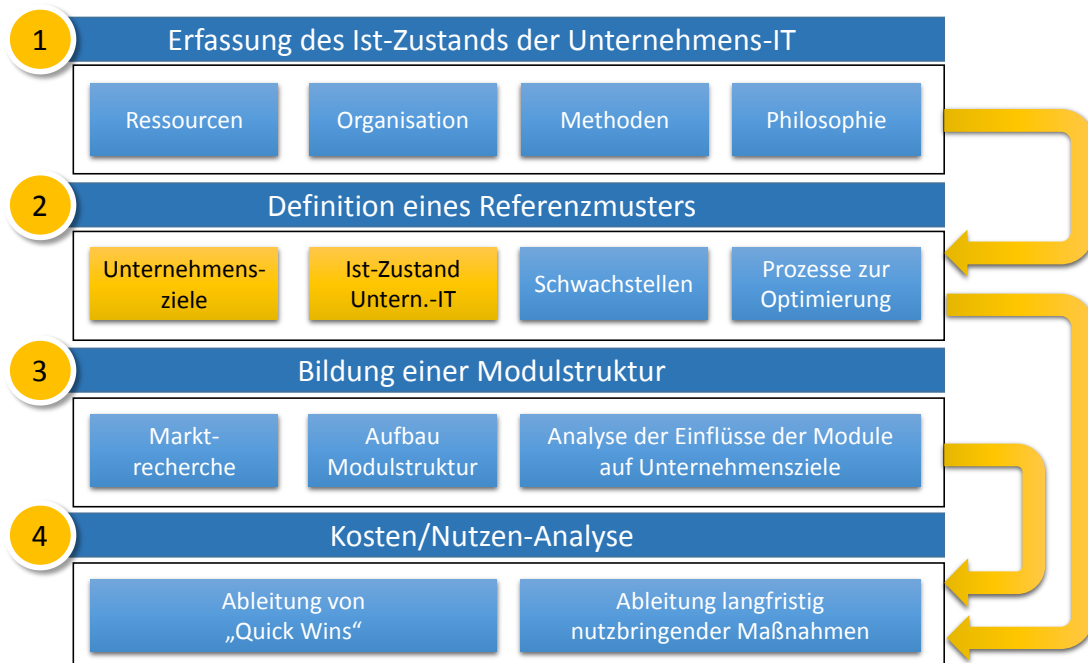


Abbildung 35: Arbeitsschritte des Leitfadens

Im ersten Schritt wird der aktuelle Status der unternehmensinternen IT-Infrastruktur aufgenommen. Dazu wird der in Arbeitspaket 1 vorgestellte Fragebogen zur Bestimmung der benötigten Dimensionen „Ressourcen“, „Organisation“, „Methoden“ sowie der Unternehmensphilosophie verwendet. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse sowie der angestrebten Unternehmensziele findet im zweiten Schritt dann unter Verwendung des Demonstrators (vgl. Arbeitspaket 4) die Definition eines Zielzustands (Referenzmuster / Reifegrad) statt. Hierbei wird parallel die in Arbeitspaket 3 vorgestellte Schwachstellenanalyse durchgeführt, bei der die Menge an einzuführenden oder zu optimierenden Prozessen herausgearbeitet wird.

Im dritten Schritt wird die in Arbeitspaket 3 definierte Marktrecherche durchgeführt. Darauf aufbauend erfolgt die Einteilung der aufgenommenen Softwaresysteme in eine Modulstrukturierung. Im Anschluss werden dann die Einflüsse dieser strukturierten Module auf die Unternehmensziele bestimmt. Schließlich erlaubt dann eine Kosten/Nutzen-Analyse die Identifikation von geeigneten Maßnahmen, welche entweder kurzfristig („Quick Wins“) oder langfristig betrachtet den erwünschten Nutzen herbeiführen.

Bei Anwendung des Leitfadens werden – ausgehend von einem angestrebten Soll-Zustand – Maßnahmen herausgestellt, die eine Weiterentwicklung des Unternehmens in Richtung des nächsten Reifegrads in Richtung Soll-Zustand ermöglicht. Wird der Leitfaden bei Beibehaltung einer vorgegebenen Unternehmensstrategie iterativ angewendet, kann schlussendlich der optimale Digitalisierungsstand – bezogen auf die vorgegebene Unternehmensstrategie – erreicht werden.

### 6.3. Fallbeispiel Anwendungsunternehmen (KMU) als Anwendungsfall im Bereich CAD-CAM-NC-Verfahrenskette (FVP)

Wie zu Beginn von Kapitel 75 erwähnt, wurden der Leitfaden bei zwei ausgewählten Unternehmen aus der Industrie angewendet. Beim angekündigten Lohnfertiger handelt es sich um die in Aachen ansässige 3win Maschinenbau GmbH, beim Unternehmen im Bereich der Massenfertigung um die Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH. Bevor jedoch die dort erzielten Ergebnisse präsentiert werden, erfolgt jedoch zunächst die angekündigte Modulstrukturierung anhand des Produktportfolios eines CAM-Systemanbieters. Hier wurden die Module und Softwarepakete der EXAPT Systemtechnik GmbH betrachtet.

#### **Modulstrukturierung am Beispiel des Produktportfolios eines CAD/CAM-Systemanbieters**

Seit 50 Jahren liefert EXAPT als unabhängiges Systemhaus und Dienstleister der Fertigungsindustrie weltweit Lösungen rund um die NC-Fertigung. EXAPT steht für 3D-CAD/CAM-Lösungen aus einer Hand – von der Konstruktion bis hin zur Fertigung – und bietet Software für NC-Planung, Produktionsdaten- und Toolmanagement an. Die umfangreiche EXAPT Technologie mit Schwerpunkt im Drehen, Bohren und Fräsen ermöglicht eine effiziente Programmierung auch bei komplexen Werkstückanforderungen mit bis zu 5-achsiger Simultan-Bearbeitung. Realitätsnahe Simulationen mit dynamischer Darstellung des Materialabtrags unterstützen die effiziente und fehlerfreie Erstellung von NC-Programmen. Vereint werden die verschiedenen Einzellösungen durch ein integriertes Produktionsdatenmanagement mit praxisnaher Anbindung an ERP/PLM. Dadurch können unternehmensinterne Workflow über den gesamten Planungsprozess digital abgebildet werden.

In Abbildung 36 ist das Produktportfolio der EXAPT Systemtechnik GmbH dargestellt. Angeboten werden neben Produkten zur CAM-Bearbeitungsplanung auch Lösungen zur Postprozessorgenerierung, werkstattnahen NC-Programmoptimierung sowie Produktionsdatenverwaltung:

- Bei der CAM-Bearbeitungsplanung wird zwischen 2D- und 3D-Planungsmethoden unterschieden.
- Beim EXAPTEasyPP handelt es sich um ein Entwicklungswerkzeug zur Erstellung von Postprozessoren.
- Beim EXAPT-NC-Editor handelt es sich um ein maschinennahes Programmiersystem zur Erstellung, Auswertung, Optimierung und Konvertierung von maschinenspezifischen NC-Programmen.
- Hinsichtlich der Produktionsdaten wird die Betriebsmittelorganisation von der Fertigungsdatenorganisation unterschieden. Letztere baut auf der Betriebsmittelorganisation auf und dient der Anbindung angrenzender Systeme, sowie der Steuerung der Auftragsbearbeitung.

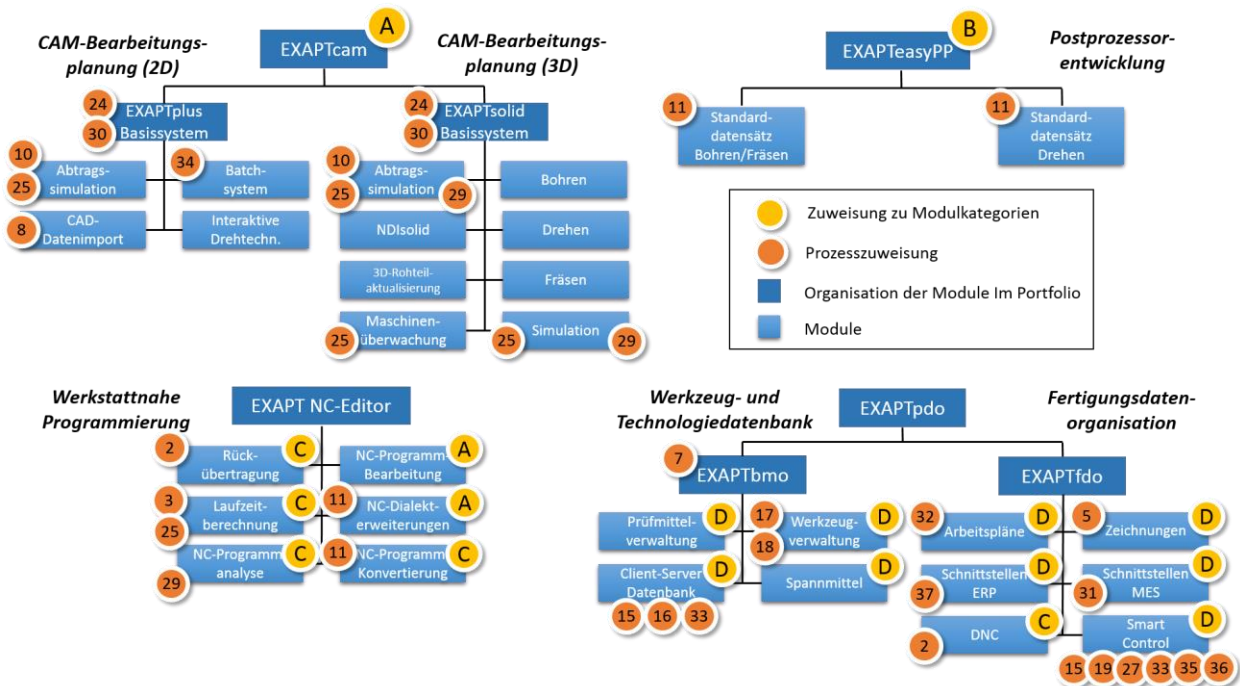


Abbildung 36: Produktportfolio des CAD/CAM-Systemanbieters EXAPT

Nach Analyse des Produktportfolios wurde eine Unterteilung in die in AP 3 definierten Modulkategorien durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass sich die Menge der verfügbaren EXAPT-Module erfolgreich in die vorgesehene Struktur einsortieren lassen. Darüber hinaus wurde eine Zuordnung hinsichtlich der in Arbeitspaket 2 definierten Prozesse vorgenommen. Auf der einen Seite erlaubt diese Verknüpfung KMU in der Praxis eine noch gezieltere Auswahl von einzuführenden Modulen. Auf der anderen Seite können Software-Systemanbieter auf diese Art und Weise industrielle Herausforderungen gezielt in den Fokus rücken, die mit dem aktuellen Produktportfolio vielleicht noch nicht ausreichend berücksichtigt werden. Beide Zuordnungen sind ebenfalls Abbildung 36 zu entnehmen.

**Ergebnis:** Die in Arbeitspaket 3 erstellte allgemeine Modulstruktur wurde erfolgreich auf das EXAPT-Produktportfolio angewendet. Es hat sich gezeigt, dass mit dem entwickelten Konzept alle angebotenen Module ohne zusätzliche Strukturweiterung abgebildet werden können.

**Bemerkung:** Bei den Modulen in Abbildung 36, bei denen keine Zuweisungen zu Prozessen vorgenommen wurden, handelt es sich um Basistechnologien, die als Bestandteil der Ressourcen berücksichtigt werden (vgl. Dimensionen bei der Aufnahme des Ist-Zustandes der Unternehmens-IT).

### **Fallbeispiel eines Lohnfertigers**

Als erstes Fallbeispiel zur Validierung des Leitfadens wurde die 3win Maschinenbau GmbH aus Aachen ausgewählt. Kernkompetenzen des Unternehmens liegen im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Montage von Baugruppen. Typische Losgrößen liegen hier zwischen 10 und 100 Bauteilen. Damit kann das Unternehmen als Kleinserienfertiger eingestuft werden.

In einem ersten Schritt wurde der aktuelle Zustand der unternehmensinternen IT sowie die Organisation und Methodik bei einer Auftragsbearbeitung erfasst. Einige Kernpunkte sind im Folgenden kurz dargelegt.

Der größte Anteil der NC-Programmierung findet werkstatorientiert statt. Das Unternehmen setzt in diesem Zusammenhang zur Vereinheitlichung der Programmierung nur auf Steuerungen eines Herstellers. Dementsprechend sind einmal geschulte Mitarbeiter in der Lage, NC-Programme für den gesamten Maschinenpark, bestehend aus 6 Fräsmaschinen und drei Drehmaschinen, zu erstellen. Diese Konstellation erlaubt, flexibel auf Personal- und Maschinenausfälle zu reagieren sowie Maschinenstillstandszeiten zu vermeiden.

In der Praxis arbeitet ein Mitarbeiter allerdings schwerpunktmäßig an nur einer der Werkzeugmaschinen. Dadurch kann hinsichtlich der Auswahl von Bearbeitungswerkzeugen, Spannlagen und Technologieparametern ein (maschinenspezifisches) Expertenwissen aufgebaut werden, welches sich positiv auf die Werkstückqualität, Rüst- und Programmlaufzeiten auswirkt.

Während Expertenentscheidungen bezogen auf technologische Parameter implizit in den erstellten NC-Programmen dokumentiert werden, unterliegt die zusätzliche Dokumentation der übrigen Maßnahmen dem jeweiligen Mitarbeiter. Aktuell werden diese Dokumentationen jedoch nicht in digitaler Form zusammengetragen. Eine zentrale, langfristige Bereitstellung dieser Informationen verspricht jedoch zusätzlich das Erreichen der Unternehmensziele „Erhalt von hoher Flexibilität, Produktqualität und kurzen Durchlaufzeiten“.

Aufbauend auf diesen Analyseergebnissen wurde in einem nächsten Schritt ein anzustrebendes Referenzmuster (Ziel-Zustand) definiert, welches in Abbildung 37 dargestellt ist.

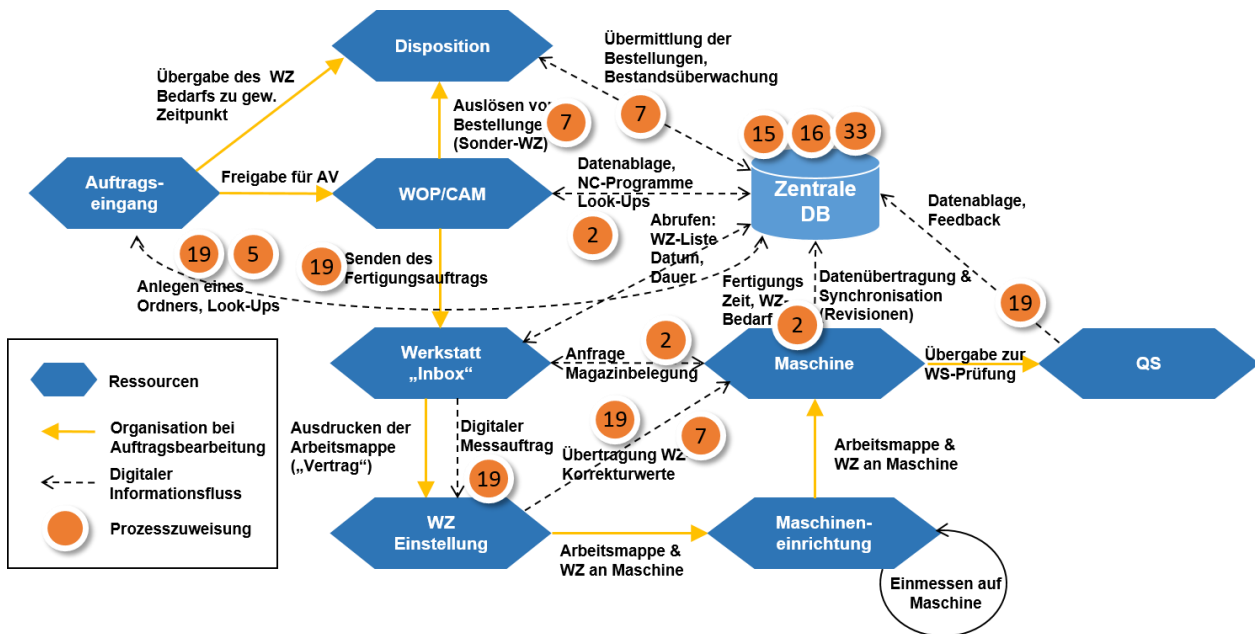


Abbildung 37: Referenzmuster für das Fallbeispiel der 3win Maschinenbau GmbH

Neben den erfassten Ressourcen und Organisationsmethoden bei der Auftragsabwicklung sind insbesondere die digitalen Informationsflüsse zwischen den identifizierten Ressourcen und einer zentralen Datenbank verzeichnet. Diese wurden darüber hinaus mit den entsprechend zu etablierende Prozess versehen. Dadurch konnten in einem nächsten Schritt – nach durchgeführter Modulstrukturierung – die geeignetsten Maßnahmen ausgewählt werden, die eine digitale Dokumentation sowie eine zentrale Datenhaltung erlauben.

Die mit den Maßnahmen verbundenen Module stammen insbesondere aus den Bereichen der digitalen Betriebsmittel- und Fertigungsorganisation (Kategorie MES/PLM). Durch den Einsatz einer zentralen Datenbank in Kombination mit einer kostengünstigen Anbindung aller Stationen über z. B. mobile Endgeräte kann die gewünschte digitale Dokumentation realisiert werden.

Auf eine detaillierte Darlegung der durchgeführten Kosten-Nutzen Analyse wird an dieser Stelle aus Gründen der Geheimhaltung verzichtet.

## Fallbeispiel eines Großserienfertigers

Als zweites Anwendungsbeispiel wurde die Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG ausgewählt. Diese produziert sowohl standardisierte als auch kundenspezifische Verbindungslösungen in der Hochfrequenz- und Faseroptik-Technologie. Von HF-Steckverbindern, -Komponenten und Zubehörteilen bis hin zu konfektionierten Kabeln werden in diesem Zusammenhang eine Reihe von Präzisionsteilen hergestellt, die von namhaften Unternehmen aus vielen Branchen der Industrie eingesetzt werden. Das Unternehmen beschäftigt weltweit ca. 7500 Mitarbeiter, wovon am Stammwerk in Fridolfing aktuell 1800 Mitarbeiter beschäftigt sind. Aufgrund der hohen Anzahl an produzierten Stückzahlen kann das Unternehmen im Bereich der Großserienfertigung verortet werden.

Die Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH und Co. KG ist kein kleines oder mittelständisches Unternehmen. Einzelne Abteilungen des Unternehmens weisen allerdings ähnliche Strukturen und Organisationsformen auf, welche auch bei der Validierung betrachtet wurden.

Im Rahmen der Aufnahme des Ist-Zustands wurde festgestellt, dass in der Auftragsannahme historisch erwachsene Systembrüche vorhanden sind. Bei Auftragseingang sind eine Prüfung der vorhandenen Lagerbestände sowie eine Berechnung der noch benötigten Menge an Betriebsmitteln nur manuell durchzuführen. Dieser Umstand erschwert eine effiziente Bestimmung von statistischen Kenngrößen zur Erstellung und Optimierung von Arbeitsplänen.

Nach Bildung eines Referenzmusters (vgl. Fallbeispiel eines Lohnfertigers) und einer anschließenden Potenzial- und Kosten-Nutzen-Analyse wurden die Einführung von Modulen aus dem Bereich der Betriebsmittel- und Fertigungsorganisation als „Quick Win“ identifiziert. Durch die digitale Anbindung eines Lagersystems können automatisch erstellten Stücklisten und Lagerbestände erstellt und bei bedarfsgerecht bereitgestellt werden. Somit kann vermieden werden, dass Material-, Werkzeug- und Betriebsmittelbestände eine Mindestanzahl unterschreiten. Des Weiteren erlauben effizient erstellbare, statistische Auswertungen eine kurzfristige Umplanung sowie langfristige Planung durch die Abteilungsleitung. Dies wirkt sich positiv auf die Kostenreduktion, Flexibilität, Durchlaufzeiten, Kundenzufriedenheit, und Kapazitätsauslastung aus. Diese strategischen Ziele des Unternehmens werden so deutlich schneller erreicht.

**Ergebnis:** Anhand von zwei Fallbeispielen konnte die Wirksamkeit des erstellten Leitfadens, sowie des Demonstrators validiert werden. In beiden Fällen wurden die Schwachstellen hinsichtlich des aktuellen Digitalisierungsstandes korrekt erfasst und Maßnahmen zur Verbesserung unter Berücksichtigung der Unternehmensziele identifiziert. Dies wurde von den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses bestätigt.



## 7. Arbeitspaket 6 Erstellung Leitfaden und Veröffentlichung der Ergebnisse

Der in Arbeitspaket 2, 3 und 4 entwickelte Leitfaden wurde schriftlich fixiert und den Teilnehmern des projektbegleitenden Ausschusses bereitgestellt. Darüber hinaus wurden die in Kapitel 7.1 durchgeführten Maßnahmen zur Veröffentlichung der im Forschungsvorhaben erarbeiteten Ergebnisse ergriffen.

### 7.1. Veröffentlichungen

Folgende Maßnahmen wurden zur Verbreitung der Projektergebnisse ergriffen.

Durchführung	Maßnahmen	Ziel	Zeitraum
FIR	Veröffentlichung von Artikeln in der Fachzeitschrift „Unternehmen der Zukunft“	Vorstellung des Projektes, Veröffentlichung von Zwischenergebnissen	Ausgaben: UdZ 1-2015, UdZ 1-2016, UdZ 2-2016
FIR, FVP	Vorstellung des Projektes auf der FIR- und der FVP-Homepage	Einführende Informationen über das Projekt; Verbreitung des Projektes in der Industrie	Seit Beginn des Projektes sind die jeweiligen Informationen über das Projekt online verfügbar.
FVP	Vorstellung der Konzepte und Ergebnisse auf Messen (AWK)	Unterbreitung des Projektes in Industriekreisen	Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquiums: 18. Bis 19. Mai 2017
FVP	Vorstellung der Konzepte und Ergebnisse auf Messen (AMB, Metav)	Unterbreitung des Projektes und der fortlaufend erzielten Ergebnisse in Industriekreisen	AMB Stuttgart: 13.-17.09.2016 Metav Düsseldorf: 23.-27.02.2016
FVP	Vorträge auf Fachkonferenzen bzw. Fachsitzungen	Diskussion der bisherigen Ergebnisse und der weiteren Schritte mit Fachleuten	07. bis 08. Juni 2017: 50 Jahre EXAPT
FVP	Vorstellung der Ergebnisse auf der Mitgliederversammlung FVP	Information der Industriemitglieder der FVP	27.-28.4.2016 HV 07.-08.6.2017 HV
FIR, FVP	Treffen mit dem projektbegleitenden Ausschuss	Vorstellung von Ergebnissen,	Regelmäßige Treffen in halbjährlichen Abständen

		durchgeführten Workshops durchgeführt und Validierung von Ideen	
FIR, FVP	Bereitstellung des Schlussberichtes auf der FIR- und der FVP-Homepage	Vorstellung des Projektes und dessen Ergebnisse	Die Abschlussberichte sind nach der Einreichung des Berichtes online auf den Homepages verfügbar.
FIR	Einfluss des Projektes in zwei Bachelorarbeiten	Vertiefung und Verbreitung der Ergebnisse in wissenschaftliche Arbeiten und Transfer der Ergebnisse in die Lehre und in die Vorlesungen	Abgaben der Bachelorarbeiten fanden am 27.06.2016 und 06.01.2016 statt
FIR/FVP	Vorstellung der Projektergebnisse in Vorlesungsveranstaltungen des WZL	Vertiefung und Verbreitung der Ergebnisse in wissenschaftliche Arbeiten und Transfer der Ergebnisse in die Lehre und in die Vorlesungen	Ab Mitte 2016

## 7.2. Aggregation aller Ergebnisse und Veröffentlichung des Abschlussberichtes

Das Projekt wird auf den Webseiten der Forschungsvereinigung für Programmiersprachen e.V. und des FIR e. V. an der RWTH Aachen veröffentlicht und vorgestellt. Die Ergebnisse des Projektes werden in Form des Abschlussberichtes auf beiden Websites verfügbar sein. Darüber hinaus wurden drei Artikel in der FIR-Fachzeitschrift „Unternehmen der Zukunft“ veröffentlicht, die außerdem auch online auf der FIR-Homepage verfügbar sind. Die Artikel sind in der Ausgabe UdZ 1-2015, UdZ 1-2016 und UdZ 2-2016 zu finden.

Das Projekt wurde auf dem Aachener Werkzeugmaschinen-Kolloquium 2017 vorgestellt und somit dem Industriekreis zugänglich gemacht. Außerdem war das Projekt ein Thema in den Fachkonferenzen der 50 Jahrfeier der EXAPT Systemtechnik GmbH. Ergänzend dazu wurden die Ergebnisse auf der Mitgliederversammlung der Forschungsvereinigung für Programmiersprachen e.V. vorgestellt. Im Jahr 2016 wurde das Projekt ergänzend zu den vorherigen Messeauftritten noch auf der Metav in Düsseldorf und der AMB in Stuttgart in Industriekreisen vorgestellt. Die fortlaufend erzielten Ergebnisse wurden innerhalb dieser Kreise unterbreitet.

Im Projektbegleitenden Ausschuss, der halbjährig mit Partnern des Projektes aus Industrie und Forschung abgehalten wurde, wurden entwickelte Ideen, Konzepte und Ergebnisse in Workshops unter industriellen Gesichtspunkten validiert. In diesem Zusammenhang wurde der Leitfaden des Projektes auf seine industrielle Anwendbarkeit hin bewertet.

Im Zusammenhang mit dem Forschungsprojekt wurden zwei Bachelorarbeiten geschrieben. Die Arbeit von Julius Harms „Gestaltung der IT-Infrastruktur zur Informationsrückführung von energierelevanten Daten in der CAD-CAM-NC Kette“ wurde an der RWTH Aachen unter dem betreuenden Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh geschrieben und am 27.06.2016 eingereicht. Die zweite Arbeit „Systematische Identifizierung des nötigen Digitalisierungsgrades der CAD-CAM-NC-Kette von Individualfertigern zur Erreichung ihrer Unternehmensziele“ wurde von Matthias König ebenfalls unter der Betreuung von Professor Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh an der RWTH Aachen geschrieben und am 06.01.2016 abgegeben.

Darüber hinaus fand ein Transfer der entwickelten Konzepte und Zwischenergebnisse in die Lehre der RWTH Aachen (WZL der RWTH Aachen) statt.

## **8. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Die geleistete Arbeit entspricht im Umfang dem begutachteten und bewilligten Antrag und war daher für die Durchführung des Vorhabens notwendig und angemessen. Der Arbeitsplan konnte entsprechend der geplanten Pakete und Tätigkeiten in den dafür vorgesehenen Zeiträumen abgearbeitet werden. Etwaige Änderungen der Inhalte sind durch aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse zum jeweiligen Zeitpunkt begründet. Die Beantwortung der zugrundeliegenden Fragestellung „Wie muss die Unternehmens-IT eines produzierenden KMUs im Maschinen- und Anlagenbau strategisch ausgerichtet werden, um unternehmerische Ziele mithilfe von Industrie-4.0-Konzepten im Bereich der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette zu erreichen?“, konnte über die Entwicklung eines Leitfadens und eines daran angelehnten Demonstrator zur Einführung von Industrie-4.0-Konzepten beantwortet werden.

Der Leitfaden war das Kernelement des Projektes und bildete somit für kleine und mittlere Unternehmen das wichtige Konzept für eine Neuausrichtung verständlich und kompakt ab und war somit notwendig. Die Anwendungsbeispiele dienten der Validierung und Demonstration und waren daher ebenso wesentlich.

## **9. Verwendung der Zuwendungen**

Auf Seiten der FVP wurden über die vollständige Projektlaufzeit vom 01.04.2015 bis zum 31.03.2017 insgesamt 12 Personenmonate durch einen wissenschaftliche Mitarbeiter (HPA A) geleistet. Darüber hinaus wurden 12 Personenmonate von einem technischen Mitarbeiter (HPA B) verrichtet. Auf Seiten des FIRs wurden insgesamt 22,35 Personenmonate durch einen wissenschaftliche Mitarbeiter (HPA A) erbracht. Mit diesem Personaleinsatz konnten alle beantragten Arbeitspunkte abgearbeitet werden. Der personelle und finanzielle Aufwand war zur Erreichung der Projektziele notwendig und angemessen und liegt vollständig im begutachteten und bewilligten Umfang.

## **10. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungsergebnisse für KMU**

Im Rahmen der Projektergebnisse wurde eine KMU-gerechte Vorgehensweise zur Umsetzung von Industrie-4.0-Konzepten im Bereich der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette entwickelt. Diese erlaubt eine Überarbeitung der Softwarelandschaft in der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette, durch welche die Potenziale der „Industrie 4.0“-Idee ausgeschöpft werden können.

Der im Forschungsvorhaben entwickelte Leitfaden ermöglicht es kleinen und mittleren Unternehmen, eigenständig eine Schwachstellenanalyse der hausinternen Abläufe unter Gesichtspunkten der Digitalisierung durchzuführen. In diesem Zusammenhang kann nachfolgend eine Kategorisierung und Bewertung der am Markt verfügbaren Produkte und Lösungskonzepte hinsichtlich der identifizierten Schwachstellen durchgeführt werden. Eine darauf aufbauende Potenzialanalyse erlaubt dann letztendlich die Auswahl der geeignetsten Maßnahmen unter Berücksichtigung der eigenen Unternehmensziele und -strategien. Bei Ausschöpfung der damit ersichtlich werdenden Potenziale können KMU somit beispielsweise die Wirtschaftlichkeit, Produktqualität, Termintreue oder die Flexibilität bei der Bearbeitung von Fertigungsaufträgen in den Fokus setzen.

Die Einführung von Digitalisierungskonzepten ist dabei nicht notwendigerweise mit hohen finanziellen Aufwendungen verbunden. Ausgewählte Zielbilder, die den erstrebenswerten finalen Digitalisierungsgrad darstellen und sich aus der Erfassung des aktuellen Ist-Stands (Schwachstellenanalyse) sowie den Unternehmenszielen und -strategien ergeben, können durch den Leitfaden iterativ – bei gleichzeitiger, kontinuierlicher Nutzensteigerung – umgesetzt werden. So kann das bei KMU unter Umständen eingeschränkte Kostenbudget gezielt eingesetzt und der Leitgedanken der Industrie-4.0 bei minimiertem, finanziellem Risiko umgesetzt werden.

KMU werden somit in die Lage versetzt, auch mit einem geringen Budget gezielt auf sich wandelnde industrielle Herausforderungen und Anforderungen reagieren zu können. Dadurch ist die Erreichung von kurz-, mittel- und langfristigen unternehmerischen Ziele auch unter diesen Einschränkungen durchführbar. Die damit verbundenen Möglichkeiten tragen dazu bei, dass die Zukunftsfähigkeit kleiner und mittelständischer Unternehmen langfristig gesichert werden kann.

## Literaturverzeichnis

- A. Shavrov: The Capability Maturity Model- Das Modell der Reifegrade. Hg. v. FH Köln Fachgebiet Informatik. Online verfügbar unter [http://www.nt.fh-koeln.de/fachgebiete/inf/nissen/sif/CMM\\_Chavrov.pdf](http://www.nt.fh-koeln.de/fachgebiete/inf/nissen/sif/CMM_Chavrov.pdf), zuletzt geprüft am 15.03.2016.
- Adolphs, Peter et. al (2015): Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Hg. v. VDI/VDE-Gesellschaft und ZVEI - Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. Online verfügbar unter [https://www.vdi.de/fileadmin/user\\_upload/VDI-GMA\\_Statusreport\\_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf](https://www.vdi.de/fileadmin/user_upload/VDI-GMA_Statusreport_Referenzarchitekturmodell-Industrie40.pdf), zuletzt aktualisiert am 09.06.2017.
- Akkasoglu, Gökhan (2013): Methodik zur Konzeption und Applikation anwendungsspezifischer Reifegradmodelle unter Berücksichtigung der Informationsunsicherheit. 1. Aufl. Herzogenrath: Shaker (Berichte aus dem Lehrstuhl Qualitätsmanagement und Fertigungsmesstechnik, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 31).
- Albers, F. G. (2005): Beschreibungsmodell zur IT-gestützten betrieblichen Informationsverarbeitung. Online verfügbar unter [https://wirtschaft.fh-duesseldorf.de/fileadmin/personen/professoren/albers/forschung/WI\\_framework.pdf](https://wirtschaft.fh-duesseldorf.de/fileadmin/personen/professoren/albers/forschung/WI_framework.pdf), zuletzt geprüft am 20.03.2017.
- Arbeiten in der Industrie 4.0 (2013). In: *metallzeitung* 65 (5), S. 7–9.
- ARIS 9.8 SR6 Business Process Modeling & Analysis | Software AG. Online verfügbar unter [http://www.softwareag.com/de/products/new\\_releases/aris9/overview/default.asp](http://www.softwareag.com/de/products/new_releases/aris9/overview/default.asp), zuletzt geprüft am 05.04.2017.
- Arnold, Volker; Dettmering, Hendrik; Engel, Torsten; Karcher, Andres (2011): Product Lifecycle Management beherrschen. Ein Anwenderhandbuch für den Mittelstand. 2., neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (SpringerLink : Bücher).
- ISO-Norm 6983-1, 12.2009: Automation systems and integration -- Numerical control of machines - - Program format and definitions of address words -- Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/34608.html>, zuletzt geprüft am 10.04.2017.
- Bauernhansl, Thomas (2014): Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung,

Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer Vieweg, S. 5–35.

Becker, Sylke (2015): Durchgängige Prozessketten in der Fertigung – Vision und Wirklichkeit. METAV 2016 in Düsseldorf zeigt individuelle Lösungen. Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW). Frankfurt.

BEECKMAN, DIRK (1989): CIM-OSA. Computer integrated manufacturing—open system architecture. In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 2 (2), S. 94–105.

Bergholz, Eric (2010): Übersicht von CAD Datenformaten. Online verfügbar unter <http://www.laserscanning-europe.com/de/news/uebersicht-von-cad-datenformaten>, zuletzt aktualisiert am 19.08.2010, zuletzt geprüft am 27.04.2016.

BITKOM (Hg.) (2011): Enterprise Architecture Management. neue Disziplin für die ganzheitliche Unternehmensentwicklung. Online verfügbar unter <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2011/Leitfaden/Leitfaden-EAM-Enterprise-Architecture-Management/EAM-Enterprise-Architecture-Management-BITKOM-Leitfaden.pdf>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.

BITKOM; VDMA; ZVEI: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Online verfügbar unter [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Themen/Industrie\\_4.0/Das\\_Referenzarchitekturmodell\\_RAMI\\_4.0\\_und\\_die\\_Industrie\\_4.0-Komponente/pdf/150410\\_Umsetzungsstrategie\\_Plattform\\_Industrie\\_4.0.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/150410_Umsetzungsstrategie_Plattform_Industrie_4.0.pdf), zuletzt geprüft am 06.04.2017.

Bleider, Martin (21.04.2016a): Beschreibung des Zusammenhangs von Unternehmenszielen und IT-Untersützungsprozessen. Interview mit Matthias Thamer, Ernst Köster, Hermann-Josef Zillingen und Klaus Seyfarth.

Bleider, Martin (21.04.2016b): Zusammenhang zwischen Unternehmenszielen und Prozessen zur Industrie 4.0 fähigen CAD-CAM-NC-Kette. Interview mit Servos Michael.

Bleider, Martin; Blum, Matthias; Schröter, Moritz; Stich, Volker; Bertenrath, Roman; Lichtblau, KarlM et al. (2015): Industrie 4.0 Readiness IMPULS Studie Oktober 2015. Online verfügbar unter <http://www.impulsstiftung.de/documents/3581372/4875835/Industrie+4.0+Readiness+IMPULS+Studie+Oktober+2015.pdf/447a6187-9759-4f25-b186-b0f5eac69974>, zuletzt geprüft am 23.06.2017.

- Born; Klaus Dieter (2014): Praxisbericht vernetzter Werkzeugbau. Prozessexzellenz durch intelligente Verknüpfung der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette mit einer durchgängigen Produktionsplanung und Logistik. Trends und Potenziale der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette. ID GmbH. RWTH Aachen, 25.11.2014.
- Brecher, Christian; Richter, Arndt; Herfs, Werner; Servos, Michael; Königs, Michael; Boonen, Michael (2015): CAMCloud. Treffen des projektbegleitenden Ausschusses. Fraunhofer Institute for Production Technology (IPT); Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen, 01.12.2015.
- Brenner, M.; Sailer, M.; Garschhammer, M. (2005): Modellierungsansätze für IT-Infrastrukturen – Klassifizierung und Tauglichkeitsbewertung aus Sicht des IT-Managements. Leipzig.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik: Goldene Regeln BSI. IT-Grundschutz stellt für alle Aspekte eines Informationssicherheitsmanagementsystems. Hg. v. Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik. Bonn. Online verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Download/GoldeneRegeln.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Download/GoldeneRegeln.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 26.06.2017.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (2012): Leitfaden Informationssicherheit. IT-Grundschutz kompakt. Online verfügbar unter [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Leitfaden/GS-Leitfaden\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschutz/Leitfaden/GS-Leitfaden_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=3), zuletzt geprüft am 26.06.2017.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hg.) (2014): Industrie 4.0. Innovationen für die Produktion von morgen.
- Chrissis, Mary Beth; Konrad, Mike; Shrum, Sandy (2011): CMMI for development. Guidelines for process integration and product improvement. - "CMMI-DEV, version 1.3"--Cover p. [1]. 3rd ed. Upper Saddle River, NJ: Addison-Wesley (SEI series in software engineering).
- Christian Brecher; Wolfram Lohse; Michael Königs: Vernetzung von Arbeitsvorbereitung und Fertigung. Ein Cloud-basierter Ansatz zur Erhöhung der Planungsqualität. In: *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 110 (1-2/2015). Online verfügbar unter [https://www.wiso-net.de/document/ZWF\\_\\_41F7E44B102A12EA9B83516A034FAA44](https://www.wiso-net.de/document/ZWF__41F7E44B102A12EA9B83516A034FAA44), zuletzt geprüft am 26.06.2017.
- CMMI Product Team (2002): CMMI - SE/SW/IPPD/SS - V1.1 - Continuous Representation.

- Coscom: CAD/CAM-Software - ProfiCAM VM. NC-Programmierung für Profis: Fräsen – Drehen – Drehfräsen. Online verfügbar unter <http://www.coscom.de/produkte/cad-cam-software.html>, zuletzt geprüft am 05.05.2017.
- D.L. Brunner (2012): Prozess-Reifegrad – Maturity Level im Vergleich. Online verfügbar unter <https://blogq4.wordpress.com/2012/05/07/prozess-reifegrad-maturity-level-im-vergleich/>, zuletzt geprüft am 15.03.2016.
- David; Christopher: DigiKMU-Prozessdiagramm.
- Dieter\_Masak\_Moderne\_Enterprise\_Architekturen\_\_2005.
- Dillerup, Ralf; Stoi, Roman (2013): Unternehmensführung. 4., komplett überarb. und erw. Aufl. München: Vahlen.
- E. Niemi; S. Pekkola (Hg.) (2009): Adapting the DeLone and McLean Model for the Enterprise Architecture Benefit Realization Process. 2009 42nd Hawaii International Conference on System Sciences. 2009 42nd Hawaii International Conference on System Sciences.
- Eigner, Martin (2012): CAD/CAM-Kopplung: NC-Programmierung einer Wasserstrahlschneidanlage. Lehrstuhl für virtuelle Produktentwicklung - TU Kaiserslautern. Kaiserslautern.
- Engroff, Bernd (2005): Praktischer Einsatz von Kennzahlen und Kennzahlensystemen in der Produktion. Hg. v. AWF-Selbstverlag. AWF – Arbeitsgemeinschaften für Vitale Unternehmensentwicklung e.V. Eschborn. Online verfügbar unter <http://www.awf.de/wp-content/uploads/2014/12/AWF-Leitfaden-Kennzahlen-in-der-Produktion.pdf>, zuletzt geprüft am 09.06.2017.
- Eversheim, Walter (1990): Organisation in der Produktionstechnik. Band 2 Konstruktion. Zweite, neubearbeitete und erweiterte Auflage: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Studium und Praxis).
- Fabian Keller (2015): Referenzmodelle für das Informationsmanagement in der Smart Factory. Seminararbeit. Universität Stuttgart, Stuttgart. IPVS. Online verfügbar unter <http://www.fabian-keller.de/content/5-research/4-reference-models-information-management-smart-factory/smartfactory.pdf>, zuletzt geprüft am 26.06.2017.
- Fettke, Peter; Loos, Peter: Referenzmodellierungsforschung. Langfassung eines Aufsatzes. Online verfügbar unter <http://www.uni->



saarland.de/fileadmin/user\_upload/Professoren/fr13\_ProfLoos/isym\_paper\_016.pdf,  
zuletzt geprüft am 07.04.2017.

FIR e. V. an der RWTH Aachen: Zusammenfassung Referenzmodelle.

Forschungsvereinigung Programmiersprachen (FVP); Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen (2008): Frühzeitige Prozessabsicherung in der CAD/CAM-Planung unter Einbindung einer realitätsnahen Fertigungssimulation.

Fortschritt - Duden 2013.

Friedrichsen, Uwe; Schrewe, Ingo (2010): Leichtgewichtige Unternehmensarchitekturen- Wie Agilität bei der Einführung eines EAM helfen kann. In: *OBJEKTSpektrum*. Online verfügbar unter [https://www.sigs-datacom.de/uploads/tx\\_dmjournals/friedrichsen\\_schrewe\\_OS\\_EAM\\_10.pdf](https://www.sigs-datacom.de/uploads/tx_dmjournals/friedrichsen_schrewe_OS_EAM_10.pdf), zuletzt geprüft am 17.03.2017.

Ganschar, Oliver (2013): Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0. [Studie]. Hg. v. Dieter Spath. Stuttgart: Fraunhofer Verl.

guidoreimann: 2013-10 Management Summary IT-Benchmark.

Hahn, Dietger (1996): PuK. Controllingkonzepte. Planung und Kontrolle, Planungs- und Kontrollsysteme, Planungs- und Kontrollrechnung ; Controllingkonzepte ; Unternehmensbeispiele von Henkel KGaA, Düsseldorf, Siemens AG, München, Franz Haniel & Cie. GmbH, Duisburg, Daimler-Benz AG, Stuttgart, Preussag AG, Hannover. 5., überarb. und erw. Aufl. Wiesbaden: Gabler. Online verfügbar unter <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-663-12334-7>, zuletzt geprüft am 23.06.2017.

Hankel, Martin; Rexroth, Bosch (2015): Industrie 4.0: Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Hannover. Online verfügbar unter [https://www.zvei.org/fileadmin/user\\_upload/Themen/Industrie\\_4.0/Das\\_Referenzarchitekturmodell\\_RAMI\\_4.0\\_und\\_die\\_Industrie\\_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4\\_0-RAMI-4\\_0.pdf](https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Themen/Industrie_4.0/Das_Referenzarchitekturmodell_RAMI_4.0_und_die_Industrie_4.0-Komponente/pdf/ZVEI-Faktenblatt-Industrie4_0-RAMI-4_0.pdf), zuletzt geprüft am 06.04.2017.

Hehenberger, Peter (2011): Computerunterstützte Fertigung. Eine kompakte Einführung. 1. Aufl. Berlin Heidelberg: Springer Verlag.

- Heinrich, Lutz Jürgen; Stelzer, Dirk (2011): Informationsmanagement. Grundlagen, Aufgaben, Methoden. 10., vollständig überarbeitete. München: Oldenbourg, R (Lehrbuchreihe Wirtschaftsinformatik).
- Hogrebe, Frank; Nüttgens, Markus (2014): Business Process Maturity Model (BPMM): Konzeption, Anwendung und Nutzenpotenziale. In: *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 46 (2), S. 17–25. DOI: 10.1007/BF03340339.
- IEEE's Recommended Practice for Architectural Description of Software-Intensive Systems becomes an American National Standard (2001). Online verfügbar unter <http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/ansi-approves-ieee-1471.html>, zuletzt geprüft am 20.03.2017.
- ISO-Norm 4343:2000, 10.2000: Industrial automation systems -- Numerical control of machines -- NC processor output -- Post processor commands. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/33799.html>, zuletzt geprüft am 10.04.2017.
- JORYSZ, H. R.; VERNADAT, F. B. (1990): CIM-OSA Part 1. Total enterprise modelling and function view. In: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 3 (3-4), S. 144–156. DOI: 10.1080/09511929008944444.
- Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (2013): Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Unter Mitarbeit von Ariane Hellinger, Veronika Stumpf und Christian Kobsda. Hg. v. Henning Kagermann, Wolfgang Wahlster, Johannes Helbig und acatech. acatech; Forschungsunion.
- Kemper, Hans-Georg; Pedell, Burkhard; Schäfer, Henry (Hg.) (2011): Management vernetzter Produktionssysteme. Innovation, Nachhaltigkeit und Risikomanagement. München: Vahlen. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.15358/9783800642250>.
- Kief, Hans B.; Roschiwal, Helmut A. (Hg.) (2013): CNC-Handbuch 2013/14. München: Hanser.
- Kleinmeier, Michael (2014): Von der Automatisierungspyramide zu Unternehmenssteuerungsnetzwerken. In: Thomas Bauernhansl, Michael ten Hompel und Birgit Vogel-Heuser (Hg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden; Springer Vieweg, S. 571–579.
- Kneuper, Ralf (2003): CMMI. Verbesserung von Softwareprozessen mit Capability Maturity Model Integration. 1. Aufl. Heidelberg: Dpunkt-Verlag.

- Knuppertz, Thilo (2009): BPM Maturity Model EDEN e.V.
- Krallmann, Hermann; Bobrik, Annette; Levina, Olga (2013): Systemanalyse im Unternehmen. Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik. 6., überarb. und erw. Aufl. München: Oldenbourg.
- Kramer, Oliver (2002): Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe. Dissertation. Technische Universität München, München. Fakultät für Maschinenwesen. Online verfügbar unter [https://www.iwb.mw.tum.de/fileadmin/w00bwm/www/Institut/Dissertationen/173\\_Kramer\\_a5.pdf](https://www.iwb.mw.tum.de/fileadmin/w00bwm/www/Institut/Dissertationen/173_Kramer_a5.pdf), zuletzt geprüft am 08.06.2017.
- Kropp, S.; Deindl, M.; Jordan, F. (2014): Informationsmanagement für Industrie 4.0. In: *UdZ - Unternehmen der Zukunft* (2), S. 10–13.
- Lange, Matthias; Mendling, Jan; Recker, Jan: A Comprehensive EA Benefit Realization Model--An Exploratory Study. In: 2012 45th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). Maui, HI, USA, S. 4230–4239.
- Marrone, Mauricio; Kolbe, Lutz M. (2011): Einfluss von IT-Service-Management-Frameworks auf die IT-Organisation. In: *Wirtschaftsinf* 53 (1), S. 5–19.
- Matthes, Dirk (2011): Enterprise Architecture Frameworks Kompendium. Über 50 Rahmenwerke für das IT-Management. Berlin: Springer-Verl. (Xpert.press). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12955-1>.
- Mendling, Jan; Weidlich, Matthias (Hg.) (2012): Business Process Model and Notation. 4th International Workshop, BPMN 2012, Vienna, Austria, September 12-13, 2012. Proceedings. Berlin, Heidelberg: Springer (Lecture Notes in Business Information Processing, 125). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-33155-8>.
- Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hg.) (2000): Prozessorientierte Integrierte Managementsysteme. Online verfügbar unter [http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14117/prozessorientierte\\_integrierte\\_managementsysteme.pdf?command=downloadContent&filename=prozessorientierte\\_integrierte\\_managementsysteme.pdf](http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/14117/prozessorientierte_integrierte_managementsysteme.pdf?command=downloadContent&filename=prozessorientierte_integrierte_managementsysteme.pdf), zuletzt geprüft am 18.05.2017.
- Mueller, Markus (2007): Automotive SPICE in der Praxis. Interpretationshilfe für Anwender und Assessoren. 1. Aufl. Heidelberg: Dpunkt-Verl.

- Muhlis Kenter, I. (o.J.a): Laborskript. Grundlagen der CAD / CAM-Technologie. Hochschule Bremen - University of Applied Sciences.
- Muhlis Kenter, I. (o.J.b): Laborskript. Grundlagen der CAD / CAM-Technologie. Hochschule Bremen - University of Applied Sciences.
- N.N. (2014): Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF).
- Nestler, Andreas (2000): Integration von CAM-Funktionalitäten in durchgängigen CAD/CAM-Systemen. Institut für Produktionstechnik, Professur Produktionsautomatisierung/Steuerungstechnik.
- Neumann, Markus; Sprenger, Jon (2010): Praxisrelevanz des Modells von DeLone und McLean zur Erfolgsmessung von Informationssystemen. Online verfügbar unter [https://www.wi-inf.uni-duisburg-essen.de/WWI2010/download/INFORMATIK-2010\\_IS-Erfolg\\_final.pdf](https://www.wi-inf.uni-duisburg-essen.de/WWI2010/download/INFORMATIK-2010_IS-Erfolg_final.pdf), zuletzt geprüft am 20.03.2017.
- Nilles, M.; Senger, E. (2012): Nachhaltiges IT-Management im Konzern – von den Unternehmenszielen zur Leistungserbringung in der IT. In: J. Hofmann und M. Knoll (Hg.): Strategisches IT-Management: HMD - Praxis der Wirtschaftsinformatik (284), S. 86–97.
- Obermann, Karl; Michel, Stefanie (2011): Die Vorteile einer integrierten 3D-CAD/CAM/CAE-Prozesskette nutzen. Vogel Business Media GmbH & Co. KG. Online verfügbar unter <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/die-vorteile-einer-integrierten-3d-cad-cam-cae-prozesskette-nutzen-a-338712/>, zuletzt geprüft am 28.04.2017.
- Object Management Group (2016): Object Management Group Business Process Model and Notation. Online verfügbar unter <http://www.bpmn.org/>, zuletzt aktualisiert am 15.04.2016, zuletzt geprüft am 04.04.2017.
- Olbrich, Alfred (2008): ITIL kompakt und verständlich. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Open System Architecture for CIM (1989). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Patig S. (2012): IT-Infrastruktur. Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik. Online verfügbar unter <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de>, zuletzt geprüft am 06.07.2017.
- Pulkkinen, Mijra; Hirvonen, Ari (2005): EA Planning, Development and Management Process for Agile Enterprise Development. In: Ralph H. Sprague (Hg.): Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference on System Sciences. 3 - 6 January 2005, Big

Island, Hawaii, [Hilton Waikoloa] ; abstracts and CD-ROM of full papers. Los Alamitos, Calif.: IEEE Computer Society, S. 1–10.

- Querenet, B. (1991): The CIM-OSA integrating infrastructure. In: *Comput. Control Eng. J.* 2 (3), S. 118. DOI: 10.1049/cce:19910029.
- Ralf Steck (2016): IoT als Dienstleistung. Siemens stellt MindSphere vor. Hg. v. EngineeringSpot (Blog). Online verfügbar unter <http://www.engineeringspot.de/2016/03/iot-als-dienstleistung-siemens-stellt-mindsphere-vor/>.
- Richard L. Nolan (1973): Managing the computer resource: a stage hypothesis. In: *Commun. ACM* 16 (7), S. 399–405. DOI: 10.1145/362280.362284.
- Ross, Jeanne W.; Weill, Peter; Robertson, David C. (2013): Enterprise architecture as strategy. Creating a foundation for business execution. [Nachdr.]. Boston, Mass.: Harvard Business School Press.
- Rudolf, Stefan; Schrey, Elisabeth (2015): Product Lifecycle Management. Herausforderungen einer ganzheitlichen IT-Unterstützung der Geschäftsprozesse. In: *Complexity Management Journal* (Ausgabe 2), S. 8–12.
- Russell, P. J. (1991): Modelling with CIM-OSA. In: *Comput. Control Eng. J.* 2 (3), S. 109. DOI: 10.1049/cce:19910028.
- Scheer, August-Wilhelm (1999): „ARIS — House of Business Engineering“: Konzept zur Beschreibung und Ausführung von Referenzmodellen. In: Jörg Becker, Michael Rosemann und Reinhard Schütte (Hg.): Referenzmodellierung. Heidelberg: Physica-Verlag HD, S. 2–21.
- Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon (2014a): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
- Schenk, Michael; Wirth, Siegfried; Müller, Egon (2014b): Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer Vieweg.
- Schuh, Günther; Kampker, Achim (2011): Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).

- Schuh, Günther; Schmidt, Carsten (2014): Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-54288-6>.
- Seidlmeier, Heinrich (2015): Prozessmodellierung mit ARIS®. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Sendler, Ulrich (Hg.) (2013): Industrie 4.0. Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM. Unter Mitarbeit von G. Baum, H. Borcharding, Manfred Broy, M. Eigner, A. S. Huber, H. K. Kohler et al. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg (SpringerLink : Bücher).
- Sommerhoff (2013): EFQM-Excellence-Modell-2013.
- Stark, John (2015): Product Lifecycle Management. Volume 1: 21st Century Paradigm for Product Realisation. Third Edition. Genf: Springer International (Decision Engineering).
- ISO/IEC/IEEE 42010:2011, 12.2011: Systems and software engineering -- Architecture description. Online verfügbar unter <https://www.iso.org/standard/50508.html>, zuletzt geprüft am 10.03.2017.
- T. Allweyer (2007): Das Business Process Maturity Model (BPMM) der OMG. Online verfügbar unter <http://www.kurze-prozesse.de/2007/11/08/das-business-process-maturity-model-bpmm-der-omg/>, zuletzt geprüft am 15.03.2016.
- The IT Governance Institute (2007): COBIT 4.1: ISACA.
- Thomas, Andreas (2005): Standardisierung im Sondermaschinenbau. In: Siemens AG (Hg.): advance. Im Fokus: Sensoren in der Produktion, S. 26.
- TOGAF® Version 9.1 - G116. Online verfügbar unter <https://www2.opengroup.org/ogsys/jsp/publications/PublicationDetails.jsp?publicationid=12444>, zuletzt geprüft am 20.03.2017.
- Unitechnik Cieplik & Poppek AG (2008): Kontrollierte Datenübergabe vom technischen Büro in die Produktion. In: *BFT* (10), S. 56–57.
- Upadhyay, Dhavalkumar B.; Rana, Aniruddhsinh H. (2014): STEP-NC Standard for Integration of CAD and CAM. In: *International Journal of Engineering Development and Research (IJEDR)* Vol.1, September 2014 (2), S. 106–112.
- Useem, Michael; Kochan, Thomas A. (Hg.) (1992): Transforming organizations. New York: Oxford University Press. Online verfügbar unter

<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=169794>.

Vajna, Sandor; Weber, Christian; Schlingensiepen, Jürgen; Schlottmann, Dietrich (1994):  
CAD/CAM für Ingenieure. Hardware, Software, Strategien. Wiesbaden:  
Vieweg+Teubner Verlag (Studium Technik).

Vajna, Sándor; Weber, Christian; Bley, Helmut; Zeman, Klaus (2009): CAx für Ingenieure. Eine  
praxisbezogene Einführung. 2., völlig neu bearb. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer.

Wolf, Ralf (1994): Informationsrückführung zur Optimierung der Produktentwicklung. München,  
Wien: Carl Hanser Verlag.

WZL RWTH Aachen (2011): Forschungsvorhaben Forschungsvorhaben - openCBM als flexibel  
konfigurierbare Systemplattform für eine integrierte CAD-CAM-NC-Prozesskette. WZL  
RWTH Aachen. Aachen.

Xu, Xun (2009): Integrating advanced computer-aided design, manufacturing, and numerical  
control. Principles and implementations. Hershey, PA: Information Science Reference.

Xueying Wang; Xiongwei Zhou; Longbin Jiang (Hg.) (2008): A method of business and IT  
alignment based on Enterprise Architecture. 2008 IEEE International Conference on  
Service Operations and Logistics, and Informatics. 2008 IEEE International Conference  
on Service Operations and Logistics, and Informatics (1).

Zachman, J. A. (1987): A framework for information systems architecture. In: *IBM Syst. J.* 26 (3),  
S. 276–292. DOI: 10.1147/sj.263.0276.

Zafirov, Radoslav (Hg.) (2014): Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung. Berlin, Heidelberg:  
Springer Berlin Heidelberg.

Zeller, Vilolet; Hoffmann, Joerg; Michael, Servos: Forschungsantrag DigiKMU.

Zeyn, Helmut (2014): Trends in der Teilefertigung. Optimierung im CAM-Prozess. Trends und  
Potenziale der CAD-CAM-NC-Verfahrenskette. Siemens Industry Software GmbH & Co.  
KG. RWTH Aachen, 26.11.2014.