



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung für den erfolgreichen Einsatz einer Software zur Informationserstellung für die Montage

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

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

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

Dipl. -Ing. Gerhard Reisinger

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

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Pit David, BSc

Esch/Alzette, im Juli 2022

Pit David



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

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

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

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

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

Esch/Alzette, im Juli 2022

Pit David

Danksagung

In den folgenden Zeilen will ich mich bei all jenen Personen bedanken, die mich während des Studiums sowie bei der Anfertigung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

An erster Stelle bedanke ich mich bei meinem Betreuer Univ. Ass. Dipl.-Ing. Gerhard Reisinger für die kompetente Betreuung, stete Hilfsbereitschaft und Geduld.

Ein besonderer Dank geht an die Abteilung *Brake Control* der Knorr-Bremse GmbH am Standort Mödling. Insbesondere bedanke ich mich beim Segmentleiter der Abteilung, Dr. Christian Morawetz, welcher die Durchführung dieser Diplomarbeit ermöglicht hat und mir bei offenen Fragen stets weiterhelfen konnte. Des Weiteren bedanke ich mich bei allen Interviewpartnern und Workshopteilnehmern dafür, dass sie mich bei meiner Forschungsarbeit unterstützt haben.

Ebenso bedanke ich mich bei meinen Eltern Patrick und Gabrielle und meiner Lebenspartnerin Lara dafür, dass sie mir während meines Studiums und des Schreibens dieser Diplomarbeit stets den Rücken freigehalten haben und es mir so ermöglicht haben möglichst stressfrei arbeiten zu können.

Kurzfassung

Getrieben durch die Digitalisierung und Individualisierung von Produkten gibt es ein stetes Wachstum der Komplexität und Variantenvielfalt in der Montage. Als Infolgedessen kann es zu einer erhöhten Fehlerrate und längeren Ausführungszeiten bei der Montage kommen. Um den steigenden Anforderungen an den Montagemitarbeiter entgegenzuwirken, werden Assistenzsysteme, wie etwa Werkerführungssysteme, eingesetzt, welche den Menschen kognitiv und physisch unterstützen sollen. Wegen der hohen Variantenvielfalt in der modernen Industrie erweist sich die Informationserstellung für solche Systeme jedoch als sehr aufwendig und ist oft nur schwer realisierbar. Zur Lösung dieses Problems wurde von Fraunhofer Austria ein Softwareprototyp entworfen, welcher eine automatisierte Informationserstellung für die Montage auf Basis von CAD-Daten erlauben soll.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wird ein Vorgehensmodell entwickelt, mithilfe welchem die Anforderungen für den Einsatz eines solchen Softwaresystems in der Industrie ermittelt werden können. Ziel hiervon ist es, den Softwareprototypen in eine praxistaugliche Anwendung weiterentwickeln zu können. Das Modell wird anschließend bei einem Partnerunternehmen angewendet. Verschiedene Methoden werden zur Realisierung der Vorgehensweise eingesetzt. Mithilfe des Use Case Instruments werden die Anforderungen der Stakeholder aufgenommen. Die Ist-Prozesse des Unternehmens zur Erstellung von Montageanweisungen werden mit BPMN dokumentiert und mit der SWOT-Methode analysiert. Der Softwareprototyp wird mit einem Produkt des Unternehmens getestet. Anschließend werden die Ergebnisse der SWOT-Analysen mit den Testergebnissen verglichen. Zusätzlich werden die Systeme und Datenflüsse des Kooperationsunternehmens untersucht und mit einem Datenflussdiagramm dargestellt. Alle so gesammelten Anforderungen werden anschließend mit einer Kano-Umfrage klassifiziert und priorisiert.

Als erstes Ergebnis dieser Diplomarbeit kann somit das entwickelte Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung für ein Softwaresystem zur Informationserstellung für die Montage genannt werden. Ein zweites Ergebnis ist eine, durch die praktische Anwendung dieser Vorgehensweise bei einem Kooperationsunternehmen gewonnene, Liste an klassifizierten und priorisierten Anforderungen. Als Fundament für die weitere Kooperation zwischen Fraunhofer Austria und dem Partnerunternehmen, wurde anhand der Anforderungsliste ein Lastenheft erstellt. Dieses Lastenheft kann als Grundlage für die weitere Weiterentwicklung des Softwareprototypen dienen.

Abstract

Due to the digitisation and individualisation of products, an increase in the complexity of assembly systems can be observed. Consequentially, organisations have started to use assistance systems, such as worker guidance systems, to reduce the cognitive and physical load of workers. However, due to the increasing number of product variants, the information supply for these systems has proven to be hard to realise. To solve this problem, Fraunhofer Austria has developed a software prototype, which allows an automated information supply of worker guidance systems.

This thesis presents a process model, which allows the collection of requirements for such a system to be used industrially. The objective of this approach is to be able to develop the software prototype into a practicable solution. An application of the model was realised in cooperation with a partner company. A combination of different methods is used as part of this approach. With the help of the Use Case method a set of stakeholder requirements is obtained. The company's As-is processes are documented with BPMN and a SWOT-Analysis of them is conducted. The software prototype was tested with a product of the partner company. Next, the results of the SWOT-Analysis were compared with the test results. Additionally, the company's current software systems and data flows were examined and depicted with a data flow diagram. The elicited requirements were then collected and prioritised with the help of a Kano survey.

The result of this approach is a list of collected and prioritised requirements. As a starting point for future cooperation between Fraunhofer Austria and the partner company, a requirements specification document was created. This specification shall be used to further develop the software prototype.

Anmerkung zum Sprachgebrauch

In dieser Diplomarbeit erfolgen die allgemeinen Bezeichnungen von Personen aus Gründen der Lesbarkeit und Übersichtlichkeit in konventioneller Sprachform. Mit allen verwendeten Personenbezeichnungen sind stets alle Geschlechter gemeint, außer es wird ausdrücklich auf ein spezifisches Geschlecht hingewiesen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Ausgangssituation.....	1
1.2	Forschungsfragen und Zieldefinition.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	4
2	Theoretische Grundlagen.....	6
2.1	Digitale Assistenzsysteme in der Industrie	6
2.1.1	Industrie 4.0 und CPPS	6
2.1.2	Assistenzsysteme in Montage und Produktion.....	7
2.1.3	Informationserstellung für Werkerführungssysteme	19
2.2	Requirements Engineering	24
2.2.1	Vorgehensweisen des Requirements Engineering	25
2.2.2	Charakteristiken von Anforderungen.....	29
3	Ausgewählte Methoden des Requirements Engineering.....	32
3.1	Use Scenario	32
3.2	Datenflussdiagramm.....	33
3.3	BPMN und Prozessanalyse	35
3.3.1	BPMN	35
3.3.2	Qualitative Prozessanalyse.....	36
3.3.3	Quantitative Prozessanalyse.....	39
3.4	Kano-Modell und -Auswertung	40
4	Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung.....	43
4.1	Vorgehensmodell.....	43
4.2	Einordnung in die bestehende Modelllandschaft	47
4.3	Zusammenfassung und Fazit	48
5	Anwendung des Modells bei der Knorr-Bremse GmbH.....	50
5.1	Stakeholderanforderungen	53
5.1.1	Identifikation der Stakeholder.....	53
5.1.2	Workshop zur Anforderungsaufnahme	53
5.1.3	Montagerelevante Prozesse & Parameter	55
5.2	Vergleich von Methoden zur Erstellung von Montageanweisungen	58

5.2.1	Erstellung einer Arbeitsanweisung mittels Office	59
5.2.2	Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink	62
5.2.3	Generierung einer Montageinstruktion mittels Prototyps	67
5.2.4	Evaluation und Vergleich	73
5.3	Systeme, Datenfluss und Schnittstellen bei Knorr-Bremse	77
5.3.1	Beschreibung der Systeme	77
5.3.2	Datenfluss und Schnittstellen	81
5.4	Einteilung und Priorisierung der Anforderungen	85
6	Ergebnisse, Diskussion und Ausblick	88
6.1	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	88
6.2	Ausblick	91
7	Anhang	94
8	Literaturverzeichnis	115
9	Internetquellen	120
10	Abbildungsverzeichnis	121
11	Tabellenverzeichnis	123
12	Abkürzungsverzeichnis	124

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Ausgangssituation

Produzierende Unternehmen im 21. Jahrhundert stehen vor einer Vielzahl an Herausforderungen. Getrieben durch das Paradigma der Globalisierung fordert der moderne Markt regionalisierte und personalisierte Produkte.¹ Hierdurch entsteht die Anforderung an Unternehmen individualisierte, und dadurch auch komplexere Produkte bis hin zur Losgröße 1 zu produzieren. Dieser Trend zeigt sich aktuell auch in Österreich: Bei 96 % von 102 in 2019 befragten Unternehmen ist die Anzahl der Produktvarianten in den letzten fünf Jahren angestiegen.² Parallel zu der Marktanforderung von *mass-personalization*³ haben die aktuellen Entwicklungen in den Bereichen der elektronischen Datenverarbeitung sowie der Informations- und Kommunikationstechnologie zur Entwicklung von sogenannten *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS) geführt. Diese Systeme, bestehend aus mehreren miteinander kooperierenden Subsystemen, sollen über alle Ebenen der Produktion reichen und so die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine ermöglichen und Prozesse verbessern.⁴ Durch die Einführung solcher Systeme erhoffen sich Unternehmen, unter anderem, die mit der steigenden Variantenvielfalt einhergehenden Herausforderungen zu lösen. Eine dieser Herausforderungen ist die Erstellung und Instandhaltung von Arbeitsanleitungen für die Montage, welche zunehmend aufwendig und mühsam sind, da auch nur kleine Produktänderungen oft viele verschiedene Montageschritte beeinflussen und Anweisungen entsprechend angepasst werden müssen.⁵

Bei der Knorr-Bremse (KB) GmbH besteht ein ähnliches Problem. Zurzeit gibt es eine Vielzahl an Produktvarianten für unterschiedliche Produktgruppen und es ist kapazitätsbedingt nicht möglich Arbeitsanleitungen für jede einzelne Variante zu erstellen. Deshalb werden momentan nur allgemeine Anleitungen für jede Produktgruppe erstellt und, falls als nötig empfunden, weitere für ausgewählte fehleranfällige, spezielle Produktvarianten. Diese Anleitungen werden mit *Microsoft Office* Produkten erstellt. Klare Nachteile hiervon sind, dass einerseits die Erstellung der Anleitungen mühsam für die Prozessplanung ist und andererseits die Anleitungen nicht flächendeckend sind und somit auch oft nicht von den Montagemitarbeitern genutzt werden. Erwartete Effekte, wie etwa Fehlervermeidung oder verkürzte Durchlaufzeiten, werden so reduziert. Zur Unterstützung der Montage wird Knorr-Bremse in der nahen Zukunft ein digitales Werkerassistenzsystem

¹ vgl. Koren, 2010, S. 32ff

² vgl. Mayrhofer et al., 2019, S. 12

³ ebd., S. 13

⁴ vgl. Monostori, 2016, S. 10

⁵ vgl. Funk et al., 2018, S. 53

introduce, which guides the assembly process. For this, the new work instructions must be created with a special autorentool. While this, in a successful provision of the required information content, the problem of missing or complete work instructions for the assembly is solved, the question arises, how the situation for the process planning looks like. With the introduction of the new system it is not only necessary to create all existing work instructions new or adapt them, but also for the provision of currently missing assembly instructions for a large number of product variants to be taken care of. Despite the new autorentools, which make the creation of the necessary content for the assistance system in comparison to the current process with *Microsoft Office* easier, the effort for the process planning in the implementation phase as well as in the later operation is enormous.

1.2 Forschungsfragen und Zieldefinition

Starting from the presented problem situation, it should be identified, how the process planning can be supported as efficiently as possible when providing information content for the assembly. There are already many market solutions from various manufacturers such as *Teamcenter EWI* from *Siemens*⁶, *Windchill MPMLink* from *PTC*⁷, *RapidAuthor* from *Cortona3D*⁸ or *XVL Studio* from *Lattice3D*⁹, which enable support in managing and writing work instructions. With the help of already existing *Computer Aided Design* (CAD) data, such tools allow a simple creation of content. So, for example, assembly structures and process plans can be configured easily. Also 2D and 3D graphics can be taken over from CAD data and embedded in the work instructions. *PTC* and *Siemens* offer further a widespread integration with their respective *Product Lifecycle Management* (PLM) system. Nevertheless, a relatively large manual effort has to be made on the part of process planning to generate the necessary content for a work instruction.

Current research is therefore engaged with the automation of the creation of content for worker guidance systems. So, for example, in the framework of the *AVILUSplus* project, a procedure for the automated generation of action instructions for *Virtual Reality* (VR) assembly instructions on the basis of

⁶ vgl. Siemens PLM Software, 2016

⁷ vgl. URL: https://support.ptc.com/help/windchill/whc/whc_en/index.html#page/Windchill_Help_Center%2FExpMPM_AboutMPMLink.html%23 (04.05.2020)

⁸ vgl. URL: <https://www.cortona3d.com/de/produkte/authoring-publishing-loesungen/rapidauthor/rapidworkinstruction> (04.05.2020)

⁹ vgl. URL: <https://www.lattice3d.com/de/solutions/assembly-work-instructions> (04.05.2020)

CAD Daten entwickelt.¹⁰ Funk et al. (2018) stellen ein System vor, welches den Montageprozess erfasst und darauf basierend automatisch Montageanleitungen erstellt.¹¹ Lušić (2017) hat ein zum Produktentstehungsprozess simultanes Erstellungsvorgehen für Werkerinformationssysteme (WIS) entwickelt zu welchem auch ein Konzept zur automatisierten Erstellung von Montagevisualisierungen gehört.¹² Auch bei Fraunhofer Austria wurde die datengetriebene Konfiguration von Assistenzsystemen, im speziellen auch Werkerführungssystemen (WFS), untersucht.¹³ Im Rahmen des *MMASSIST_II* Forschungsprojektes wurden diese Untersuchungen weitergeführt und ein Softwareprototyp zur automatisierten Erstellung von Arbeitsanleitungen für digitale Assistenzsysteme entwickelt.^{14,15} Dieser Prototyp soll in dieser Diplomarbeit als Grundlage für weitere Tests dienen.

Es ist ersichtlich, dass es einerseits bereits etablierte, industrietaugliche Lösungen für Unternehmen gibt und andererseits erhebliche Anstrengungen seitens der Forschung stattgefunden haben, um die Inhaltserstellung weiter zu vereinfachen. Ein logischer nächster Schritt wäre es zu überprüfen, inwiefern bisherige Forschungsfortschritte auch in der Industrie anwendbar sind und wie diese Forschung entsprechend den Anforderungen der Industrie weiterentwickelt werden kann. Hierzu ist es jedoch in einem ersten Schritt notwendig, ein geeignetes Vorgehen für diese Anforderungserhebung festzulegen. Demnach können folgende zwei Forschungsfragen für diese Diplomarbeit definiert werden:

Forschungsfrage 1: Wie kann vorgegangen werden, um Anforderungen eines produzierenden Großunternehmens für den erfolgreichen Einsatz eines Softwaresystems zur Informationserstellung für die Montage aufzunehmen?

Und:

Forschungsfrage 2: Welche Anforderungen hat ein produzierendes Großunternehmen an ein Softwaresystem zur automatisierten Informationserstellung für die Montage und wie können diese klassifiziert werden?

Eines der Ziele dieser Diplomarbeit ist es somit die Wünsche, Bedürfnisse und Einschränkungen des Unternehmens aufzunehmen, in konkrete Anforderungen umzuformulieren und anschließend zu klassifizieren. Hierfür soll zuerst ein allgemeines Vorgehensmodell entwickelt werden, welches Instrumente und Werkzeuge zur Anforderungserhebung bereitstellt. Anschließend wird ebenjenes Modell zur Anforderungsaufnahme beim Kooperationsunternehmen KB an den

¹⁰ vgl. Schenk & Schumann, 2016, S. 9ff

¹¹ vgl. Funk et al., 2018, S. 55ff

¹² vgl. Lušić, 2017

¹³ vgl. Reisinger et al., 2018

¹⁴ vgl. Wögerer et al., 2018

¹⁵ vgl. Reisinger et al., 2021

konkreten Fall angepasst und eingesetzt. Im Rahmen hiervon sollen auch industrieübliche Vorgehensweisen zur Informationserstellung mit denen des Softwareprototyps verglichen werden um daraus Vorteile, Nachteile, Potentiale und Nutzen ableiten zu können. Es soll somit untersucht werden, wie der Prototyp bestehende Tools ergänzen und verbessern kann. Im Rahmen dieser Arbeit soll sich nur auf die Erstellung von Arbeitsanweisungen, welche mittels Monitore am Arbeitsplatz dargestellt werden, fokussiert werden, nicht jedoch auch die Darstellung mit VR oder *Augmented Reality* (AR). Ein weiteres, diese Diplomarbeit begleitendes, Resultat soll die Bereitstellung eines Lastenheftes für die Kooperationsfirma sein. Das Lastenheft soll als Basis für die Durchführung eines Kooperationsprojektes zwischen Fraunhofer Austria und dem Partnerunternehmen dienen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist in einen theoretischen und einen praktischen Teil gegliedert. Die theoretischen Kapitel 2 bis 4 befassen sich mit den theoretischen Grundlagen, den benutzten Methoden sowie der Beschreibung eines allgemeinen Vorgehensmodells für die Anforderungserhebung einer Software für die Informationserstellung im Montagebereich. Kapitel 5 beschreibt den praktischen Anwendungsfall des Vorgehensmodells bei KB. Der Inhalt der einzelnen Kapitel wird in den folgenden Zeilen genauer beschrieben.

Kapitel 2 befasst sich einerseits mit digitalen Assistenzsystemen in der Industrie. Zuerst werden Begriffe wie Industrie 4.0, CPPS und Assistenzsysteme erläutert. Des Weiteren wird beschrieben, welche Informationssysteme üblicherweise in der Industrie benutzt werden. Systeme wie ERP, MES, PLM oder CAX werden erklärt. Es wird zudem auf die Kommunikation ebenjener Systeme untereinander sowie die Vernetzung der Maschinen und Geräte auf dem Shopfloor eingegangen. In diesem Kontext werden auch gängige Schnittstellen und Austauschformate beschrieben. Zuletzt werden WFS genauer vorgestellt. Inhalt und Design von Arbeitsanweisungen, sowie Ansätze zur Erstellung dieser, werden diskutiert.

Andererseits behandelt Kapitel 2 das Thema *Requirements Engineering* (RE). Es werden verschiedene Vorgehensweisen des RE vorgestellt, wie etwa Lasten- und Pflichtenhefte, die ISO 29148 oder das V-Modell. Anschließend wird näher auf die Anforderung selbst und dessen Charakteristiken eingegangen.

In Kapitel 3 werden Methoden und Werkzeuge zur Erhebung von Anforderungen, wie *Use Scenarios*, Datenflussdiagramme, BPMN, die qualitative und quantitative Prozessanalyse sowie KANO-Umfragen, erläutert.

In Kapitel 4 wird das entwickelte Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung für den erfolgreichen Einsatz einer Software zur automatisierten Informationserstellung

für die Montage präsentiert. Des Weiteren werden hier auch bestehende Vorgehensmodelle diskutiert.

Kapitel 5 beschreibt den praktischen Anwendungsfall des in Kapitel 4 vorgestellten Vorgehensmodells bei KB. Die Aufnahme der Stakeholderanforderungen mittels des *Use Scenarios* Instruments wird dargelegt. Die Ergebnisse des qualitativen Vergleichs zwischen den verschiedenen Methoden zur Erstellung einer Arbeitsanweisung und der Informationserstellung mittels Prototyps werden besprochen. Des Weiteren wird auf die Analyse der Systeme, Schnittstellen und Datenflüssen bei KB eingegangen. Schlussendlich wird gezeigt, wie die eruierten Anforderungen mittels einer Kano-Umfrage klassifiziert werden.

Kapitel 6 stellt den Abschluss der Arbeit dar. Hier werden die Ergebnisse in Bezug auf die Forschungsfragen zusammengefasst und diskutiert. Des Weiteren wird ein Ausblick auf das kommende Projekt gegeben und mögliche nächste Schritte besprochen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Digitale Assistenzsysteme in der Industrie

Dieses Kapitel soll einen Überblick darüber verschaffen, welche Systeme in der Industrie eingesetzt werden, um Produktions- und Montagemitarbeitern zu assistieren. Hierfür sollen zuerst die Konzepte von Industrie 4.0 und CPPS beschrieben werden. Danach wird der Begriff Assistenzsystem genauer untersucht, sowie klassische industrielle Informationssysteme wie ERP, MES, PDM und CAX vorgestellt. Die Netzwerkarchitektur von klassischen Produktionsunternehmen, sowie Schnittstellen und Austauschformate zwischen den vorher genannten Systemen werden erörtert. In diesem Kontext wird auch das Konzept des Industrial Internet of Things (IIoT) aufgegriffen. Anschließend werden WFS im Detail vorgestellt. Es wird darauf eingegangen, welche Möglichkeiten es zur Informationserstellung für WFS gibt und wie dieser Inhalt, bzw. die Arbeitsanweisung, auszusehen hat.

2.1.1 Industrie 4.0 und CPPS

Unter dem Begriff Industrie 4.0 wird die vierte industrielle Revolution verstanden, welche aus der Konvergenz der virtuellen und der physischen Welt in Form von *Cyber-Physical Systems* (CPS) resultieren soll. Ziel ist es, sogenannte *Smart Factories* und *Smart Products* zu schaffen, um so alle Ebenen eines Unternehmens, wie etwa Produktion, Wartung, Logistik, Kundenservice, Marketing und Engineering mit Zuliefern, Kunden und Produkten digital zu vernetzen.¹⁶

Wie erwähnt spielen CPS eine zentrale Rolle in der modernen Industrie, bei produzierenden Unternehmen spricht man auch von *Cyber-Physical Production Systems* (CPPS). Diese CPPS bestehen aus mehreren autonomen, jedoch miteinander kooperierenden Subsystemen, welche über alle Ebenen der Produktion verteilt sind. Diese Systeme stehen in engem Kontakt mit der sie umgebenden physischen Welt und deren Prozessen und kommunizieren miteinander über das Internet.¹⁷ Solche Systeme werden auch in der Montage eingesetzt, man spricht dann von *Cyber-Physical Assembly Systems*.¹⁸

Die beiden Begriffe Industrie 4.0 und CPPS sind insofern wichtig für das Verständnis dieser Diplomarbeit, da sie das grundlegende Prinzip moderner Produktions- und Montagesystem verdeutlichen. Auch das in dieser Arbeit behandelte Softwaresystem kann als ein zu einem großen Produktionssystem gehörenden Subsystem betrachtet werden.

¹⁶ vgl. Stark, 2020, S. 362ff

¹⁷ vgl. Monostori, 2014

¹⁸ vgl. Hold et al., 2016

2.1.2 Assistenzsysteme in Montage und Produktion

Steigende Komplexität in Produktion und Montage, die steigende Anzahl an Produktvarianten und Individualisierung, sowie ein wachsender Drang nach Flexibilität von Produktionssystemen stellen Industriebetriebe vor neue Herausforderungen.¹⁹ Ein Ansatz zur Bewältigung dieser ist der vermehrte Einsatz von Assistenzsystemen. Ein Assistenzsystem hat das Ziel „die Beschäftigten bei der Ausführung ihrer Arbeit [zu] unterstützen und ihnen [zu] ermöglichen, sich auf ihre Kernkompetenzen zu konzentrieren“.²⁰ Das unterstützende System soll hierbei die Arbeitsteilung zwischen Mensch und Maschine ermöglichen, so dass gleiche Arbeiten parallel-redundant ausgeführt werden können.²¹

Ein digitales Assistenzsystem stellt die primäre Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine, also zwischen der physischen Welt und dem Montage- bzw. Produktionssystem, dar. Ziel ist es Produktivität zu erhöhen, Trainingszeiten zu verkürzen und Fehler am Arbeitsplatz zu vermeiden.²² Man spricht hier auch von Mensch-Maschine-Systemen: „Der Mensch soll zielgerecht mit der Maschine zusammenarbeiten, damit bestimmte Arbeitsergebnisse von dem Gesamtsystem bestmöglich erreicht werden“.²³

Naumann et al. (2017) unterscheiden bei der Mensch-Maschine-Interaktion zwischen informatorischer Interaktion und physischer Interaktion.²⁴ Schlund et al. (2018) unterscheiden weiters, wie ein Assistenzsystem den Menschen auf verschiedene Arten entlasten kann: physischer kognitive, kommunikative und organisatorische Unterstützung. Unter physischer Assistenz versteht man eine Entlastung in Form von Kraftverstärkung oder -umleitung oder ergonomischer Unterstützung. Beispiele hierfür sind Cobots oder Exoskelette. Ein kognitives Assistenzsystem kann zum Beispiel die Möglichkeit bieten, Aktivitäten zu überwachen oder zu verteilen sowie zur Sicherheit am Arbeitsplatz beizutragen. Kommunikative Assistenz unterstützt den Menschen etwa durch Verbesserung der Teamarbeit und des Kommunikationsflusses. Eine organisatorische Unterstützung kann zum Beispiel durch Überwachung von Systemzuständen oder erleichtertes Wissens- und Verbesserungsmanagement realisiert werden.²⁵

2.1.2.1 Informationssysteme in der Industrie

Das Ziel von informatorischen Assistenzsystemen ist es die wachsende Komplexität der Produkthanforderungen, und die dadurch erhöhte mentale Beanspruchung von

¹⁹ vgl. Mayrhofer et al. 2019, S. 12

²⁰ Agiplan et al., 2015, S. 90, Anm. P.D.

²¹ vgl. Gerke, 2014, S. 8

²² vgl. Hold et al., 2017, S. 144

²³ Gerke, 2014, S. 7

²⁴ vgl. Naumann et al., 2017, S. 201ff

²⁵ vgl. Schlund et al., 2018, S. 279f

Produktions- und Montagemitarbeiter, durch ein verbessertes Informationsmanagement zu unterstützen.²⁶ Man kann in dem Fall auch von Informationssystemen sprechen.

Alpar et al. (2019) definieren ein Informationssystem als „ein künstliches, konkretes System, das aus maschinellen und menschlichen Elementen besteht und seine Nutzer mit Informationen versorgt“.²⁷ Die Definition des Begriffes Information kann durch seinen Zusammenhang mit Daten und Wissen erfolgen. Durch eine syntaktische Verknüpfung von Symbolen können Daten generiert werden. Es bedarf jedoch zusätzlich einer Bedeutung, damit die Daten zu Informationen werden und einer anschließenden Vernetzung dieser mit Erfahrungen und Erwartungen damit Wissen entsteht. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 2-1 ersichtlich. Nicht dargestellt ist, dass durch richtige Anwendung des Wissens Kompetenz und schließlich Wertschöpfung erfolgen.²⁸

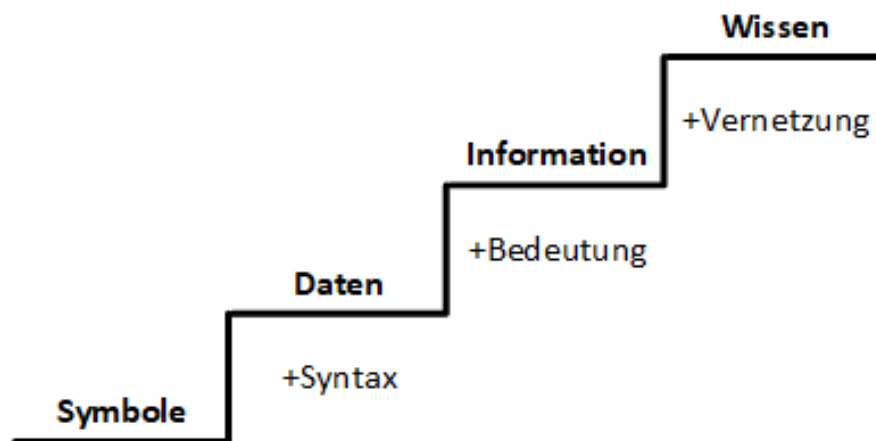


Abbildung 2-1: Zusammenhang zwischen Daten, Informationen und Wissen²⁹

In Industrieunternehmen werden in der Regel eine Vielzahl an Informationssystemen eingesetzt. Zu den standardmäßig eingesetzten Systemen gehören:³⁰

- das Enterprise Resource Planning (ERP) System
- das Manufacturing Execution System (MES)
- das Product Lifecycle Management (PLM) und Product Data Management (PDM) System
- das Customer Relationship Management (CRM) System
- das Supply Chain Management (SCM) und Supplier Relationship Management (SRM) System

²⁶ vgl. Bornewasser et al., 2018, S. 265

²⁷ Alpar et al., 2019, S. 25

²⁸ vgl. North & Maier, 2018, S. 667f

²⁹ in Anlehnung an ebd., S. 668

³⁰ vgl. Kurbel, 2021, S. 5ff

- Technische Anwendungs- und Autorensysteme, wie Computer Aided X (CAx) Systeme

Die folgende Abbildung 2-2 zeigt die typischen Bereiche eines Industrieunternehmens und die Informationssysteme, welche ihnen zugrunde liegen.



Abbildung 2-2: Industrielle Informationssysteme und Bereiche in der Industrie³¹

Ersichtlich ist, dass die besprochenen Informationssysteme oft bereichsübergreifend genutzt werden. Für einen erfolgreichen Einsatz der Systeme ist eine Vernetzung der Systeme untereinander mittels geeigneter Schnittstellen, Austauschformate und zentraler Datenspeicherung vorauszusehen. Oft genutzte Schnittstellen und Austauschformate werden in Kapitel 2.1.2.3 genauer erläutert.

Im Zentrum all dieser Systeme steht in der Regel ein Datenbankmanagementsystem mit einer oder mehreren Datenbanken. Aufgaben eines solchen Systems inkludieren Organisation, Speicherung, Wiederauffindung, Sicherheit und Integrität aller von den obigen genannten Systemen benötigten oder generierten Daten.³² Meistens werden in Unternehmen relationale Datenbankensysteme eingesetzt. Relationale Datenbankensysteme erlauben es so, unabhängig von der physischen Speicherung der

³¹ Übernommen aus Gerhard, 2016, S. 35

³² vgl. Kurbel, 2021, S. 10

Daten, diese so zu manipulieren, dass sie in einer einfachen, intuitiven Tabellenstruktur dargestellt werden können. Hierbei werden verschiedene Datentabellen mittels einmaligen Identifikationsattributen, sogenannten Primärschlüsseln, logisch miteinander verknüpft.³³

Industrielle Informationssysteme, welche für die in dieser Masterarbeit behandelten Themen besonders relevant sind, werden im Folgenden genauer erläutert. Hierzu zählen ERP, MES, CAX und PLM.

ERP - Enterprise Resource Planning

ERP-Systeme sind eine Weiterentwicklung von sogenannten *Material Resource Planning* Systemen. Im Zentrum eines jeden ERP-Systems steht also die Materialbedarfsplanung. Wesentliche Funktionalitäten hiervon sind Bestands- und Inventarmanagement, Produktionsplanung und -steuerung, Beschaffung sowie Kapazitätsplanung. Die Kernaufgabe eines ERP-Systems ist es also die Produktionsabteilung mit den nötigen Informationen zu versorgen, damit diese optimal die Produktion planen kann.³⁴ Moderne ERP-Systeme bieten jedoch zusätzlich eine Vielzahl an anderen Funktionalitäten an wie etwa Personalwirtschaft und -management, Finanzbuchhaltung, Rechnungswesen und Controlling, Marketing und E-Commerce, Vertrieb und CRM, SCM oder Projektmanagement.^{35, 36}

MES - Manufacturing Execution System

Während sich ERP-Systeme vorrangig mit der Planung beschäftigen, sind MES verantwortlich für die tatsächliche Ausführung der Pläne in der Fertigung oder Montage.³⁷ Im Vergleich zu der lang- und mittelfristigen Grob- und Feinplanung der ERP-Systeme, steuert und plant ein MES eher kurzfristig, auf der Tages-, Minuten- oder sogar Sekundenebene.³⁸ Abbildung 2-3 zeigt die Hierarchie und Verteilung der Aufgaben von ERP-Systemen, MES und Kontrollsystemen. ERP-Systeme sind hauptsächlich auf Level 5 und 4 aktiv, also auf Distributions- und Werksebene. MES unterstützen auf Ebene des Shop Floors und den Produktionslinien. Auf der untersten Ebene agieren Kontrollsysteme, welche vor allem dafür zuständig sind, dass geplante Produktionssequenzen eingehalten werden.³⁹ Die VDI- Richtlinie 5600 (2016) definiert folgende Aufgaben für ein MES:⁴⁰

³³ vgl. Boucher & Yalcin, 2006, S. 28f

³⁴ vgl. Boucher & Yalcin, 2006, S. 1f

³⁵ vgl. ebd., S. 2

³⁶ vgl. Kurbel, 2021, S. 218

³⁷ vgl. Boucher & Yalcin, 2006, S. 2

³⁸ vgl. Kurbel, 2021, S. 378

³⁹ vgl. Boucher & Yalcin, 2006, S. 4

⁴⁰ vgl. VDI 5600 Blatt 1, 2016, S. 6

- Organisation und Unterstützung von Prozessvorgaben wie etwa Personaleinsatz, Ressourcen und Material, Qualitätsanforderungen und korrekte Auftragsbearbeitung,
- Organisation und Unterstützung der operativen Aktionen durch Qualitätssicherung und Sicherstellen der Ressourcenverfügbarkeit,
- Analyse von Produktionsaktivitäten und Bereitstellung von Kennzahlen,
- sowie den Informationsaustausch mit der physischen Umgebung und anderen Systemen wie ERP und Kontrollsystemen.

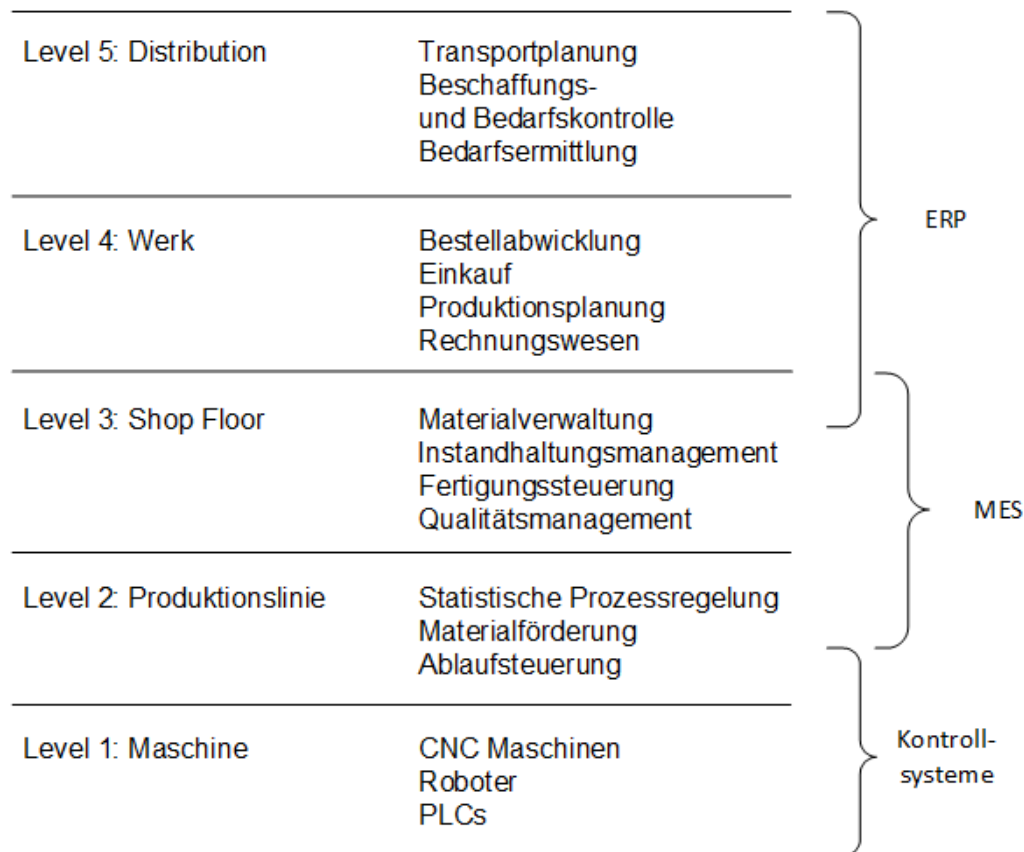


Abbildung 2-3: Hierarchie von ERP, MES und Kontrollsystemen⁴¹

CAx - Computer Aided x

Unter CAx-Systemen versteht man technische Anwendungssysteme, welche den Nutzer oder Nutzerin bei der jeweiligen Tätigkeit in der Produktentwicklung oder -herstellung computergestützt unterstützen. Folgende Systeme können dem Überbegriff CAx zugeordnet werden:⁴²

- *Computer Aided Engineering* (CAE) und *Computer Aided Design* (CAD) für Produktentwurf und Konstruktion
- *Computer Aided Planning* (CAP) für Arbeitsplanung

⁴¹ in Anlehnung an Boucher & Yalcin, 2006, S. 4

⁴² vgl. Kurbel, 2021, S. 435ff

- *Computer Aided Manufacturing* (CAM) zur Unterstützung der Fertigung
- *Computer Aided Quality Assurance* (CAQ) zur Qualitätssicherung

CAX-Systeme gehören zu den Autorensystemen. Unter einem Autorensystem versteht man ein System, das in erster Linie Daten erzeugt, welche dann von anderen Systemen verwaltet werden.⁴³ Gängige Office Anwendungen gehören auch zu den Autorensystemen.⁴⁴

PLM - Product Lifecycle Management

Die Aufgabe des PLM ist die Verwaltung aller produktbezogenen Daten eines Unternehmens über die gesamte Lebensspanne der Produkte, also von der ersten Idee für ein Produkt bis zu dessen Entsorgung.⁴⁵ PLM kann für ein Unternehmen als ein strategischer Ansatz zur systematischen Integration aller Produktdaten über alle Einzelprozessschritte des Produktlebenszyklus verstanden werden. Abbildung 2-4 stellt die einzelnen Schritte des typischen Produktlebenszyklus dar. Des Weiteren ist sichtbar bei welchen dieser Schritte PLM mit anderen Systemen, wie ERP, CAX und PDM, interagiert.⁴⁶

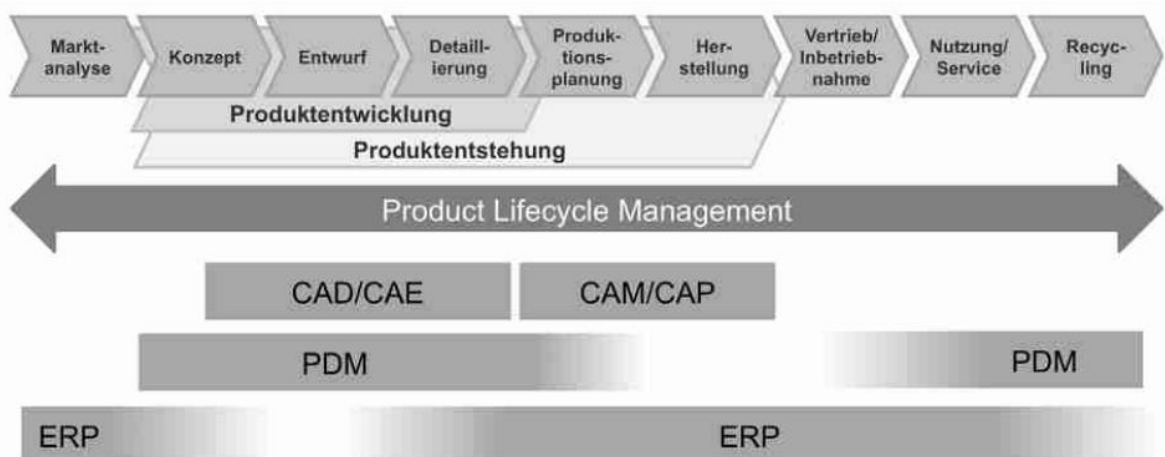


Abbildung 2-4: Schritte des PLM und Interaktion mit anderen Systemen⁴⁷

PLM Lösungen bauen auf PDM-Systemen auf.⁴⁸ PDM ist die Komponente eines PLM-Systems, welche sich mit „Speicherung, Aufbewahrung, Pflege, und Bereitstellung aller produktbeschreibenden Daten“⁴⁹ befasst. Man kann PLM demgemäß auch als eine Erweiterung des PDM durch durchgängiges Konfigurations-, Anforderungs- und Projektmanagement betrachten.⁵⁰ Folgende

⁴³ vgl. VDI 2219, 2016, S. 4

⁴⁴ vgl. Eigner et al., 2014, S. 280

⁴⁵ vgl. Stark, 2020, S. 1

⁴⁶ vgl. VDI 2219, 2016, S. 8

⁴⁷ Übernommen aus ebd., S. 10

⁴⁸ Eigner et al., 2014, S. 268

⁴⁹ Kurbel, 2021, S. 437

⁵⁰ vgl. ebd., S. 438

wesentliche Funktionen eines PDM-Systems sind in der VDI-Richtlinie 2219 festgelegt:^{51,52}

- Produktstrukturmanagement, inklusive Klassifizierung für Dokumente, Teile und Projekte sowie Stücklistenverwaltung
- Suchfunktionalität sowie Möglichkeit zur Vorschau und Visualisierung von CAx-Modellen und Dokumenten
- Varianten- und Konfigurationsmanagement
- Workflowmanagement für Änderungs- und Freigabeprozesse
- Statusverwaltung von Dokumenten und Bauteilen inklusive Check-in und Check-out Funktion
- Schnittstellenmanagement zu CAx, Office, und ERP
- Administrative Funktionen wie Benutzer- und Berechtigungsverwaltung, Datensicherung, -archivierung, -import und -export, sowie Systemkonfiguration

Die Produktstruktur übernimmt eine zentrale Rolle bei der Speicherung und Darstellung von Produkten in PDM bzw. PLM-Systemen.⁵³ Die Struktur eines Produktes wird üblicherweise mit einer Stückliste (in Englisch: *Bill of Material* (BOM)) dargestellt. Diese ist hierarchisch aufgebaut, man erkennt also das Endprodukt, die Teile, aus denen das Endprodukt besteht, sowie die Teile aus denen die Teile des Endproduktes bestehen.⁵⁴ Während des Lebenszyklus eines Produktes existieren verschiedene Sichten auf dessen Struktur. Die Entwicklung benötigt eine andere Sichtweise auf die Produktstruktur als die Arbeits- oder Prozessplanung, der Verkauf oder der Kundendienst. So entstehen auch verschiedene Stücklisten entlang des Lebenszyklus. Eine wesentliche Funktionalität von PLM ist die Assoziativität der Produktstrukturen. Dies bedeutet, dass diese über alle Phasen des Lebenszyklus miteinander verknüpft sein sollen. Dem zugrunde liegt das Konzept der *Single Source of Truth*: Bei einer Änderung einer produktrelevanten Information müssen alle davon abhängigen Folgeänderungen erkannt und Entscheidungen bezüglich dieser unterstützt werden.⁵⁵ Durch die Verknüpfung von Stücklisten kann sichergestellt werden, dass alle beteiligten Abteilungen über etwaige Änderungen in der Struktur einfach informiert werden und entsprechend reagieren können. So kann zum Beispiel bei einer Änderung der *Engineering BOM* (eBOM) durch die Konstruktion, die Prozessplanung die *Manufacturing BOM* (mBOM) bei Bedarf entsprechend anpassen.⁵⁶ Das Prinzip der Assoziativität zwischen Stücklisten, welche in

⁵¹ vgl. ebd., S. 440

⁵² vgl. VDI 2219, 2016, S. 12f

⁵³ vgl. Eigner et al, 2014, S. 274

⁵⁴ vgl. Stark, 2020, S. 90f

⁵⁵ vgl. Eigner et al., 2014, S. 274ff

⁵⁶ vgl. URL: <https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html> (22.10.2021)

unterschiedlichen Phasen des Produktlebenszyklus eingesetzt werden, sowie der hierarchische Aufbau dieser ist in Abbildung 2-5 dargestellt.

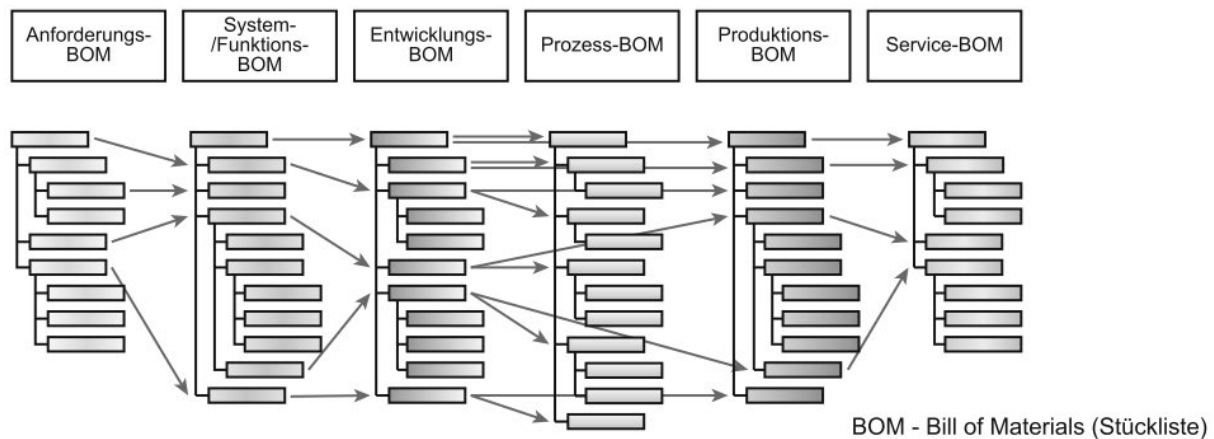


Abbildung 2-5: Stücklisten in unterschiedlichen Stadien des Lebenszyklus⁵⁷

2.1.2.2 Vernetzung von Systemen

Wesentlich für das Gelingen einer unternehmerischen Strategie ist das Zusammenspiel und die Integration der oben genannten Informationssysteme. Ein wesentliches Merkmal von CPPS ist die Vernetzung der unterschiedlichen Subsysteme und Hierarchien, um so einen erfolgreichen Informationsaustausch zu ermöglichen.^{58,59} Im Nachstehenden wird ebenjene Vernetzung anhand von zwei Modellen erklärt. Im Rahmen dessen werden auch die Begriffe des IoT und IIoT genauer erklärt.

Abbildung 2-6 zeigt mithilfe des 4-Ebenen VDA⁶⁰-Modells wie eine typische industrielle IT-Architektur aussehen kann. Entscheidend ist die Integration der vier Ebenen: Produktionsplanung und -steuerung (inklusive ERP, SCM und CRM), PLM, *Team Data Management* (Verwaltungssysteme für Autorensysteme) und Autorensysteme.

In der modernen Produktion spielt auf dem Bereich des Shopfloors das *Internet of Things* (IoT) eine essenzielle Rolle bei der Vernetzung von Subsystemen. Unter dem IoT versteht man eine Ansammlung von verschiedenen Technologien, Ressourcen und Möglichkeiten. Hierzu gehören zum Beispiel:⁶¹

- das Internet als Kommunikationsmöglichkeit;
- elektronische Geräte, Produkte und Sensoren, welche über das Internet miteinander kommunizieren können;
- sowie cloudbasierte Applikationen.

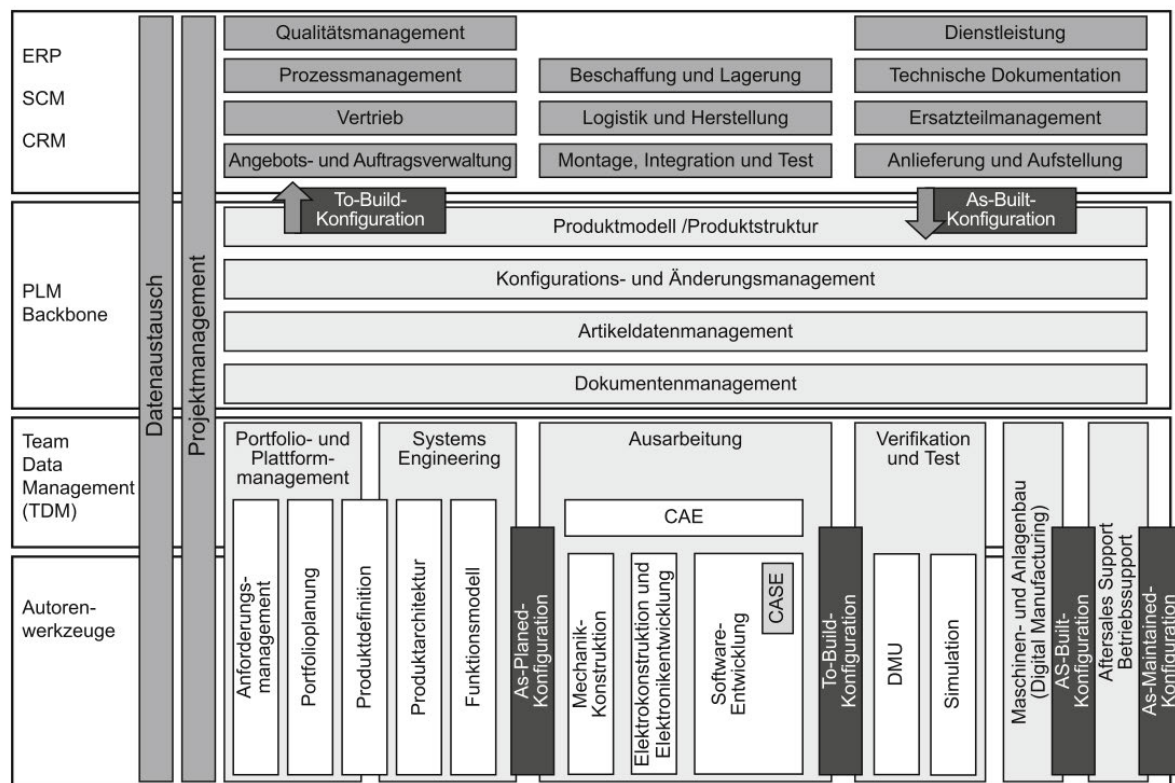
⁵⁷ übernommen aus Eigner et al., 2014, S. 274

⁵⁸ vgl. Boucher, 2006, S. 6

⁵⁹ vgl. Monostori, 2014, S. 10

⁶⁰ VDA steht für Verband der deutschen Automobilindustrie

⁶¹ vgl. Stark, 2020, S. 336

Abbildung 2-6: 4-Ebenen VDA-Modell⁶²

Einer der ansprechendsten Eigenschaften von IoT ist es internettaugliche Alltagsgeräte als Zugriffsmöglichkeit für industrielle Daten verwenden zu können.⁶³ In der Industrie spricht auch vom *Industrial Internet of Things* (IIoT). Ziel des IIoT ist die Integration von industriellen Maschinen, den Dingen oder *Things*, mit industriellen Informationssystemen, Geschäftsprozessen und Personen. Mithilfe neuartiger Technologien ermöglicht das IIoT so fortgeschrittene Analysen von Maschinen- und Prozessdaten sowie eine Optimierung dieser um Produktivität, Qualität, Effizienz und Flexibilität zu erhöhen.⁶⁴

Anhand von Abbildung 2-7 wird exemplarisch gezeigt, wie eine IIoT Architektur in einem Unternehmen aussehen kann. Aufgrund der besseren Lesbarkeit und schwierigen Übersetzbarkeit der verwendeten Begriffe, werden im Folgenden die englischen Begriffe der Originalquelle benutzt. Es wird zwischen drei Ebenen unterschieden: dem *Edge Tier*, dem *Platform Tier* und dem *Enterprise Tier*. Die Ebenen werden durch drei verschiedene Netzwerke miteinander verbunden: dem *Proximity Network*, dem *Access Network* und dem *Service Network*. Im *Edge Tier* werden, anhand des *Proximity Networks*, Daten von Maschinen, Sensoren, Aktuatoren oder Kontrollsystemen auf dem Shop Floor gesammelt.⁶⁵ Unter *Edge Computing* versteht man die dezentrale Verteilung von Rechenzentren, sogenannten

⁶² Eigner et al., 2014, S. 280

⁶³ vgl. Wollschlaeger et al., 2017, S. 19f

⁶⁴ vgl. Industrial Internet Consortium, 2017, S. 4

⁶⁵ vgl. ebd., S. 40

Edge Knoten, an den Rand des Netzwerkes. Im Vergleich zu einer traditionelleren Herangehensweise mit einer zentralen, cloudbasierten Datenverarbeitung kann so sowohl Energie eingespart werden als auch die Kommunikationsgeschwindigkeit zwischen den Subsystemen erhöht werden, da kein ständiger Upload von Daten notwendig ist.⁶⁶

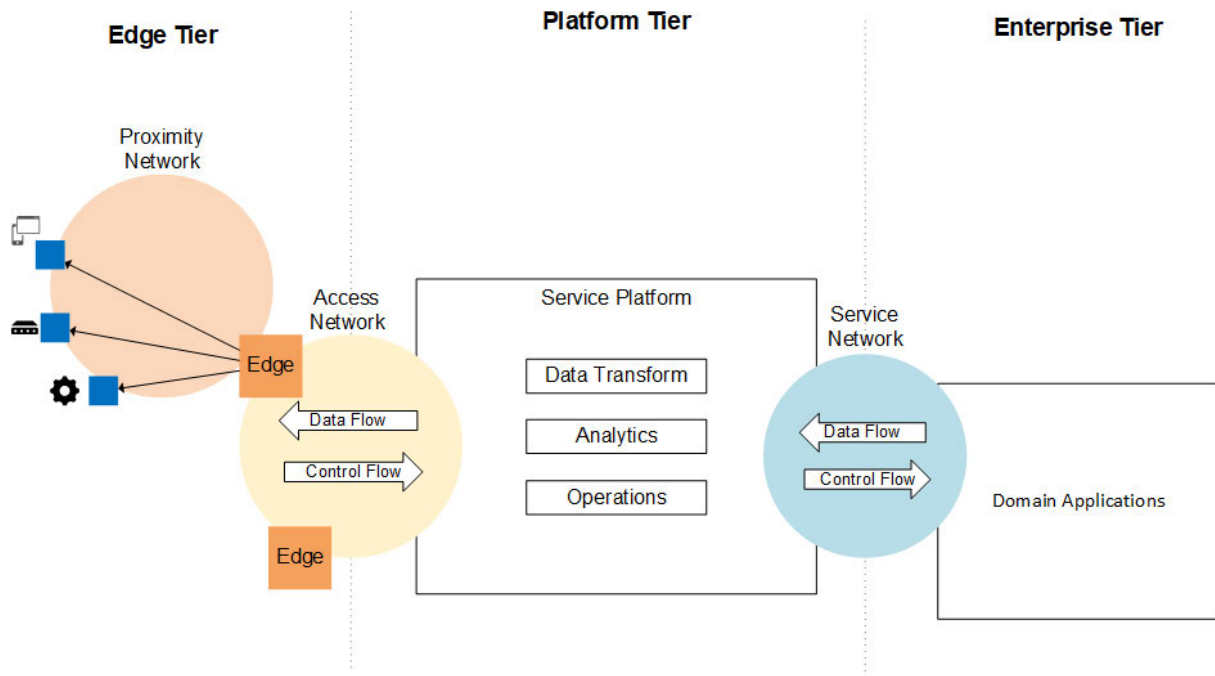


Abbildung 2-7: 3-Ebenen IIoT Systemarchitektur⁶⁷

Die Aufgabe des *Platform Tier* ist es, einerseits, Datenflüsse vom *Edge Tier* zu verarbeiten, zu analysieren und an das *Enterprise Tier* weiterzuleiten. Andererseits empfängt das *Platform Tier* auch die vom *Enterprise Tier* ausgehenden Kontrollflüsse, verarbeitet sie und schickt diese an das *Edge Tier* und dessen Knotenpunkte. Zwischen dem *Platform Tier* und dem *Edge Tier* ist das *Access Network* aktiv und ermöglicht die Übertragung von Daten- und Kontrollflüssen. Ein solches Netzwerk kann zum Beispiel über 4G oder 5G realisiert werden. Für die Konnektivität zwischen *Platform* und *Enterprise Tier* ist das *Service Network* verantwortlich. Eine weitere Aufgabe dieses Netzwerkes ist der Datenschutz. Das *Enterprise Tier* stellt die Schnittstellen zu den Nutzern des Systems, wie etwa Produktionsmitarbeitern, bereit. Anhand verschiedener Anwendungen und Unterstützungssystemen können Regeln und Kontrollflüsse generiert werden und über das *Platform Tier* an das *Edge Tier* weitergeleitet werden.⁶⁸

⁶⁶ vgl. Georgakopoulos et al., 2016, S. 68f

⁶⁷ in Anlehnung Industrial Internet Consortium, 2019, S. 41

⁶⁸ vgl. ebd., S. 41f

2.1.2.3 Schnittstellen und Austauschformate

Sowohl der Austausch zwischen ERP, PLM und Autorensystemen als auch die Vernetzung von IoT-aktivierten Sensoren, Aktuatoren und Werkzeugen mit Unternehmensapplikationen basiert auf dem Gebrauch verschiedenster Schnittstellen, Austauschformate und Standards.

Schnittstellen können nach der Art der Informationsübertragung in direkte und indirekte Schnittstellen sowie nach Art der Vernetzung in proprietäre und neutrale Schnittstellen eingeteilt werden. Abbildung 2-8 zeigt den Unterschied zwischen direkten und indirekten Schnittstellen. Bei direkten Schnittstellen werden Informationen ohne die Verwendung eines spezifischen Zwischenformats auf unmittelbarem Weg an das Zielsystem übertragen. Hierzu wird oft ein sogenanntes *Application Programming Interface* (API) verwendet. Es handelt sich dabei um eine Programmierschnittstelle, welche den direkten Zugriff auf die Funktionen eines Systems erlaubt und so den direkten Datenaustausch ermöglicht. Bei indirekten Schnittstellen hingegen werden die Informationen in einem bestimmten Format zwischengespeichert und so übertragen.⁶⁹

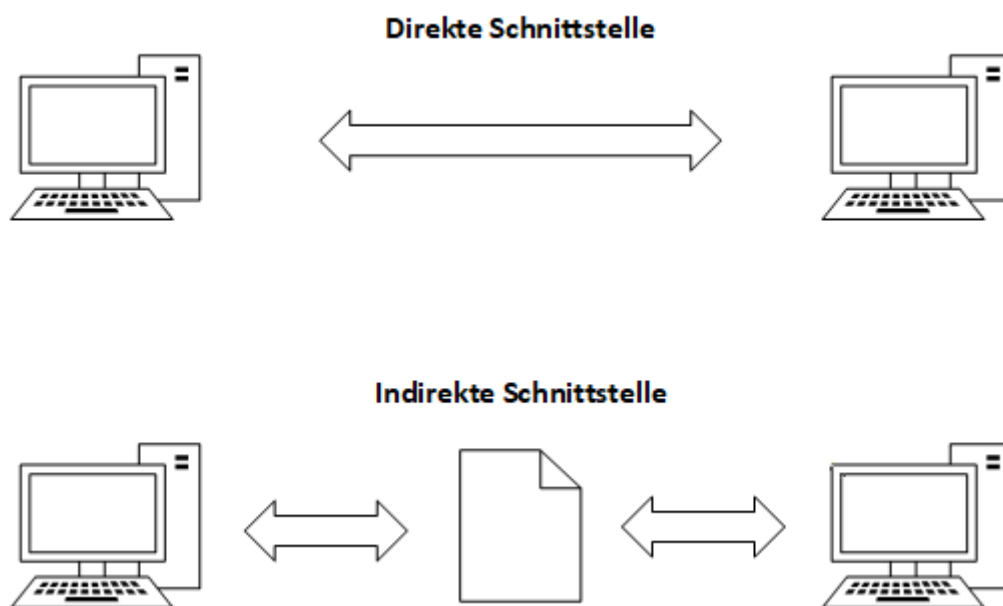


Abbildung 2-8: Direkte und indirekte Schnittstellen⁷⁰

Eine Schnittstelle kann als proprietär bezeichnet werden, wenn die Datenübertragung mit einem ausschließlich für die spezifische Anwendung oder Schnittstelle verwendbarem Format möglich ist. Im Gegensatz dazu wird bei neutralen Schnittstellen ein neutrales Format verwendet, welches in der Regel von mehreren verschiedenen Applikationen verwendbar ist.⁷¹

⁶⁹ vgl. Eigner et al., 2014, S. 329f

⁷⁰ in Anlehnung an Eigner et al., 2014, S. 329

⁷¹ vgl. ebd., S. 329

Ein Datenformat „definiert die Struktur der Daten und legt fest, wie Daten beim Laden, Speichern und Verarbeiten durch Programme zu interpretieren sind“⁷². Man spricht von nativen Datenformaten, wenn das Format exklusiv in einem spezifischen System genutzt werden kann. Von einem neutralen Datenformat spricht man, wenn es keine Applikationsbindung gibt.⁷³

Im Folgenden werden einige wichtige Datenformate und Austauschstandards in der Industrie kurz beschrieben. Hierzu gehören:

- OPC UA
- STEP
- PDF

OPC UA

Einer der wichtigsten Datenaustauschstandards für Industrie 4.0, IIoT und M2M (Maschine-to-Maschine) Kommunikation ist der OPC UA Standard. OPC UA steht dabei für *Open Platforms Communication - Unified Architecture*.⁷⁴ OPC UA definiert einerseits den Datentransport zwischen Server und Client. Andererseits wird mithilfe OPC UA ein Metamodell für die Datenmodellierung festgelegt. Es wird beschrieben welche standardisierten Eintrittspunkte und Hierarchien ein System aufweisen soll. Die Kombination beider Konzepte erlaubt es so, dass OPC UA Clients auf Serverdaten zugreifen können, ohne dass das möglicherweise komplexe System verstanden werden muss.⁷⁵ Ein plattform- und betriebssystemübergreifender Datenaustausch zwischen den Produkten verschiedener Hersteller, sowie eine einfache Skalierbarkeit und Integrationsfähigkeit sind Vorteile von OPC UA.⁷⁶

STEP

STEP steht für *Standard for the Exchange of Product data*. Es handelt sich um ein neutrales Datenformat für den Austausch von Produktmodelldaten. Insbesondere STEP AP 242 wird für PDM Integration, Langzeitarchivierung und Datenaustausch in der Produktentwicklung eingesetzt.⁷⁷

PDF

PDF steht für *Portable Document Format* und ist ein weit verbreitetes Datenformat, welches die gleichzeitige Speicherung von Text, Tabellen, Bildern und Zeichnungen ermöglicht. Während PDF für Dokumentationszwecke oft genutzt wird, und für

⁷² URL: <https://www.gabler-banklexikon.de/definition/datenformat-70781/version-337240> (22.02.2022)

⁷³ vgl. Eigner et al., 2014, S. 333

⁷⁴ vgl. OPC Foundation, 2018, S. 2

⁷⁵ vgl. Mahnke et al., 2009, S. 10

⁷⁶ vgl. OPC Foundation, 2018, S. 2ff

⁷⁷ vgl. Eigner et al., 2014, S. 334

Menschen leicht lesbar ist, ist eine Weiterverarbeitung durch andere Anwendungen eher schwierig realisierbar.⁷⁸

2.1.3 Informationserstellung für Werkerführungssysteme

Im Folgenden soll erläutert werden, wie die von WFS dargestellten Informationen generiert werden können. Zuerst wird der Begriff WFS erklärt. Es wird erörtert, wie Arbeitsanweisungen designt werden, und was dessen Inhalte sein sollten. Anschließend wird auf verschiedene Ansätze zur Informationserstellung, inklusive aktueller Forschungsergebnisse eingegangen.

2.1.3.1 Werkerführungssysteme in der Montage

Ein Mitarbeiterinformationssystem, welches als Synonym für ein WIS benutzt werden kann, hat die Aufgabe Informationen „zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Form dem Mitarbeiter, assoziiert zu seiner aktuellen Tätigkeit zur Verfügung“⁷⁹ zu stellen. Ein WFS unterscheidet sich von einem WIS darin, dass ein WFS dem Werker nicht nur gewisse Informationen liefert, sondern dass es zusätzlich eine Rückkopplungsschleife zwischen Mensch und System gibt. So besteht beim WFS auch die Möglichkeit, dass zum Beispiel manuell über eine graphische Benutzeroberfläche oder automatisch mittels integrierter Sensorik, Informationen an das System zurückgesendet werden können. Dies ermöglicht eine Reduktion der kognitiven Belastung des Werkers, besonders bei großer Variantenvielfalt.⁸⁰

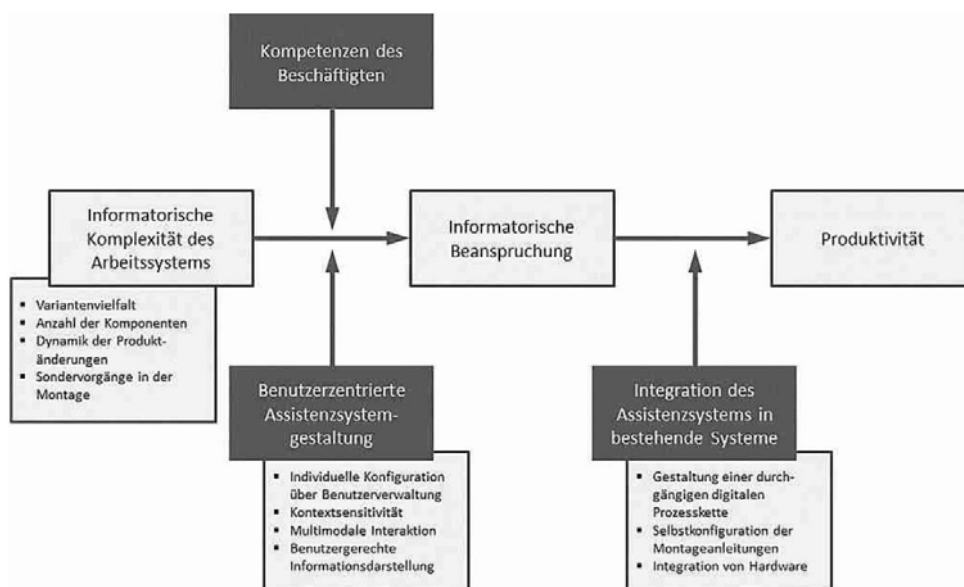


Abbildung 2-9: Gestaltung von Montagesystemen⁸¹

⁷⁸ vgl. ebd., S. 342f

⁷⁹ Lang, 2007, S. 19

⁸⁰ vgl. Reisinger et al., 2021, S. 237

⁸¹ entnommen aus Bornewasser et al., 2018, S. 272

Mit Abbildung 2-9 veranschaulichen Bornewasser et al. (2018) systematisch den Zusammenhang zwischen der Komplexität eines Montagesystems, dem Einfluss der Kompetenzen der Monteure und dem assistierenden WIS oder WFS auf die kognitive Beanspruchung während der Montage, sowie die resultierende Produktivität. Einem negativen Einfluss auf die Arbeitsproduktivität durch zunehmende Variantenvielfalt und Komplexität kann entgegengewirkt werden, indem die Kompetenzen der Werker mit dem Arbeitssystem weiterentwickelt werden. Eine ergänzende Möglichkeit besteht darin benutzerzentrierte und kontextsensitive Assistenzsysteme, wie etwa WFS, zur Entlastung einzusetzen. Ein wesentlicher Schritt zur Erhöhung der Produktivität stellt dabei auch die Integration des Assistenzsystems in die bestehende IT-Struktur des Unternehmens dar.⁸²

Lušić et al. (2016) kategorisieren WIS anhand deren Gebrauch und Anwendungsgebiet. WIS können zum Beispiel auf unterschiedliche Art und Weise mit dem Menschen kommunizieren: Darstellung der Inhalte über Bildschirme, Benutzung von AR durch eine Projektion der Information auf das zu montierende Objekt, Benützung von VR, sowie licht- oder sprachgesteuerte Informationsausgabe über sogenannte *Pick-by-light* oder *Pick-by-voice* Systeme. Des Weiteren kann zwischen einer statischen Informationsbereitstellung, durch etwa Text und Bilder, oder einer dynamischen Informationsbereitstellung, durch Animationen oder Videos, unterschieden werden. Weitere Klassifizierungsmöglichkeiten von WIS sind der Grad an Mobilität (stationär oder mobil), der Grad an Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Systems, der Zeitpunkt der Informationsbereitstellung (Synchron mit Montageprozess oder vor wertschöpfendem Prozess als Training), sowie die Bereitstellung von realen oder digitalen Informationen.⁸³

2.1.3.2 Inhalt und Design von Arbeitsanweisungen

Das Ziel eines WIS ist es den Mitarbeiter durch eine geeignete Informationsbereitstellung so zu entlasten, dass die Produktivität erhöht werden kann, Durchlaufzeiten verringert und Fehler vermieden werden können.⁸⁴ Eine effiziente Bereitstellung von Information erfolgt in der Regel mithilfe möglichst ergonomisch gestalteter Arbeitsanweisungen bzw. Montageinstruktionen. Lang (2007) unterscheidet zwischen verschiedenen Arten von Arbeitsanweisungen:⁸⁵

- Arbeitsanweisung in mündlicher Form
- Anleitung in Form von Arbeitsfolgen oder Kurztexten
- Grafische Darstellungen in Form von technischen Zeichnungen, Produktfotos, oder Prozessdiagrammen
- Videodarstellungen

⁸² vgl. ebd., S. 272f

⁸³ vgl. Lušić et al., 2016, S. 1113ff

⁸⁴ vgl. Reisinger et al., 2021, S. 237

⁸⁵ vgl. Lang, 2007, S. 41ff

- Mischformen der oben genannten Möglichkeiten

Die Erstellung und Pflege von Arbeitsanweisungen beziehungsweise der der Anweisung zugrunde liegenden Informationen ist stark von der Art der Montageinstruktion abhängig. Eine zu der obigen Aufzählung ergänzende Unterscheidung bei der Gestaltung von Montageinstruktionen wird von Bornewasser & Hinrichsen (2020) realisiert. So kann zwischen papierbasierten Instruktionen oder einer rechnergestützten Informationsaufbereitung unterschieden werden. Des Weiteren können die Instruktionen visuell, auditiv oder taktil auf verschiedenen Ausgabegeräten ausgegeben werden. Für visuelle Instruktionen können dies zum Beispiel Bildschirme, Tablets, Projektoren oder Wearables sein. Weiterhin können visuelle Instruktionen mittels verschiedener Elemente wie etwa Bildern, Piktogrammen, technischen Zeichnungen, Text, Video oder Animationen realisiert werden.⁸⁶

Bornewasser & Hinrichsen (2020) haben weiters fünf Kriterien zur Entwicklung von visuellen Montageinstruktionen identifiziert:⁸⁷

- Um den Mitarbeiter nicht mit Informationen zu überladen, sollten nur relevante Informationen angezeigt werden.
- Die Anweisung sollte möglichst aktuell sein und mit den tatsächlichen Konstruktionsdaten übereinstimmen.
- Eine möglichst einfache Identifikation und Interpretierung der bereitgestellten Informationen durch den Menschen sollte gewährleistet sein. Dies kann durch eine geeignete Strukturierung und mit der Hilfe von visuellen Darstellungen erreicht werden.
- Alle Anleitungen sollten einem standardisierten Design folgen.
- Die Montageinstruktionen sollten an den Erfahrungsgrad des Montagepersonals angepasst werden, das heißt es sollten zum Beispiel detaillierte Anweisungen zum Training von neuem Personal und übersichtliche Checklisten für erfahrene Mitarbeiter genutzt werden.

Es ist ersichtlich, dass die Erstellung und Pflege von Arbeitsanweisungen keine einfache und vor allem keine leicht skalierbare Aufgabe ist. Während es in der traditionellen Produktion, mit großen Losgrößen und einer kleinen Anzahl an Varianten, noch kosteneffektiv war einzelne Montageinstruktionen zu erstellen, ist dies in der modernen Produktion nicht mehr der Fall. Sich ständig ändernde Produktvarianten und kleine Losgrößen bewirken, dass es sich nicht mehr lohnt für jede Variante eine Anweisung zu erstellen.⁸⁸ Die so entstehende Herausforderung

⁸⁶ vgl. Bornewasser & Hinrichsen, 2020, S. 26f

⁸⁷ vgl. ebd., S. 28f

⁸⁸ vgl. Funk et al., 2018, S. 49f

wird zudem dadurch verstärkt, dass es erfahrene Autoren braucht, um Anleitungen zu gestalten, die für alle verständlich sind.⁸⁹

2.1.3.3 Ansätze zur Informationserstellung

Im Folgenden soll ein Überblick über verschiedene Möglichkeiten der Erstellung von Arbeitsanweisungen verschafft werden. Es wird zwischen:

- den klassischeren Ansätzen, wie etwa der Erstellung von papierbasierten Montageanweisungen;
- Ansätzen, welche in die unternehmerische IT- und Informationsstruktur integriert sind;
- und Ansätzen, welche versuchen voll- oder teilautomatisiert Montageanweisungen zu generieren, unterschieden.

Klassische Ansätze zur Erstellung von Arbeitsanweisungen

Herkömmlicherweise wird eine papierbasierte Dokumentation für Arbeitsanweisungen eingesetzt.^{90, 91} Zur Erstellung dieser werden oft gängige Office Anwendungen benutzt. Diese haben den Vorteil, dass sie in der Regel einfach bedienbar und den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen bekannt sind. Die Office Anwendungen können normalerweise jedoch nicht oder nur sehr schlecht mit PLM Anwendungen kombiniert werden. Besonders wegen der steigenden Komplexität der modernen Montage gehen mit der Benutzung einer papierbasierten Werkerführung einige Nachteile einher:⁹²

- Aufwändige Erstellung und Handhabung
- Informationsüberfluss durch fehlende arbeitsplatzbezogene Informationsdarstellung und dementsprechend hohe kognitive Belastung des Menschen
- Aufwändiger Änderungsprozess
- Schwierige Fehlerrückverfolgung aufgrund fehlender digitaler Qualitätsdaten

Aufgrund dieser Probleme werden in der modernen Montage mehr und mehr digitale Arbeitsanweisungen verwendet. Des Weiteren wird versucht die, der Erstellung und Pflege von Arbeitsanweisungen zugrunde liegenden Prozesse durch eine durchgängige Integration in die bestehende Systemlandschaft zu vereinfachen.⁹³

⁸⁹ vgl. Lang, 2007, S. 45

⁹⁰ vgl. Franke & Risch, 2009, S. 822

⁹¹ vgl. Servan et al., 2012, S. 25

⁹² vgl. Franke & Risch, 2009, S. 822f

⁹³ vgl. ebd., S. 823

Integrierte Ansätze zur Erstellung

Wie bereits in Abbildung 2-9 dargestellt, ist die Integration eines montageunterstützenden Assistenzsystems in bestehende Systeme von zentraler Bedeutung. Eine Anbindung des WFS an ein bestehendes ERP-System erlaubt eine vereinfachte Bereitstellung und Rückmeldung von Auftragsdaten. Durch eine Schnittstelle mit einem PLM-System kann eine dynamische Generierung von Montageinformationen sowie ein leichtes Änderungsmanagement gewährleistet werden.⁹⁴

In die PLM Umgebung integrierte Systeme zur Generierung von Prozessplänen sind auch als CAP (siehe Kapitel 2.1.2.1) oder *Computer-Aided Process Planning* (CAPP) Systeme bekannt.⁹⁵ Unter CAP versteht man die, auf Konstruktionsdaten aufbauende, rechnerunterstützte Planung von Daten, welche zur Erzeugung für Fertigungs- und Montageanweisungen benötigt werden. Hierzu gehören die Festlegung von Arbeitssequenzen und -zeiten, sowie die Auswahl von Betriebsmitteln und die Erstellung zu deren Steuerung benötigten Daten.⁹⁶

Beispiele für integrierte Systeme sind *Windchill MPMLink* von *PTC* oder *Teamcenter EWI* von *Siemens*. Dank der Integration mit ihrem respektiven PLM-System (Windchill für MPMLink und Teamcenter für EWI) kann während der Erstellung der Arbeitsanweisungen direkt auf CAD-Daten, eBOM und weitere Produktdaten zugegriffen werden. Beide Systeme erlauben die Erstellung einer mBOM und Prozessplänen (*Bill of Process* für *Siemens Teamcenter*). Auch die Übertragung und Darstellung der erstellten Anweisungen in MES und WFS wird mithilfe dieser Systeme ermöglicht.^{97, 98}

Ansätze zur automatisierten Erstellung

Im Vergleich zu den klassischen Ansätzen bringen die integrierten Möglichkeiten bereits viele Vorteile mit. Aktuelle Forschung beschäftigt sich jedoch auch damit, wie verschiedene Aufgaben bei der Erstellung automatisiert werden können. Insbesondere wegen der hohen Komplexität und Variantenvielfalt in der Montage bieten solche Ansätze viel Raum für Verbesserungen und Zeitersparnisse. Reisinger et al. (2021) haben drei Bereiche identifiziert, bei denen eine Automatisierung von Vorteil sein kann:

- die Automatisierung der Planung der Montagesequenz,
- die Automatisierung der Erstellung von Anweisungsinformationen,

⁹⁴ vgl. Bornewasser, 2018, s. 274

⁹⁵ vgl. Stark, 2020, s. 249

⁹⁶ vgl. Wiendahl, 2019, S. 61f

⁹⁷ vgl. URL: https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center/Ex_pMPM_AboutMPMLink.html (08.03.2022)

⁹⁸ vgl. Siemens PLM Software, 2016

- sowie die automatisierte Übertragung von erstellten Informationen an Zielsysteme.

Es wurde ein Konzept und ein Prototyp entwickelt, welche eine Automatisierung in ebenjenen Bereichen ermöglichen. Die Montagesequenzplanung wird durch einen fallbasierten Algorithmus unterstützt. Eine einfache Informationserstellung soll durch die Integration mit ERP und PLM ermöglicht werden.⁹⁹ Die Funktionsweise dieses Prototyps wird genauer in Kapitel 5.2.3 beschrieben.

2.2 Requirements Engineering

Unter dem Begriff *Requirements Engineering* (RE) versteht man einen interdisziplinären Ansatz um Anforderungen, welche an ein System, eine Software oder einen Service gestellt werden, zu ermitteln und zu pflegen. Hierbei steht besonders die Mediation zwischen den Bereichen des Kunden und des Lieferanten des Systems im Vordergrund.¹⁰⁰ Pohl & Rupp (2015) definieren eine Anforderung als „eine Bedingung oder Fähigkeit, die von einem Benutzer (Person oder System) zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Ziels benötigt wird“¹⁰¹ oder als eine „dokumentierte Repräsentation einer Bedingung oder Eigenschaft“¹⁰². Der Begriff RE kann ins Deutsche als Anforderungsmanagement übersetzt werden. Dies kann jedoch irreführend sein, da die Disziplin RE in der Regel nicht nur das Management von Anforderungen, sondern auch andere Bereiche wie etwa Ermittlung oder Analyse von Anforderungen beinhaltet. Im Rahmen dieser Arbeit soll jedoch Anforderungsmanagement mit RE gleichgestellt werden. Beim RE spielen die Stakeholder eines Systems eine zentrale Rolle. Die ISO 29148 definiert einen Stakeholder als eine individuelle Person oder Organisation, welche Teil des Systems ist oder Interesse an diesem und seinen Charakteristiken hat. Stakeholder können zum Beispiel Endnutzer, Entwickler, Operateure, Zulieferer oder Kunden eines Systems sein.¹⁰³ In Abbildung 2-10 sind die vier Haupttätigkeiten des RE dargestellt: Ermitteln, Dokumentieren, Prüfen und Abstimmen, sowie Verwalten von Anforderungen.¹⁰⁴

Im Rahmen dieses theoretischen Kapitels sollen verschiedene Aspekte des RE präzisiert werden. Zuerst werden verschiedene Vorgehensweisen für die Systementwicklung vorgestellt. Anschließend werden die Charakteristiken von Anforderungen erläutert. Das letzte Subkapitel befasst sich mit Werkzeugen des RE.

⁹⁹ vgl. Reisinger et al., 2021, S. 238ff

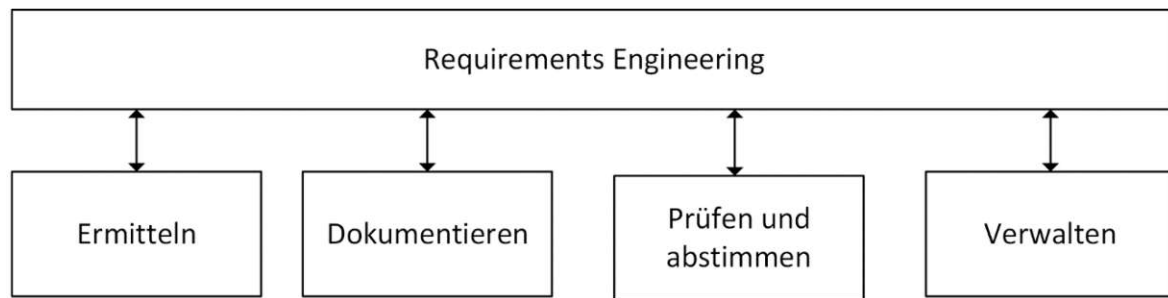
¹⁰⁰ vgl. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018, S. 5

¹⁰¹ Pohl & Rupp, 2015, S. 3

¹⁰² ebd., S. 3

¹⁰³ vgl. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018, S. 6

¹⁰⁴ vgl. Rupp & SOPHIST GmbH, 2014, S. 14

Abbildung 2-10: Haupttätigkeiten des RE¹⁰⁵

2.2.1 Vorgehensweisen des Requirements Engineering

Im Folgenden sollen verschiedene Vorgehensweisen des RE genauer erläutert werden. Zuerst werden die Begriffe Lasten- und Pflichtenheft genauer erklärt. Anschließend wird die Erstellung einer *Stakeholder Requirements Definition* und einer *System Requirements Definition* mittels ISO/IEC/IEEE 29148:2018 beschrieben. Zuletzt wird die Systementwicklung mittels V-Modell erklärt.

2.2.1.1 Lasten- und Pflichtenheft

Während des Durchführens eines klassischen RE-Projekts kommt es zur Erstellung von zumindest einem Lasten- sowie zugehörigen Pflichtenheft. Lastenhefte, welche in verschiedenen Phasen und Ebenen des RE-Prozesses (siehe 2.2.1.3 V-Modell) zur Dokumentation von Anforderungen benutzt werden, bilden den Ausgangspunkt für die Systementwicklung.¹⁰⁶ VDI 2519 definiert ein Lastenheft als die „Zusammenstellung aller Anforderungen des Auftraggebers hinsichtlich Liefer- und Leistungsumfang“. ¹⁰⁷ Wichtig dabei ist, dass im Lastenheft festgehalten wird was und wofür zu lösen ist und dieses somit als Angebots- und Vertragsgrundlage benutzt werden kann. Im Pflichtenheft wird hingegen das wie und womit der Realisierung der im Lastenheft festgehaltenen Anforderungen, und somit auch die Vorgehensweise beim weiteren Projektverlauf, beschrieben. Während das Lastenheft in der Regel vom Auftraggeber erstellt wird, wird das Pflichtenheft vom Auftragnehmer realisiert.¹⁰⁸ Folgende Inhaltspunkte sind in VDI 2519 für ein Lasten- bzw. das zugehörige Pflichtenheft festgelegt:¹⁰⁹

- Projekteinführung
- IST-Zustand
- SOLL-Zustand
- Schnittstellen

¹⁰⁵ in Anlehnung an ebd., S. 14

¹⁰⁶ vgl. Eigner et al., 2014, S. 55

¹⁰⁷ VDI 2519 Blatt 1, 2001, S. 2

¹⁰⁸ vgl. ebd., S. 2f

¹⁰⁹ vgl. ebd., S. 4

- Anforderungen an Systemtechnik, Inbetriebnahme, Qualität und Projektabwicklung

2.2.1.2 ISO 29148¹¹⁰

Die ISO 29148¹¹¹ stellt ein Referenzdokument dar, welches den Benutzer bei der Entwicklung und Auslegung von Systemen, von Dienstleistungen, von Soft- aber auch von Hardwareprodukten unterstützen soll. Das Dokument präzisiert die durchzuführenden, notwendigen Prozesse, um die Anforderungen an ein System während dessen gesamten Lebenszyklus zu ermitteln. Des Weiteren werden die aus diesen Prozessen resultierenden Informationsgegenstände mitsamt Richtlinien zu deren Inhalt und Formatierung aufgeführt. Die drei Hauptprozesse, welche in der ISO 29148 spezifiziert werden, sind:

- die *Business or Mission Analysis* (BMA);
- der *Stakeholder Needs and Requirements Definition Process* (StRD);
- und der *System Requirements Definition Process* (SyRD).

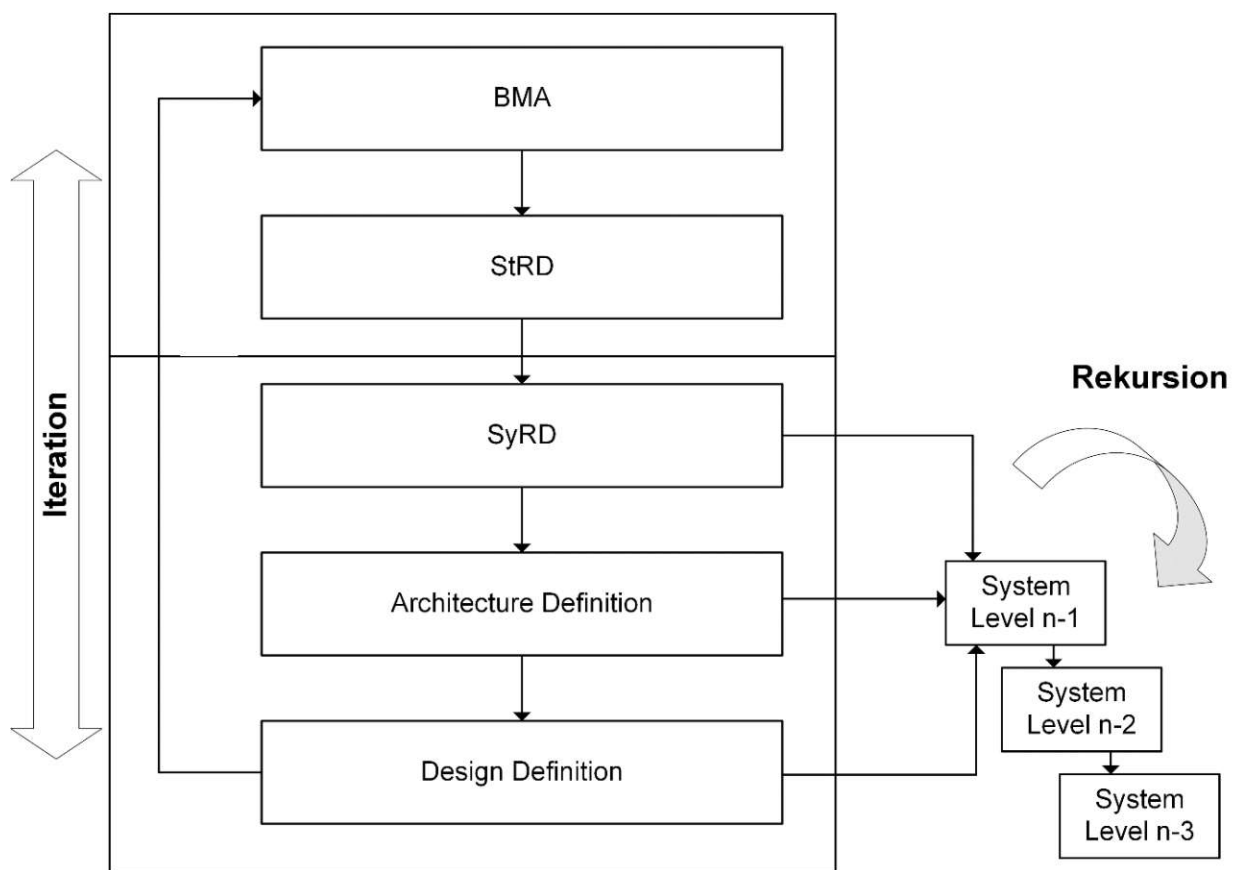


Abbildung 2-11: Iteration und Rekursion in ISO 29148¹¹²

¹¹⁰ vgl. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018

¹¹¹ Der offizielle Name dieses Standards lautet ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Um eine einfache Lesbarkeit zu gewährleisten, wird in diesem Dokument nur ISO 29148 benutzt.

¹¹² in Anlehnung an ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018, S.17

Im Rahmen der Vorgehensweise nach ISO 29148 sind die drei Phasen nacheinander zu durchlaufen, wobei es hierbei sowohl zur Iteration als auch zur Rekursion kommen kann. Man spricht von einem iterativen Vorgehen, wenn der gleiche Prozess oder der gleiche Satz an Prozessen auf dem gleichen Systemlevel wiederholt wird. Von Rekursion wird gesprochen, wenn Prozesse auf mehreren aufeinanderfolgenden Ebenen des Systems wiederholt werden. Der Ablauf der drei Hauptprozesse sowie die Prinzipien der Iteration und Rekursion sind in Abbildung 2-11 dargestellt.

Business or Mission Analysis

Das Ziel der BMA ist die Eruierung eines spezifischen Problems oder einer spezifischen Möglichkeit, sowie die Charakterisierung deren Lösungsraums. Als Resultat der BMA soll das zu behandelnde Problem klar definiert sein.

Stakeholder Needs and Requirements Definition

Das Ziel der StRD ist das Festhalten aller Anforderungen verschiedener Stakeholder an ein System. Der erste Schritt hierzu ist die Identifikation aller Stakeholder und die Ausarbeitung einer Strategie zur Aufnahme der Bedürfnisse dieser. Zur erfolgreichen Aufnahme der Stakeholderbedürfnisse ist es notwendig zuerst alle Phasen des Lebenszyklus des Systems zu identifizieren und dann Stakeholder zu finden, welche Interesse am System durch seinen gesamten Lebenszyklus haben. Der nächste Schritt besteht in der Aufnahme der Bedürfnisse der Stakeholder. Hierfür können verschiedene Methoden benutzt werden, wie etwa Workshops, Interviews, Fragebögen, Auswertung von technischer Dokumentation, Beobachtungen von Arbeitsvorgängen, Simulationen oder Prototyping. Nach der erfolgten Aufnahme der Bedürfnisse müssen diese in konkrete Anforderungen umgewandelt werden. Eine genauere Beschreibung der Umwandlung von Bedürfnissen in Anforderungen und deren Charakteristiken erfolgt in Kapitel 3.2. Anschließend sollen die Anforderungen priorisiert werden und kritische Leistungskennzahlen festgelegt werden, um die zukünftige Erfüllung der Anforderungen beurteilen zu können. Eines der wichtigsten Resultate der StRD ist die Erstellung der *Stakeholder Requirements Specification*, welche im deutschen Sprachgebrauch mit einem Lastenheft gleichgesetzt werden kann.

System Requirements Definition

Der nächste Schritt in der Gestaltung eines Systems oder einer Software ist es die während der StRD nutzerdefinierten Eigenschaften in technische Lösungen umzuwandeln. Während des Prozesses soll definiert werden, aus der Sicht des Zulieferers, welche Charakteristiken, Attribute sowie funktionale und leistungstechnische Anforderungen das System erfüllen muss, um den Anforderungen der Stakeholder gerecht zu werden. Hierfür soll zuerst jede Funktion,

verschiedene Operationsmodi, Risiko- oder Qualitätsfaktoren sowie eventuelle technische Begrenzungen des zu implementierenden Systems festgelegt werden. Danach sollen die Systemanforderungen präzisiert werden. Hier inkludiert sein sollten Anforderungen an Datenelemente, Datenstrukturen und -formate sowie Anforderungen an die Datenbank. Des Weiteren sollten Anforderungen an das *User Interface*, Schnittstellen mit anderen Systemen und Anforderungen bezüglich Dokumentation und Training dokumentiert werden. Weitere wichtige Aspekte beinhalten Anforderungen an Qualität und Kosten, Anforderungen bezüglich Datenmigration und Produktakzeptanz sowie Verifikationsmöglichkeiten. Abschließend sollten die Anforderungen gemeinsam mit den Stakeholdern überprüft und eventuelle Probleme oder Konflikte aufgelöst werden. Das Resultat des SyRD sollte nun eine *System Requirements Specification* oder Pflichtenheft sein.

2.2.1.3 V-Modell

Die Grundidee des V-Modells ist die Bereitstellung eines Rahmenwerkes für eine logische Vorgehensweise bei der Produktentwicklung. Kennzeichnend ist die V-Form des Modells (Abb. 2-12), wobei der linke Schenkel die Dekomposition des Systems in einzelne Elemente, und der rechte Schenkel die graduelle Integration des Systems darstellt. Zwischen beiden Schenkeln kommt es zur Verifikation und Validierung des Systems.¹¹³ Bei der Verifikation wird üblicherweise überprüft, ob der entwickelte Lösungsansatz mit den in der Spezifikation festgehaltenen Anforderungen übereinstimmt. Es wird also kontrolliert, ob das Produkt richtig gebaut wurde. Die Validierung erfolgt in der Regel nicht gegenüber einer konkreten Spezifikation, sondern es wird überprüft, ob das gebaute Produkt tatsächlich das richtige ist.¹¹⁴

Das erstmalig von Bröhl & Dröschel (1995) vorgestellte V-Modell wurde mehrmals weiterentwickelt.¹¹⁵ Ein Beispiel hierfür ist das in Abbildung 2-12 weiterentwickelte V-Modell für die Entwicklung cyber-physischer mechatronischer Systeme. Das V-Modell schlägt das Durchlaufen mehrerer Kernaufgaben vor, welche mit Kontrollpunkten voneinander getrennt sind. Diese sollen dem Anwender des Modells die einfache Feststellung des Reifegrades des Projektes erlauben. Typische Kernaufgaben des V-Modells sind:¹¹⁶

- die Anforderungserhebung auf Basis der Wünsche und Bedürfnisse der Stakeholder um zuerst Kundenanforderungen und anschließend die Systemanforderungen mittels Spezifikation dokumentieren zu können,
- die Entwicklung einer Systemarchitektur,
- die Implementierung der vorher definierten Systemelemente,

¹¹³ vgl. VDI 2206, S. 10ff

¹¹⁴ vgl. Höhn & Höppner, 2008, S. 575

¹¹⁵ vgl. Bröhl & Dröschel, 1995

¹¹⁶ vgl. VDI 2206, S. 12ff

- die Systemintegration mittels Zusammenführung aller Subsysteme zum Gesamtsystem und Verifikation mit vorher erstellten Spezifikationen, sowie
- die Validierung der Umsetzung mit den Stakeholdern sowie anschließende Übergabe.

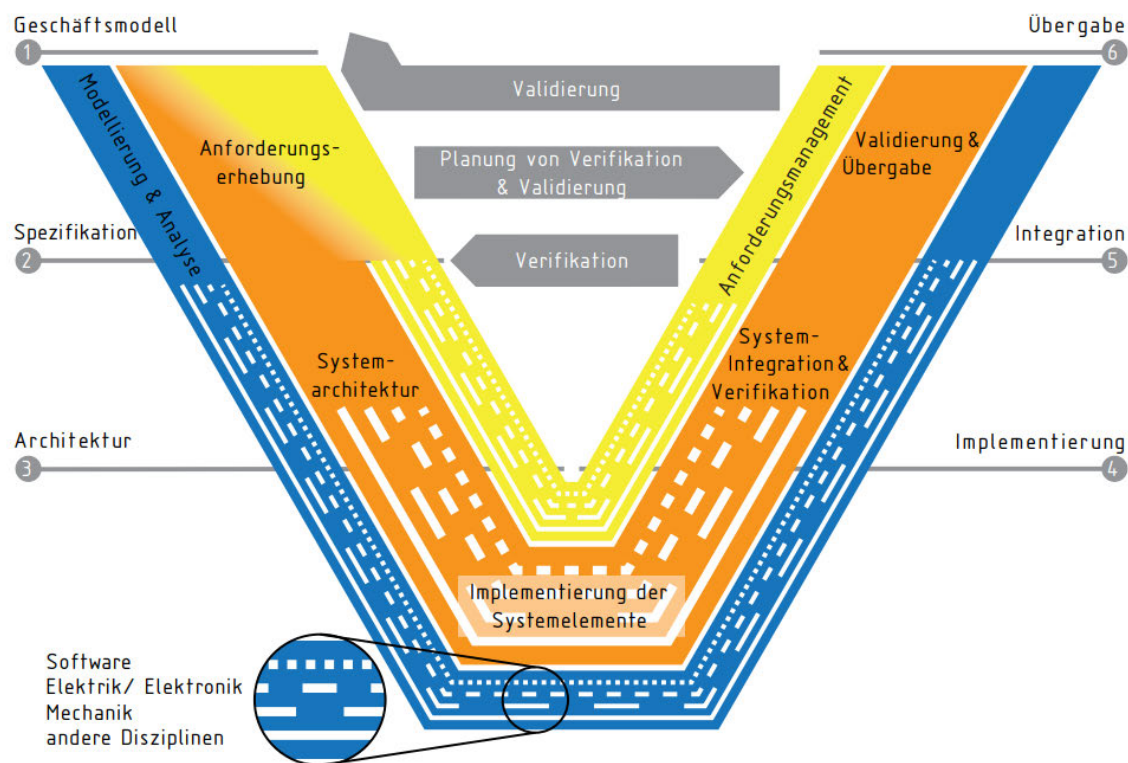


Abbildung 2-12: V-Modell für mechatronische Systeme¹¹⁷

Andere Formen des V-Modells, welche üblicherweise zur System- und Softwareentwicklung eingesetzt werden sind das MVPE-Vorgehensmodell oder das V-Modell XT. Das MVPE-Modell, wobei MVPE für modellbasierte virtuelle Produktentwicklung steht, befasst sich mit der Integration des V-Modells in das PLM.¹¹⁸ Das XT beim V-Modell XT steht für *eXtreme Tailoring*. Das weiterentwickelte V-Modell XT zeigt eine bessere Skalierbarkeit und projektspezifische Anpassungsfähigkeit.¹¹⁹

2.2.2 Charakteristiken von Anforderungen

Die ISO 29148 gibt die Charakteristiken für Anforderungen sowie Anforderungsspezifikationen an, welche bei der Aufnahme und Formulierung zu berücksichtigen sind. Folgende Kriterien für einzelne Anforderungen wurden definiert:¹²⁰

¹¹⁷ übernommen aus VDI 2206, S. 12

¹¹⁸ vgl. Eigner et al., 2014, S. 88

¹¹⁹ vgl. Höhn & Höppner, S. 580

¹²⁰ vgl. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018, S. 12f

- Notwendig (*Necessary*): Die Anforderung beschreibt eine unverzichtbare Funktion, ohne die ein System nur unzulänglich ausführbar ist.
- Zweckdienlich (*Appropriate*): Der Detaillierungsgrad der Anforderung ist nur so genau wie notwendig. Es sollte keine unnötigen Einschränkungen für die Systemarchitektur und das Systemdesign geben.
- Unmissverständlich/Eindeutig (*Unambiguous*): Die Anforderung sollte so formuliert sein, dass es nur eine mögliche Interpretation gibt.
- Vollständig (*Complete*): Die Anforderung sollte die nötige Funktion oder Charakteristik des Systems ausreichend beschreiben, so dass keine weiteren Informationen bezüglich dieser notwendig sind.
- Atomar (Singular): Nur eine einzelne Funktion oder Qualität eines Systems sollte von der Anforderung beschrieben werden.
- Realisierbar (*Feasible*): Es sollte möglich sein, die Anforderung unter Berücksichtigung von Zeit, technischer Machbarkeit, Kosten und Risiko durchzuführen.
- Prüfbar (*Verifiable*): Die Anforderung sollte so formuliert sein, dass es möglich ist zu überprüfen, ob sie erfüllt wurde.
- Korrekt (*Correct*): Die Anforderung sollte die Bedürfnisse der Stakeholder möglichst genau widerspiegeln.
- Normgerecht (*Conforming*): Die Anforderung sollte, wenn möglich, nach einer gewissen standardisierten Vorlage oder Schablone erstellt worden sein.

Folgende Kriterien für die Anforderungsspezifikation wurden definiert:¹²¹

- Vollständig (*Complete*)
- Konsistent (*Consistent*)
- Realisierbar (*Feasible*)
- Verständlich (*Comprehensible*)
- Validierbar (*able to be validated*)

Die in diesem Kapitel besprochenen Inhalte bezüglich Assistenzsystemen und RE sollen dem Leser als Grundlage für das Verständnis der im weiteren Verlauf dieser Diplomarbeit dargelegten Thematik dienen. Es wurde präzisiert, was Assistenzsysteme sind, und was ihr Zusammenhang zu CPPS ist. Üblicherweise eingesetzte industrielle Informationssysteme, wie etwa ERP, MES, PLM und CAX-Systeme wurden besprochen. Es wurde zudem auf die Vernetzung dieser Systeme untereinander sowie auf die Vernetzung smarter *Things* auf dem Shopfloor mittels IIoT eingegangen. Außerdem wurde der Begriff WFS sowie Methoden der Informationserstellung für WFS erklärt. Des Weiteren wurde sich mit RE auseinandergesetzt und einige Vorgehensweisen des RE präsentiert. Die Inhalte

¹²¹ vgl. ebd., S. 12

dieses Kapitels, insbesondere die Vorgehensweisen des RE werden zur Modellbildung in Kapitel 4 eingesetzt. Für diese Modellbildung fehlt noch das Verständnis geeigneter Methoden und Werkzeuge zur Anforderungsaufnahme. Auf Grund dessen werden im nächsten Kapitel einige Methoden und Werkzeuge des RE genauer erläutert.

3 Ausgewählte Methoden des Requirements Engineering

Auf den folgenden Seiten werden verschiedene Methoden und Werkzeuge des RE genauer beschrieben. Zu den beschriebenen Werkzeugen gehören die Use Scenario Methode, Datenflussdiagramme, BPMN und die Prozessanalyse, SWOT-Analysen sowie das Kano-Modell und die -auswertung.

3.1 Use Scenario

Das Instrument des *Use Scenarios* stellt eine strukturierte Möglichkeit dar, um Anforderungen aufzunehmen und zu diskutieren. Ein Vorteil der Vorgehensweise ist es, dass es den Stakeholdern und Benutzern eines Systems erlaubt sich auf produktive Art und Weise über die Anforderungen an das System Gedanken zu machen, indem Basisregeln festgelegt und Rahmenbedingungen geschaffen werden.¹²² Die Herangehensweise bei *Use Scenarios* ist sehr ähnlich zu Methoden, welche im agilen Umfeld benutzt werden, wie etwa *Use-Cases* oder *User Storys*: Die Funktionalitäten eines Systems sollen aus Benutzersicht abgebildet werden, sowie eine Übersicht über das System geschaffen werden.¹²³

Unter einem Szenario ist die sequenzielle Abfolge von Status über die Zeit zu verstehen. Hierbei kann das Szenario auch als eine hierarchische Aufteilung von zu erreichenden Zielen angesehen werden.¹²⁴ Abbildung 3-1 zeigt einen möglichen Aufbau eines *Use Scenarios*.

Folgende Schritte sollten zur Erstellung eines *Use Scenario* Diagramms durchgeführt werden:¹²⁵

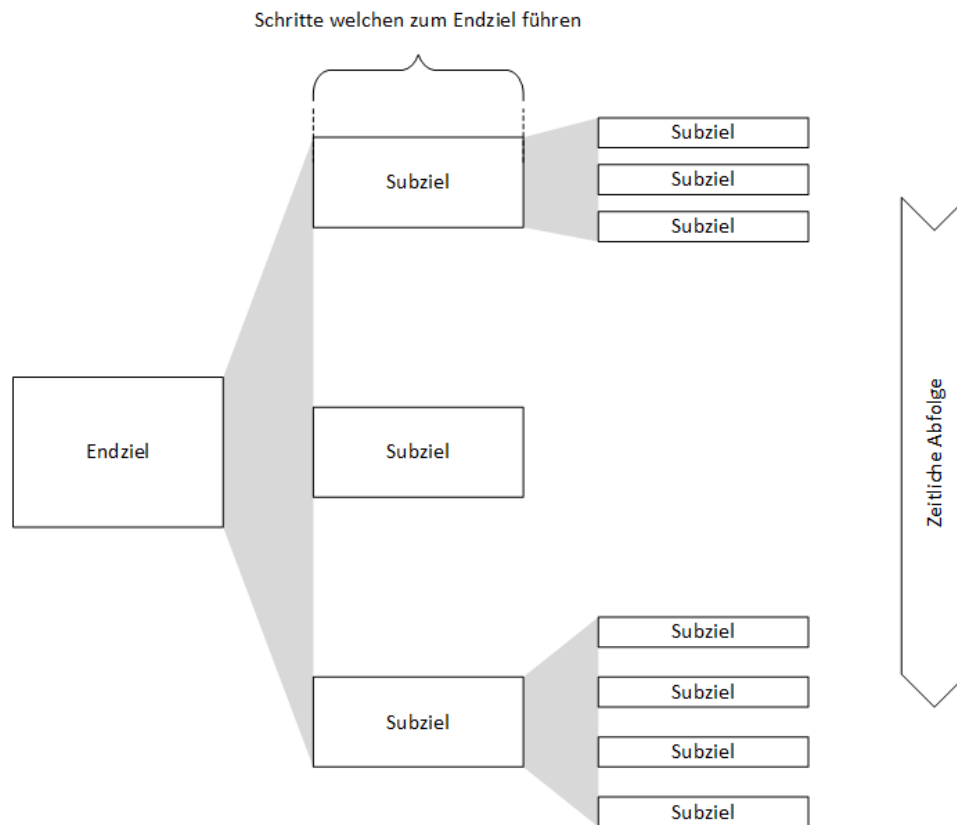
- Definierung eines Endziels
- Ableitung von nötigen Schritten, um das Endziel zu erreichen, wobei große Schritte in mehrere kleine unterteilt werden können
- Beachtung des hierarchischen Aufbaus
- Es sollte vermieden werden Lösungen zu definieren

¹²² vgl. Dick et al., 2017, S.118f

¹²³ vgl. Rupp & SOPHIST GmbH, 2014, S. 252

¹²⁴ vgl. Dick et al., 2017, S. 119

¹²⁵ vgl. ebd., S. 120

Abbildung 3-1: Beispiel eines Use Scenarios¹²⁶

3.2 Datenflussdiagramm

Datenflussdiagramme (DFD) werden zur einfachen, graphischen Darstellung eines Systems genutzt.¹²⁷ DeMarco (1978) definiert ein DFD als eine netzwerkartige Repräsentation eines Systems, wobei das System hierbei in seine einzelnen Komponenten zerlegt wird und die Schnittstellen zwischen diesen angegeben werden. Im Gegensatz zu klassischeren Flowchartmethoden (wie etwa BPMN), welche den Kontrollfluss aufzeigen sollen, besteht der Sinn eines DFD darin eine Situation aus der Datensicht darzustellen. Ein DFD besteht in der Regel aus den in Abbildung 3-2 dargestellten vier Elementen: Datenflüsse, Prozesse, Datenspeicher sowie externe Datenquellen.¹²⁸ Hierbei werden die Datenflüsse als Pfeile dargestellt, die Prozesse als Kreise, die Datenspeicher als horizontale parallele Linien und Datenquellen als Rechtecke.¹²⁹

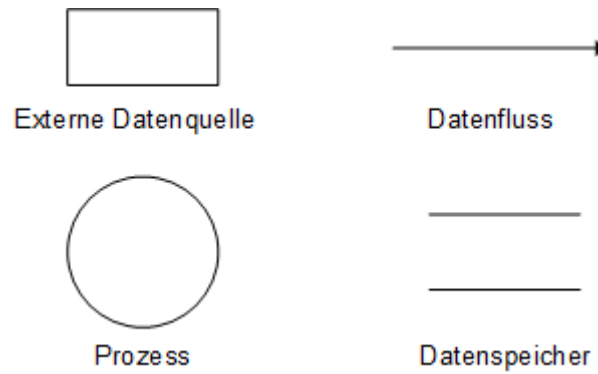
Ein Datenfluss kann als Darstellung einer Schnittstelle zwischen verschiedenen Komponenten eines Systems betrachtet werden. Durch den Datenfluss werden Informationen transportiert.

¹²⁶ in Anlehnung an ebd., S.119

¹²⁷ vgl. ebd., S. 58

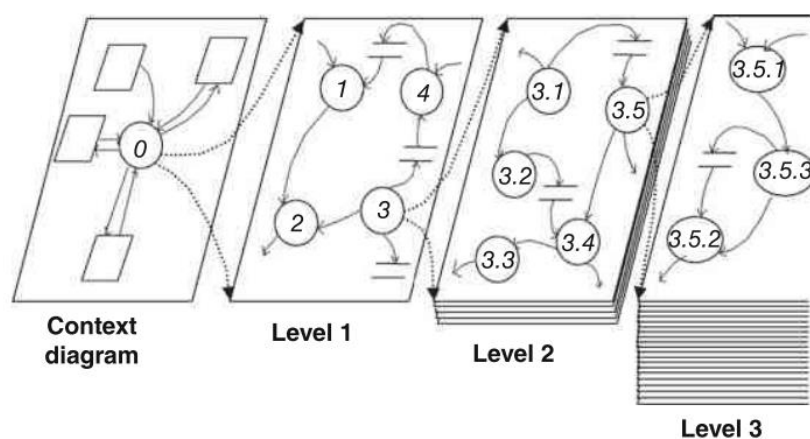
¹²⁸ vgl. DeMarco, 1978, S. 47ff

¹²⁹ vgl. Dick et al., 2017, s. 59

Abbildung 3-2: Elemente eines DFD¹³⁰

Prozesse stellen die Transformation von eingehenden Datenflüssen in ausgehende Datenflüsse dar. Datenspeicher sind temporäre Aufbewahrungsorte von Daten. Eine Datenquelle wird im Kontext des DFD immer als extern angesehen, das heißt sie liegt außerhalb des Systemkontextes. Des Weiteren ist die Quelle, welche sowohl eine Person, eine Organisation als auch ein anderes System sein kann, Nettoerzeuger oder -empfänger der Systemdaten.¹³¹

Zur Darstellung eines Systems kann das DFD aus Übersichtlichkeits- und Lesbarkeitsgründen auf mehrere Level aufgeteilt werden. Hier wird eine Top-Down Hierarchie verfolgt. Das oberste Diagramm sollte ein sogenanntes Kontextdiagramm sein und nur den Nettoinput und -output des Systems zeigen. Das Kontextdiagramm ist sehr ähnlich zum UML Use Case Diagramm, in beiden Diagrammen wird die Systemabgrenzung dargestellt. Danach können einzelne Prozesse sukzessiv auf weitere Diagramme aufgeteilt werden, bis der gewünschte Detaillierungsgrad erreicht ist.¹³² Abbildung 3-3 zeigt wie solch eine hierarchische Aufteilung aussehen kann.

Abbildung 3-3: Hierarchische Aufteilung eines Systems mittels DFD¹³³

¹³⁰ in Anlehnung an DeMarco, 1978, S. 51ff

¹³¹ vgl. ebd., S. 52ff

¹³² vgl. DeMarco, 1978, S. 71ff

¹³³ übernommen aus Dick et al., 2017, S. 60

3.3 BPMN und Prozessanalyse

3.3.1 BPMN

In einem prozessorientierten Unternehmen wird mittels effektivem Prozessmanagement versucht die Komplexität von Prozessen zu reduzieren.¹³⁴ Unter einem Prozess versteht man hierbei einen „Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Tätigkeiten, der Eingaben zum Erzielen eines vorgesehenen Ergebnisses verwendet“.¹³⁵ Das Management von Prozessen umfasst, nach den vier Phasen des Deming-Zyklus, das Planen, Durchführen, Kontrollieren und Verbessern von Prozessen. Abbildung 3-4 veranschaulicht ebenjenen Kreislauf zur Weiterentwicklung von Prozessen.¹³⁶

Zur Darstellung von Prozessen werden verschiedene Visualisierungsformen genutzt, wie etwa Flussdiagramme, Swimlane-Darstellungen, die ereignisgesteuerte Prozesskette oder *Business Process Model and Notation* (BPMN). Auf letztere soll im Folgenden genauer eingegangen werden.¹³⁷

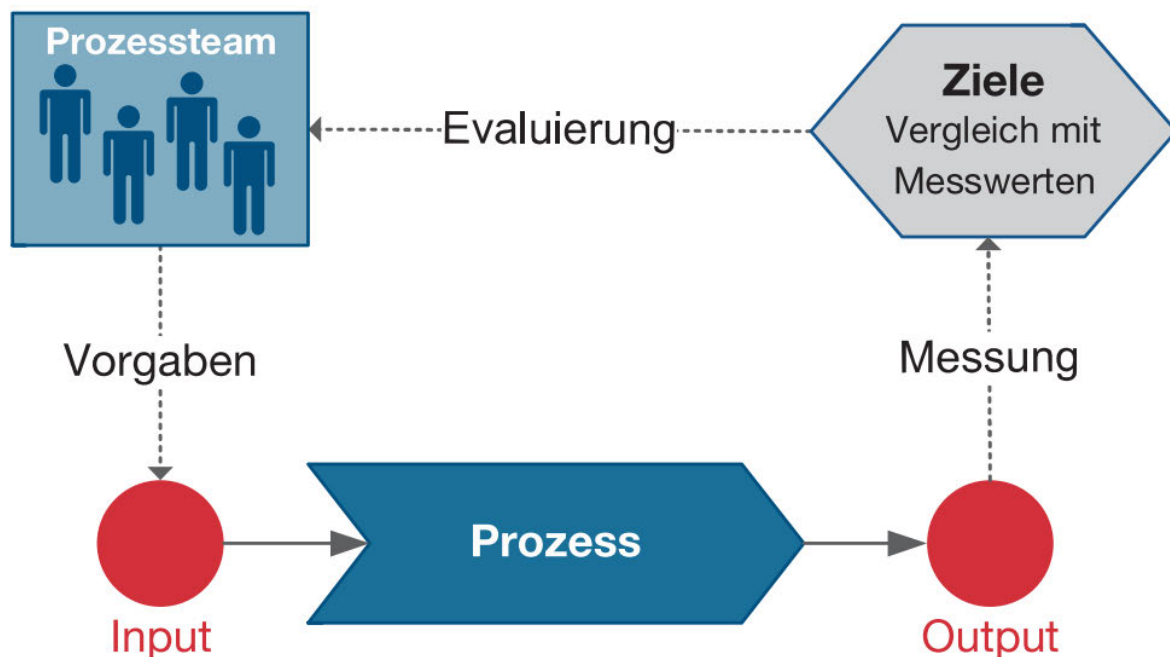


Abbildung 3-4: Prozessmanagement¹³⁸

Die *Object Management Group* (OMG) hat die BPMN Sprache entwickelt mit dem Ziel eine Darstellungsart für Prozesse bereitzustellen, welche für alle Prozessbeteiligte einfach verständlich ist. Zu diesen gehören sowohl Analysten,

¹³⁴ vgl. Wagner & Patzak, 2020, S. 21

¹³⁵ DIN EN ISO 9000, 2015, S. 33

¹³⁶ vgl. Wagner & Patzak, 2020, S. 35

¹³⁷ vgl. ebd., S. 105

¹³⁸ übernommen aus ebd., S. 36

welche erste Entwürfe des Prozesses kreieren, technische Entwickler, welche die Technologie entwerfen um die Prozesse zu realisieren, als auch die Verantwortlichen für das spätere Management und Überwachung der Prozesse.¹³⁹

Abbildung 3-5 zeigt die wichtigsten Symbole zur Modellierung mit BPMN. Die Symbole können in Aktivitäten (*Activities*), Abläufe (*Flows*), Datenobjekte (*Data Objects*), *Gateways* und *Events* unterteilt werden. Eine Aktivität ist ein generischer Term für eine Tätigkeit, die ausgeführt wird. Es gibt verschiedene Arten von Symbolen für verschiedene Arten von ausgeführten Tätigkeiten. Des Weiteren existiert auch die *Sub-Process* Aktivität, sie zeigt an, dass hier mehrere Prozessschritte durchgeführt werden, welche aber nicht angezeigt sind. In die Gruppe der *Flows* fallen *Sequence Flows*, welche benutzt werden, um die Reihenfolge der Aktivitäten und Events anzuzeigen, *Message Flows*, welche benutzt werden, um den Nachrichtenfluss zwischen verschiedenen Prozessteilnehmern aufzuzeigen, sowie *Associations*, welche den Informations- und Datenfluss wiedergeben. Datenobjekte bringen Aufschluss darüber, welche Aktivitäten noch durchgeführt werden müssen und darüber was diese benötigen beziehungsweise produzieren. *Gateways* werden benutzt, um Abweichungen und Zusammentreffen von *Sequence Flows* zu modellieren. Die Markierungen in dem Symbol geben an, ob es sich um exklusive, inklusive oder parallel zu durchlaufende Abläufe handelt. *Events* kennzeichnen ein Ereignis innerhalb eines Prozesses und haben in der Regel einen Auslöser sowie ein klares Resultat. Man unterscheidet zwischen Start-, Zwischen- und Endevent.¹⁴⁰

3.3.2 Qualitative Prozessanalyse

Bei der qualitativen Prozessanalyse werden Prozesse „die Qualität betreffend“¹⁴¹ untersucht. Es existieren eine Vielzahl an Techniken und Methoden, um Prozesse qualitativ zu bewerten. Im Folgenden werden zwei Werkzeuge vorgestellt, welche darauf fokussieren die Schwachstellen von Prozessen zu identifizieren: die SWOT-Analyse und die das Ishikawa-Diagramm.

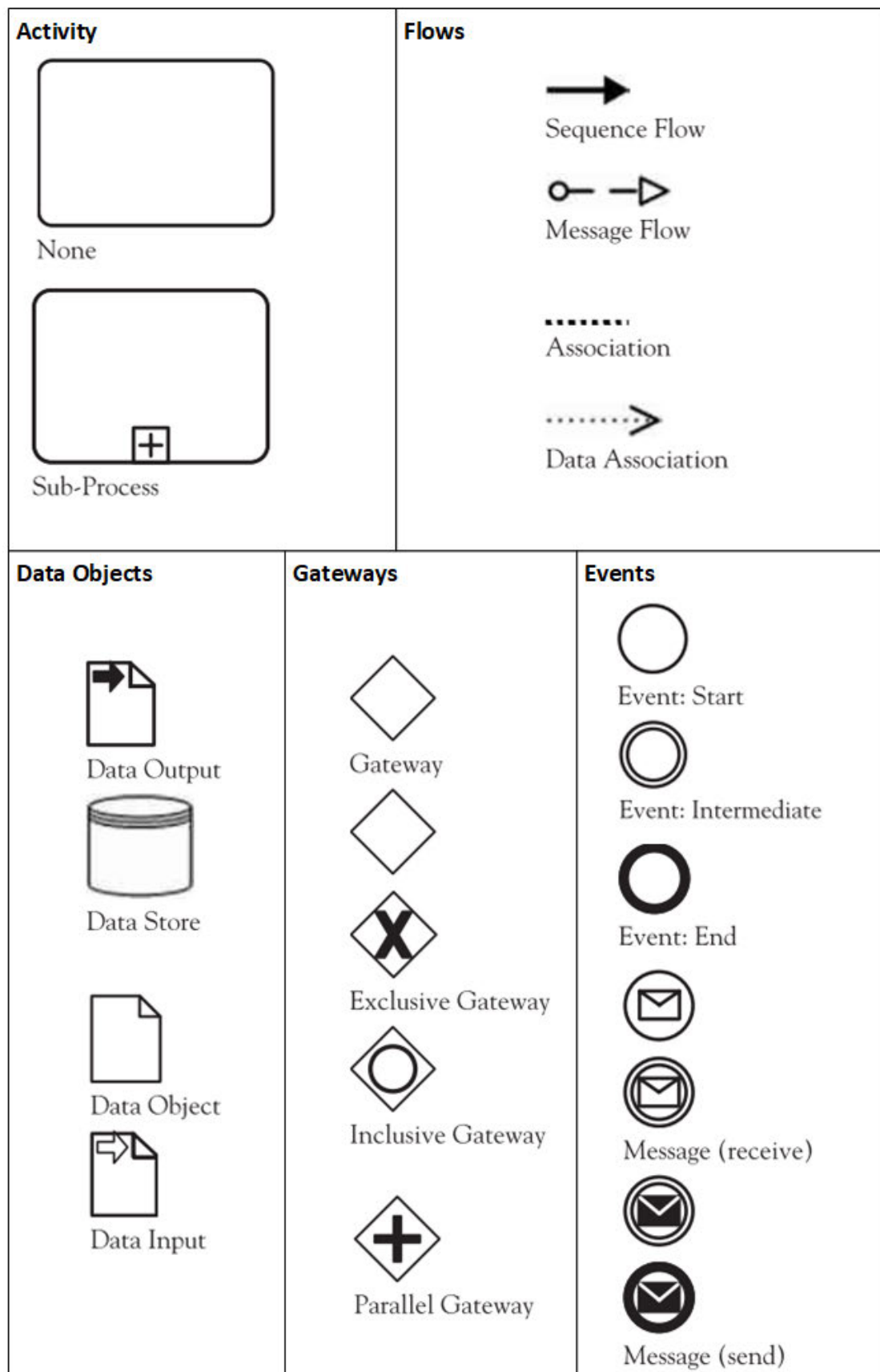
3.3.2.1 SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse ist ein Analysetool, welches als Instrument zur Strategie- und Zielbildung eingesetzt wird. *SWOT* steht hierbei für Stärken (*Strengths*), Schwächen (*Weaknesses*), Chancen (*Opportunities*) und Risiken (*Threats*). Die Methode kombiniert die Untersuchung interner Potenziale, welche in Stärken und Schwächen eingeteilt werden, mit der Bewertung von Chancen und Risiken aus externer Sicht.

¹³⁹ vgl. OMG, 2011, S. 1

¹⁴⁰ vgl. OMG, 2011, S. 29f

¹⁴¹ Dudenredaktion, o.J.

Abbildung 3-5: Wichtige BPMN Symbole¹⁴²¹⁴² in Anlehnung an Rosing et al., 2015, S. 432ff

Mit dieser systematischen Vorgehensweise sollen kritische Erfolgsfaktoren und Erfolgspotentiale abgeleitet werden und so der weitere Handlungsbedarf bestimmt werden.¹⁴³ Durch einen Vergleich der internen und externen Situation kann ein Unternehmen erkennen, ob die identifizierten Stärken und Schwächen relevant zu der Umwelt sind und ob es die nötigen Mittel besitzt sich kommenden Chancen und Risiken zu stellen.¹⁴⁴ Abbildung 3-6 zeigt die typische Matrixdarstellung einer SWOT-Analyse. Eine SWOT-Analyse kann auch zur Identifikation von Schwachstellen von Prozessen eingesetzt werden.

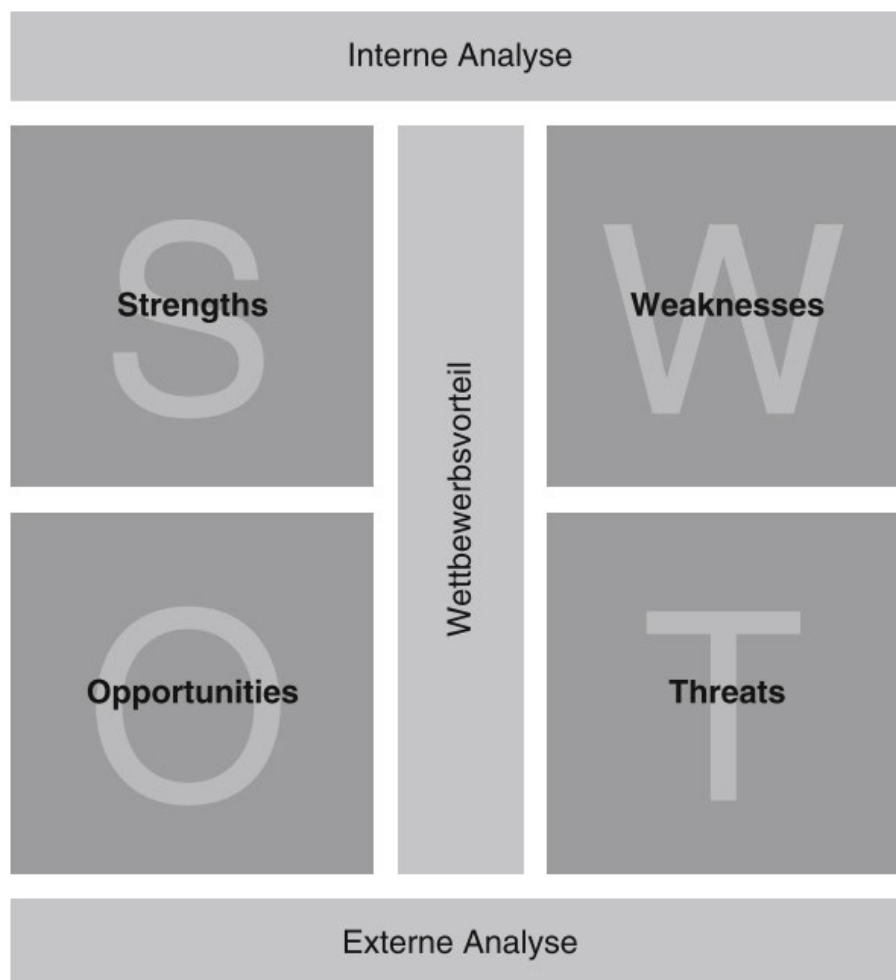


Abbildung 3-6: SWOT-Analyse in Matrixform¹⁴⁵

¹⁴³ vgl. Binner, 2018, S. 270ff

¹⁴⁴ vgl. Schuh & Kampker, 2011, S. 117

¹⁴⁵ übernommen aus ebd., S.117

3.3.2.2 Ishikawa-Diagramm

Ursache-Wirkungs-Diagramme, welche auch als Ishikawa-Diagramme bekannt sind, ermöglichen es ein Problem aus verschiedenen Sichten zu beurteilen und einen kausalen Zusammenhang zwischen diesem und seinen Ursachen darzustellen. Wie in Abbildung 3-7 ersichtlich werden die möglichen Ursachen in die 6M Kategorien kategorisiert: Maschine, Methode, Material, Mensch, Messgrößen und Milieu. Im Rahmen der Prozessanalyse erlaubt das Ishikawa-Diagramm festgestellte Probleme besser zu beleuchten und so zu deren Beseitigung beizutragen.^{146,147}

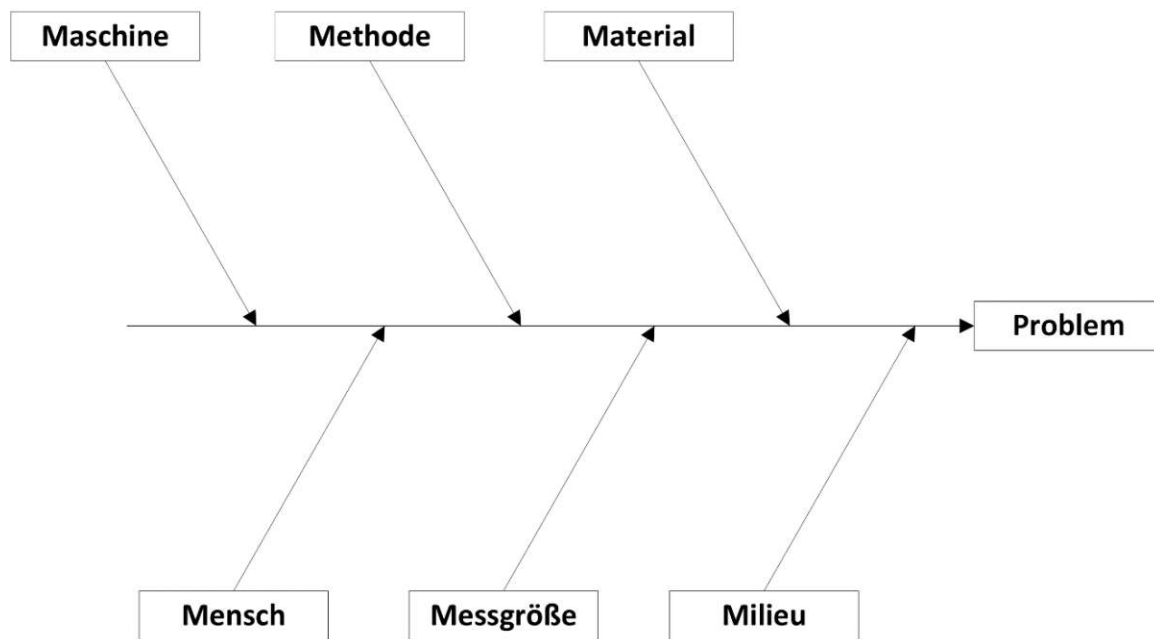


Abbildung 3-7: Ishikawa-Diagramm

3.3.3 Quantitative Prozessanalyse

Die qualitative Analyse gewährt zwar systematische Einblicke in Prozesse, jedoch sind diese manchmal unpräzise oder subjektiv. Im Gegensatz hierzu bietet die quantitative Prozessanalyse die Möglichkeit messbare, kennzahlenbasierte Aussagen über die Prozessleistung formulieren zu können. Prozesskennzahlen, die oft eine wichtige Rolle spielen sind zum Beispiel Durchlaufzeit, Wartezeit oder Prozesskosten.¹⁴⁸

Ein großer Werkzeugkasten für die quantitative Prozessanalyse wird auch durch die *Lean Six Sigma* (LSS) Methode bereitgestellt. Der ganzheitliche LSS Ansatz kombiniert die Techniken des *Lean Managements* mit den statistischen *Six Sigma* Methoden. Beim LSS Ansatz wird in der Regel der DMAIC-Zyklus durchlaufen: die

¹⁴⁶ vgl. Dumas et al., 2021, S. 276ff

¹⁴⁷ vgl. Voehl et al., 2014

¹⁴⁸ vgl. Dumas et al., 2021, S. 299

Define-, Measure-, Analyse-, Improve-, und Control-Phase.^{149,150} Neben der Messsystemanalyse beziehungsweise der Implementierung eines Messsystems ist die Prozessfähigkeitsanalyse ein zentraler Bestandteil der *Measure-Phase*. Hierbei werden die Fehlerquote betreffende Kennzahlen wie die *Defects Per Million Opportunities* (DPMO), die *Defects Per Opportunities* (DPO), oder die *Parts Per Million* (PPM) ermittelt. Des Weiteren kann die Prozessfähigkeit mit den c_p und c_{pk} Werten beschrieben werden.¹⁵¹ Anschließend kann der Prozess in der *Analyse-Phase* mithilfe verschiedener Methoden auf Probleme und Schwachstellen überprüft werden. Oft benutzte Werkzeuge sind zum Beispiel Verteilungsdiagramme, Pareto-Diagramme, Hypothesentests, Regressionsanalysen und *Design of Experiment*.¹⁵²

3.4 Kano-Modell und -Auswertung

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur Einteilung von Anforderungen. So kann zum Beispiel zwischen funktionalen Anforderungen, Qualitätsanforderungen sowie Randbedingungen unterschieden werden.¹⁵³ Eine weitere Möglichkeit zur Einteilung wird durch das Kano-Modell beschrieben. Beim Kano-Modell wird zwischen drei unterschiedlichen Arten von Anforderungen unterschieden:¹⁵⁴

- den Basisanforderungen,
- den Leistungsanforderungen und
- den Begeisterungsanforderungen.

In der Literatur werden unter Basisanforderungen auch Muss-Kriterien, unter Leistungsanforderungen Soll-Kriterien und unter Begeisterungsanforderungen Kann-Kriterien verstanden.

Abbildung 3-8 stellt den Zusammenhang zwischen den oben genannten Anforderungstypen, der Kundenzufriedenheit, dem Grad der Erfüllung der Anforderungen und der Zeit graphisch dar. Basisanforderungen sind Faktoren, die vom Kunden in der Regel implizit vorausgesetzt werden und welche das System in jedem Fall erfüllen sollte. Wie auf der Graphik ersichtlich, bringen vorhandene Basisfaktoren jedoch noch keine Zufriedenheit. Leistungsanforderungen tragen hingegen erheblich zur wahrgenommenen Zufriedenheit bei. Diese Faktoren sind den Stakeholdern oft bewusst und werden explizit gefordert. Die Erfüllung von Begeisterungsanforderungen führt zu einer überproportional hohen wahrgenommenen Zufriedenheit. Dies sind Faktoren eines Systems, welche zwar erwartet, jedoch nicht explizit verlangt werden. Im Gegensatz zu den

¹⁴⁹ vgl. Niemann et al., 2021, S. 11

¹⁵⁰ vgl. Shaffie & Shahbazi, 2012

¹⁵¹ vgl. ebd., S. 14f

¹⁵² vgl. ebd., S. 16f

¹⁵³ vgl. Pohl & Rupp, 2015, S. 8f

¹⁵⁴ vgl. Sauerwein, 2000, S. 28

Basisanforderungen entsteht jedoch kein Gefühl der Unzufriedenheit, werden diese nicht erfüllt. Mit fortschreitender Zeit wandeln Begeisterungs- und Leistungsfaktoren zu Basisfaktoren um. So können etwa Funktionen eines Produktes, welche Kunden heute noch begeistern, zukünftig vorausgesetzt sein.^{155, 156}

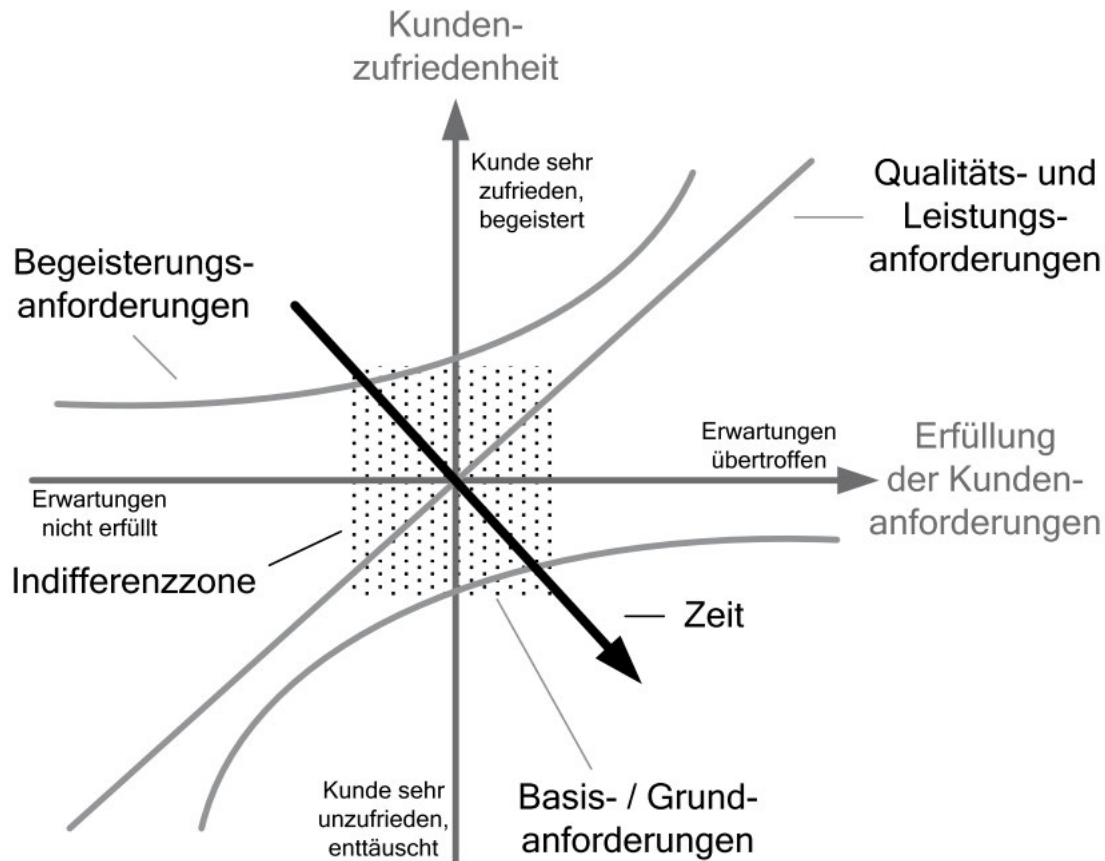


Abbildung 3-8: KANO-Modell¹⁵⁷

Zur Identifikation und Einteilung der Anforderungen kann ein Fragebogen eingesetzt werden. Die in Abbildung 3-9 dargestellte Matrix zeigt wie die Anforderungen durch den Einsatz funktionaler und dysfunktionaler Fragen in Basis-, Leistungs-, und Begeisterungsfaktoren eingeteilt werden können. Die Anforderungen können zusätzlich als indifferent oder egal für den Kunden, als entgegengesetzt, das heißt der Kunde erwartet genau das Gegenteil, oder als fragwürdig eingestuft werden.¹⁵⁸

Mithilfe der Antwortkombinationen der befragten Teilnehmer kann jede Anforderung dann in eine der sechs Kategorien eingeteilt werden. Dies kann ganz einfach nach der Häufigkeit der Nennungen stattfinden. Falls anhand der Häufigkeiten keine klare Einteilung möglich ist, können weitere Regeln eingesetzt werden wie etwa:¹⁵⁹

- Wenn $M+A+O > I+Q+R$, dann gilt das Maximum von M, A oder O.

¹⁵⁵ vgl. Rupp & SOPHIST GmbH, 2014, S. 95ff

¹⁵⁶ vgl. Brüggemann & Bremer, 2020, S. 252

¹⁵⁷ übernommen aus Jochem, 2019, S. 58

¹⁵⁸ vgl. Sauerwein, 2000, S. 39ff

¹⁵⁹ vgl. ebd., S. 39ff

- Wenn $M+A+O < I+Q+R$, dann gilt das Maximum von I, Q oder R.
- Wenn keine klare Einteilung mittels der oben genannten Regeln möglich ist kann die Regel $M>O>A>I$ benutzt werden.
- Eine Einteilung mithilfe der sogenannten *Self-Styled Importance*, welche auch mit einem Fragebogen erhoben werden kann. Bei der *Self-styled Importance* wird die relative Bedeutung und Wichtigkeit der einzelnen Produktkriterien bewertet.

Produktanforderung → ↓		Dysfunktionale (negative) Frage				
		1. Würde mich sehr freuen	2. Setze ich voraus	3. Das ist mir egal	4. Könnte ich in Kauf nehmen	5. Würde mich sehr stören
Funktionale (positive) Frage	1. Würde mich sehr freuen	Q	A	A	A	O
	2. Setze ich voraus	R	I	I	I	M
	3. Das ist mir egal	R	I	I	I	M
	4. Könnte ich in Kauf nehmen	R	I	I	I	M
	5. Würde mich sehr stören	R	R	R	R	Q

Die Produkthanforderung ist ...

A (ttractive): Begeisterungsanforderung
M (ust-be): Basisanforderung
R (everse): Entgegengesetzt

O (ne-dimensional): Leistungsanforderung
Q (uestionable): Fragwürdig
I (ndifferent): Indifferent

Abbildung 3-9: Kano-Auswertungstabelle¹⁶⁰

Ziel dieses Kapitels war es dem Leser einige der Methoden zu vermitteln welche in einem RE Projekt eingesetzt werden können. Es wurde erklärt was ein Use Scenario kann und wie es einzusetzen ist. Zusätzlich wurden DFD behandelt. Zudem wurde das Thema Prozessmanagement besprochen, inklusive der Dokumentation mit BPMN, der qualitativen Prozessanalyse mittels SWOT-Analyse oder Ishikawa-Diagramm sowie der quantitativen Prozessanalyse mit LSS. Schließlich wurde gezeigt, wie mittels einer Priorisierung von Anforderungen nach Kano, diese in Basis-, Leistungs- und Begeisterungskriterien eingeteilt werden können. Die eben dargestellten Methoden werden, zusätzlich zu der in Kapitel 2 vorgestellter Theorie, im kommenden Kapitel genutzt, um ein Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung für eine Software zur Informationserstellung in der Montage zu konstruieren. Anschließend wird in Kapitel 5 dargelegt, wie die eben besprochenen Werkzeuge in einem praktischen Anwendungsfall genutzt werden können, um Anforderungen zu erheben.

¹⁶⁰ Übernommen aus ebd., S. 41

4 Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung

In diesem Kapitel wird die Entwicklung eines allgemeinen Vorgehensmodells zur Anforderungserhebung für den erfolgreichen Einsatz einer Software zur Informationserstellung für die Montage bei einem produzierenden Großunternehmen präsentiert. Zusätzlich wird erläutert, wie das Vorgehensmodell in andere Modelle eingeordnet werden kann und wie es diese ergänzt.

4.1 Vorgehensmodell

An dieser Stelle soll noch einmal kurz die dieser Diplomarbeit zugrundeliegende Zielsetzung sowie die Beziehung zwischen dieser und dem in weiterer Folge vorgestelltem Vorgehensmodell präzisiert werden. Eines der Ziele dieser Arbeit ist es ein Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung für den erfolgreichen Einsatz einer Software zur Informationserstellung für die Montage bereitzustellen. Das Modell, in der im folgenden Kapitel dargestellten Form, ist somit primär für den Einsatz bei spezifischen Softwaresystemen geeignet. Eine Anwendung des Modells für die Aufnahmegewinnung anderer Systeme ist durchaus denkbar, und abhängig vom jeweiligen System vielleicht sogar ohne Anpassungen möglich, wird jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter präzisiert. Das in dieser Diplomarbeit vorgestellte Modell soll sich auf Systeme fokussieren, welche zur Informationserstellung für die Montage benutzt werden. Solche Systeme kann man in die Kategorie der Autorensysteme und CAPP-Systeme einordnen und werden in Kapitel 2.1.2.1 und Kapitel 2.1.2.3 genauer beschrieben. Die Entscheidung, das Modell auf diese spezifischen Systeme zu beschränken, wurde einerseits getroffen um ein möglichst passendes Modell für die dieser Diplomarbeit zugrundeliegende Problemstellung erstellen zu können. Andererseits würde eine Ausweitung des Modells auf andere Systeme den Rahmen dieser Diplomarbeit sprengen.

Das in Abbildung 4-1 dargestellte Vorgehensmodell stellt eine allgemeine Referenz für die Umsetzung einer Anforderungserhebung im Bereich der Informationserstellung für die Montage dar. Im Modell sind die zu durchlaufenden Vorgehensschritte dargelegt. Des Weiteren werden Werkzeuge für die erfolgreiche Durchführung dieser Schritte angegeben. Diese Werkzeuge werden mittels gelber Boxen dargestellt, und sind dem jeweiligen Vorgehensschritt zugeordnet. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass es bei der praktischen Anwendung des Modells nicht unbedingt von Nöten ist, alle angegebenen Werkzeuge zu verwenden, sondern die Instrumente benutzt werden sollen, die am besten zur jeweiligen Situation passen.

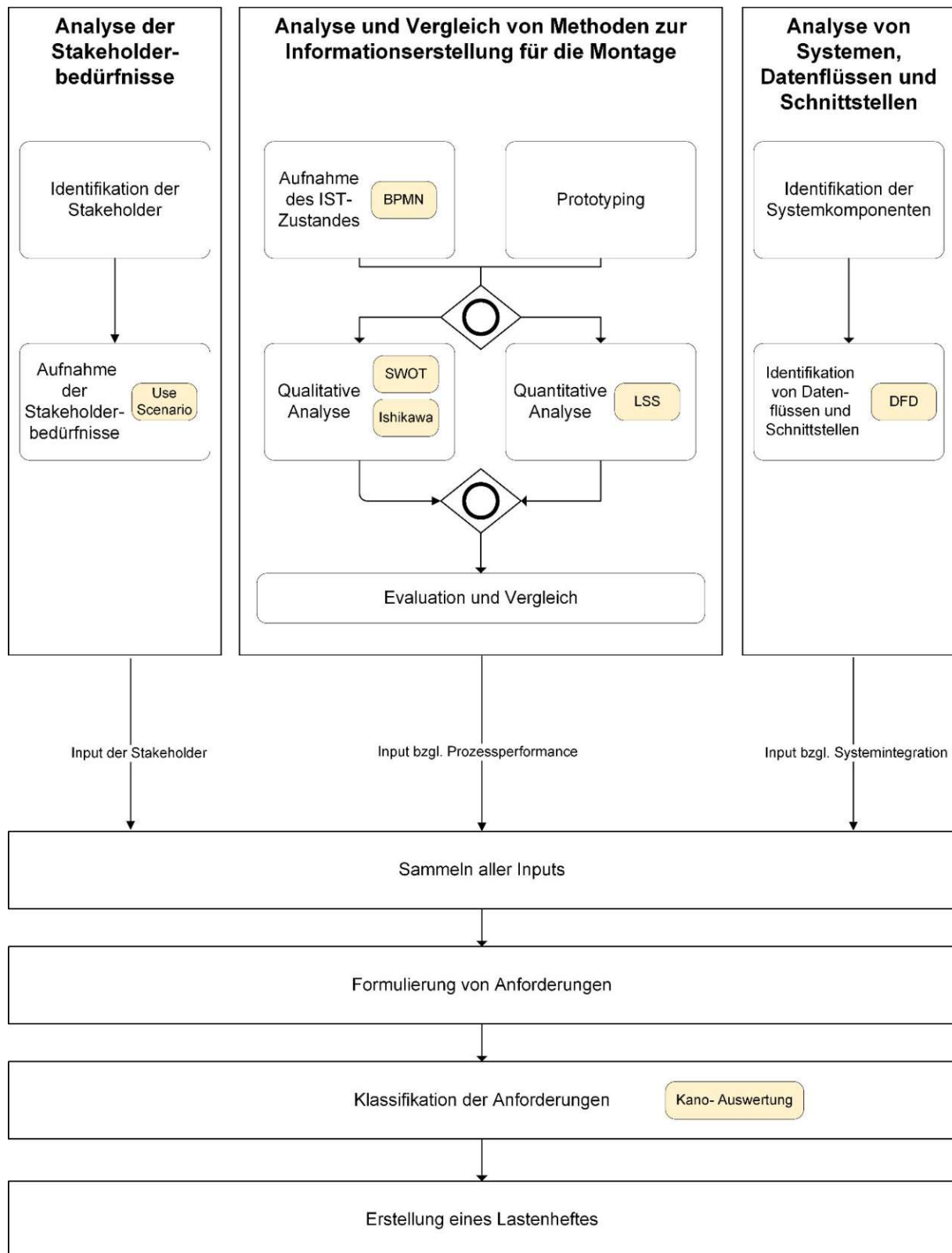


Abbildung 4-1: Entwickeltes Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung

Das Modell unterteilt die Anforderungserhebung in drei Stränge:

- eine Analyse der Stakeholderbedürfnisse,
- eine Analyse und einen Vergleich von Methoden zur Informationserstellung für die Montage,
- sowie eine Analyse der Systeme, Datenflüsse und Schnittstellen.

Im Folgenden sollen diese drei Stränge genauer detailliert werden. Durch eine Analyse der Stakeholderbedürfnisse können die Inputs aller am System beteiligten Personen und Personengruppen aufgenommen werden. Ähnlich wie in der StRD der ISO 29148 wird als erster Schritt die Identifikation der Stakeholder vorgeschlagen. Üblicherweise vertretene Stakeholder eines Systems, welches an der Informationsbereitstellung für die Montage oder Produktion beteiligt sind, sind in Abbildung 4-2 dargestellt. Durch die Berücksichtigung der Bedürfnisse verschiedener am System beteiligten Interessengruppen kann gewährleistet werden, dass unterschiedliche Sichtweisen und Perspektiven in die Systemgestaltung mit einbezogen werden können.

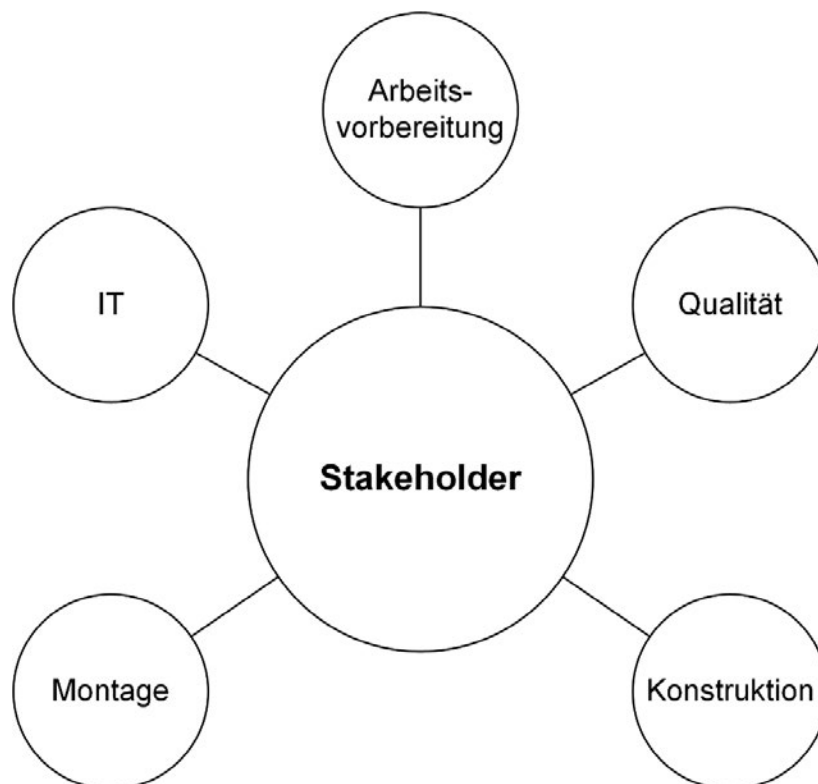


Abbildung 4-2: Stakeholder für die Informationsbereitstellung in der Montage

Anschließend können die Bedürfnisse der identifizierten Stakeholder aufgenommen werden. Für dieses Modell wird der Einsatz des *Use Scenario* Instruments (siehe Kapitel 3.1) vorgeschlagen. Durch die Erstellung eines *Use Scenario* Diagramms können gewünschte Funktionalitäten des Systems systematisch erfasst und

dargestellt werden. Zur Aufnahme der Anforderungen wird ein Workshop gemeinsam mit allen Stakeholdern oder Interviews mit einzelnen Stakeholdern vorgeschlagen.

Ein weiterer Satz an Anforderungen soll durch die Analyse bestehender Unternehmensprozesse ermittelt werden. Diese Analyse kann, wenn möglich, durch einen anschließenden Vergleich der Ist- und Soll-Prozesse ergänzt werden. Ziel ist es die Prozessperformance bewerten zu können, indem Stärken und Schwächen der Prozesse ermittelt und verglichen werden. Voraussetzung für Analyse und Vergleich ist das Vorhandensein eines Ist- und Soll-Prozesses für die Informationserstellung beim Unternehmen. In den meisten Fällen wird es bereits einen Ist-Prozess geben, wie etwa die Erstellung von Arbeitsanweisungen mit Office Produkten. Ein Soll-Prozess kann durch das Vorhandensein eines Prototyps oder eine Demoversion einer Software gegeben sein. Die Aufnahme des Ist-Zustands der Informationserstellung kann mithilfe des BPMN Werkzeuges (siehe Kapitel 3.3.1) erreicht werden. Die Dokumentation der Unternehmensprozesse mit BPMN erlaubt es diese für alle Prozessbeteiligten verständlich darzustellen und so eine geeignete Grundlage für weitere Analysen zu bilden. Die Analyse der Prozesse kann sowohl qualitativ als auch quantitativ erfolgen. Im Rahmen dieses Modells werden für eine qualitative Analyse zwei Werkzeuge empfohlen: Eine Schwachstellenanalyse mittels des SWOT-Werkzeugs sowie eine Analyse von Ursache und Wirkung mittels des *Ishikawa*-Diagramms (siehe Kapitel 3.3.2). Mithilfe einer quantitativen Analyse der Prozesse können kennzahlenbasierte, messbare Aussagen über etwaige Schwachstellen getätigt werden. Hierzu können verschiedene Methoden eingesetzt werden, wobei für dieses Modell die LSS-Vorgehensweise vorgeschlagen wird (siehe Kapitel 3.3.3). Durch eine Kombination von qualitativer und quantitativer Prozessanalyse soll erreicht werden, dass die eventuell subjektiv wahrgenommenen Probleme, welche in Interviews und Workshops qualitativ ermittelt worden, mittels Kennzahlen belegt werden können und so zu nachhaltigen, handfesten Anforderungen führen. Weitere Erkenntnisse sollen durch einen Vergleich der Ergebnisse der Analysen von Ist- und Sollprozess festgestellt werden. Ziel ist es zu identifizieren, inwiefern einerseits bestehende Stärken des Ist-Zustands in den Sollprozess integriert und wie andererseits Schwächen im Sollprozess beseitigt werden können.

Als dritte Quelle für Anforderungen wird eine Analyse von Datenflüssen und Schnittstellen der an der Informationserstellung beteiligten Systeme vorgeschlagen. Dies ist insofern relevant, da die IT-Landschaften von Industrieunternehmen stark voneinander abweichen können. Neben der Vielzahl an unternehmensextern bereitgestellten IT-Lösungen für ERP, MES, CAD oder PLM gibt es oft auch unternehmensintern entwickelte Applikationen für verschiedene Anwendungsgebiete. Für die erfolgreiche Integration einer Software, welche die Informationsbereitstellung für die Montage erleichtern soll, ist es somit essenziell, dass die vorhandene

Systemlandschaft analysiert und verständlich dargestellt wird. Dieses Modell schlägt hierfür die Verwendung eines DFD vor (siehe Kapitel 3.2). Das Diagramm soll die verschiedenen Systeme darstellen, welche an der Informationserstellung sowie -darstellung beteiligt sind. Insbesondere ermöglicht das DFD auch die Darstellung der Interaktion dieser Systeme untereinander, indem Schnittstellen und wichtige Austauschformate präzisiert werden.

Die drei eben angeführten Vorgehenssträngen sollen die Realisierung einer möglichst umfassenden Anforderungserhebung ermöglichen. Mithilfe der Stakeholderanalyse sollen personenbezogene Bedürfnisse, mithilfe der Prozessanalyse prozessbezogene Bedürfnisse und mithilfe der Systemanalyse systembezogene Bedürfnisse ausfindig gemacht werden. Diese Inputs können gesammelt werden und anschließend zu konkreten Anforderungen umformuliert werden. Bei der Formulierung von Anforderungen sind die in ISO 29148 bereitgestellten Charakteristiken zu berücksichtigen (siehe Kapitel 2.2.2).

Zur Erleichterung der an die Anforderungserhebung anschließenden Systementwicklung wird in diesem Modell eine Priorisierung und Kategorisierung der Anforderungen mit dem Kano-Modell vorgeschlagen. Mithilfe einer Kano-Umfrage können die Stakeholder des Systems die Anforderungen in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen unterteilen (siehe Kapitel 3.4). Als Resultat dieser Vorgehensweise kann ein Lastenheft erstellt werden, welches als Grundlage für den weiteren Projektverlauf dienen kann.

4.2 Einordnung in die bestehende Modelllandschaft

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 aufgezeigt, existieren verschiedene Vorgehensweisen und Modelle, welche die Systementwicklung und die damit verbundene Anforderungserhebung ermöglichen sollen. Hierzu gehören zum Beispiel Richtlinien für die Erstellung von Lasten- und Pflichtenheften nach VDI 2519¹⁶¹ oder VDI 3694¹⁶², die Vorgehensweise nach ISO 29148¹⁶³ zur Erstellung von Spezifikationen oder das V-Modell für die Entwicklung cyber-physischer mechatronischer Systeme nach VDI 2206¹⁶⁴. In den folgenden Abschnitten soll besprochen werden, wie das in dieser Arbeit präsentierte Vorgehensmodell in diese Modelle eingeordnet werden kann und wie es diese Modelle ergänzt.

Vorgehensweisen wie das V-Modell oder auch das Wasserfallmodell¹⁶⁵ stellen sehr allgemeine Referenzen für die Durchführung eines RE Projektes dar. Diese Modelle fokussieren sich somit nicht nur auf die Aufnahme von Anforderungen, sondern auf

¹⁶¹ vgl. VDI 2519, 2001

¹⁶² vgl. VDI 3694, 2014

¹⁶³ vgl. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018

¹⁶⁴ vgl. VDI 2206, 2020

¹⁶⁵ vgl. Eigner et al., 2014, S. 34

das gesamte Systems Engineering, inklusive dem Design von Architektur und Systemen, oder der Systemverifikation und -validation. Das hier vorgestellte Modell soll diese Vorgehensweisen ergänzen, indem es sich auf den Schritt der Anforderungserhebung konzentriert und spezifische Vorgehensschritte und Werkzeuge zur Verfügung stellt.

Die ISO 29148 beschreibt recht detailliert die Vorgehensweisen zur Erstellung verschiedener Spezifikationen. Es werden auch einige Techniken zur Anforderungsaufnahme genannt, eine genaue Beschreibung dieser, sowie wie und an welcher Stelle sie einzusetzen sind bleibt jedoch aus.¹⁶⁶ Das eben vorgestellte Modell schafft hier Abhilfe, indem für jeden Vorgehensschritt konkrete Werkzeuge vorgeschlagen werden. Die ISO 29148 schlägt zum Beispiel das Benchmarking von Prozessen oder den Gebrauch einer SWOT-Analyse als Analysetechniken vor, beschreibt aber nicht wie diese zu verwenden sind.¹⁶⁷ Die im Modell beschriebene Analyse sowie der Vergleich von Methoden zur Informationserstellung, welche sich unter anderem auf die Prozessanalyse und die SWOT-Analyse stützt, stellen somit eine die ISO 29148 ergänzende Möglichkeit dar, Anforderungen aufzunehmen. Im Modell wird konkretisiert, wie Prozesse aufgenommen, analysiert und miteinander qualitativ oder quantitativ verglichen werden können.

Des Weiteren bietet das entwickelte Vorgehensmodell ein Mittel an, Prototypen oder Demoversionen eines Softwaresystems zur weiteren Anforderungserhebung einzusetzen. Prototyping wird auch in der ISO 29148 als Mittel zur Anforderungserhebung empfohlen, insbesondere auch zur Validation vorher aufgenommener Stakeholderbedürfnisse.¹⁶⁸ Auch in der VDI 2206 wird der Einsatz von physischen oder virtuellen Prototypen zur Verifikation und Validierung vorgeschlagen.¹⁶⁹

4.3 Zusammenfassung und Fazit

In diesem Kapitel wurde ein Modell zur Anforderungserhebung vorgestellt, welches bestehende Vorgehensweisen ergänzt und somit als ein zusätzliches Hilfsmittel betrachtet werden kann um system-, personen-, und prozessbezogene Anforderungen in einem RE Projekt zu ermitteln. Das Modell schlägt verschiedene Vorgehensstränge, um einerseits Stakeholderbedürfnisse aufzunehmen, Ist- und Sollprozesse miteinander zu vergleichen und die Systemlandschaft zu analysieren. Es werden unterschiedliche Methoden, welche zuvor in Kapitel 3 eingeführt wurden, hierfür bereitgestellt. Mit dem hier vorgestellten Modell wurde somit ein erstes Ziel dieser Diplomarbeit erfüllt und die erste Forschungsfrage beantwortet. Als nächster

¹⁶⁶ vgl. ISO/IEC/IEEE 29148:2018, 2018, S. 31

¹⁶⁷ vgl. ebd. S. 31

¹⁶⁸ vgl. ebd. S. 39

¹⁶⁹ vgl. VDI 2206, 2020, S. 17

Schritt soll dieses Modell bei einem Kooperationsunternehmen angewendet werden. Ziel hiervon ist zum Teil die Validierung des Modells, aber vor allem die Aufnahme von Anforderungen eines produzierenden Großunternehmens an ein Softwaresystem zur automatisierten Informationserstellung für die Montage und somit die Beantwortung der zweiten dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfrage. Im nächsten Kapitel wird ebenjene Anwendung des Vorgehensmodells beim Partnerunternehmen KB, sowie die dabei erzielten Resultate, beschrieben.

5 Anwendung des Modells bei der Knorr-Bremse GmbH

Der praktische Teil dieser Arbeit wurde in Zusammenarbeit mit der Knorr-Bremse GmbH (KB) durchgeführt. KB ist ein weltweit führender Hersteller von Bremssystemen und anderen Subsystemen für Schienen- und Nutzfahrzeuge. Getrieben durch die Individualisierung und steigende Komplexität ihrer Produkte, besteht bei KB das Bedürfnis die Informationserstellung für die Montage, wie etwa die Erstellung von Arbeitsanleitungen, zu vereinfachen. Eine Möglichkeit hierzu bietet der bereits in der Einleitung dieser Diplomarbeit besprochene Prototyp von Fraunhofer, welcher einen Ansatz zur automatisierten Erstellung von Informationsgehalt für die Montage bereitstellt.¹⁷⁰ Einerseits wird durch die Kooperation mit KB die Möglichkeit geschaffen, den bestehenden Softwareprototypen von Fraunhofer in einer reellen Produktions- bzw. Montageumgebung mit reellen Produkten zu testen. Ziel ist es so technische Anforderungen an die Software, die seitens KB für eine erfolgreiche Anwendung erfüllt werden müssen, zu eruieren. Andererseits kann bestehendes Expertenwissen von KB bezüglich Arbeitsanweisungen und Montage genutzt werden, um Anforderungen für den erfolgreichen Einsatz einer solchen Software in der Industrie ermitteln zu können.

Zur Anforderungserhebung bei KB wurde eine angepasste Version des in Kapitel 4 vorgestellten Vorgehensmodells benutzt. Diese angepasste Vorgehensweise wird in den folgenden Abschnitten erläutert. Anschließend werden die durchgeführten Vorgehensschritte sowie deren Ergebnisse im Detail beschrieben. Abbildung 5-1 zeigt das angepasste Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung bei KB. Wie im allgemeinen Modell vorgeschlagen, wurde die Anforderungserhebung in drei Stränge eingeteilt: eine Analyse der Stakeholderbedürfnisse, ein Vergleich der Methoden zur Informationserstellung sowie eine Analyse der Systeme, Datenflüsse und Schnittstellen bei KB.

Als eine erste Quelle für mögliche Anforderungen wurden Mitarbeiter bezüglich ihrer Wünsche für ein System, welches voll- oder zumindest teilautomatisiert, Arbeitsanweisungen für ein WFS bereitstellt, befragt. Hierfür wurden zuerst die Stakeholder des Systems identifiziert. Anschließend wurde ein Workshop organisiert, in welchen den Stakeholdern einerseits die Testergebnisse des bestehenden Softwareprototypen präsentiert wurden und andererseits ihre Anforderungen an das System mittels des *Use Scenario* Instruments erhoben wurden. Des Weiteren

¹⁷⁰ vgl. Reisinger et al., 2021

wurden Informationen bezüglich montagerelevanter Parameter dokumentiert. Eine genaue Beschreibung der Ergebnisse hiervon erfolgt in Kapitel 5.1.

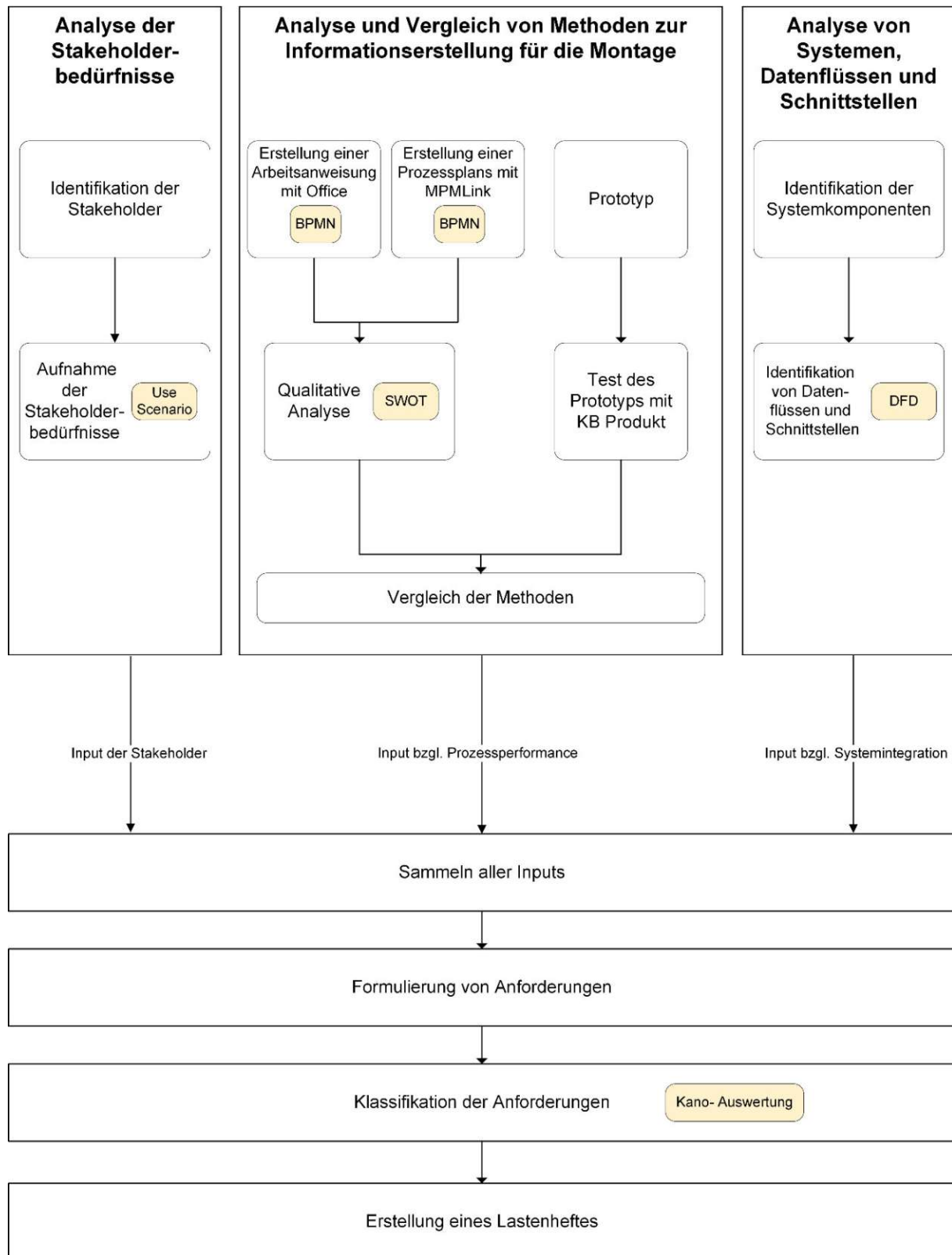


Abbildung 5-1: Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung bei KB

Ein zweiter Satz an Anforderungen wurde mittels eines Vergleichs zwischen verschiedenen Methoden zur Informationserstellung für die Montage ermittelt. Das Vorgehensmodell musste hierfür leicht angepasst werden. Einerseits wurde der Vergleich der Methoden nicht zwischen zwei, sondern drei Prozessen durchgeführt. Der Grund hierfür liegt darin, dass es zum Zeitpunkt der Datenerhebung (März bis Oktober 2021) zwei Möglichkeiten zur Erstellung von Arbeitsanweisungen bei KB gab: Die Erstellung einer Arbeitsanweisung mittels Office Anwendung oder die Erstellung eines Prozessplans (zur Darstellung im WFS) mit dem unternehmensinternen PLM-System Windchill und dem darin integrierten Modul MPMLink. Es gab also, wenn man so will, zwei Ist-Prozesse. Andererseits wurde beschlossen auf eine quantitative Analyse der Prozesse zu verzichten. Dies wurde zum Teil aus Zeitgründen entschieden aber vor allem aus dem Grund, dass es sowohl für die Prozessplanerstellung mit MPMLink als auch die Erstellung einer Arbeitsanweisung mit Office keine ausreichende Datengrundlage gab. Beide Prozesse wurden nur sporadisch, bei explizitem Bedarf an einer Arbeitsanweisung, durchgeführt. Des Weiteren war die Prozessplanerstellung mit MPMLink zum Zeitpunkt der Datenerhebung noch in der Entwicklungsphase und wurde nur für eine einzelne Produktgruppe angewandt.

Für den Vergleich wurden auf der einen Seite die beiden unternehmensinternen Methoden zur Informationserstellung betrachtet. Für diese beiden Möglichkeiten wurden mittels Experteninterviews die IST-Prozesse aufgenommen und mit BPMN dokumentiert. Anschließend wurde gemeinsam mit den Experten eine SWOT-Analyse für jeden dieser Prozesse durchgeführt. Auf der anderen Seite wurde ein Test des entwickelten Softwareprototyps mit einem Produkt von KB durchgeführt. Hierbei wurden auch Schwachstellen und Anforderungen dokumentiert. Die drei Prozesse wurden anschließend miteinander verglichen, um herauszufinden, welche Schwachstellen und welche Stärken bestehender Prozesse ausgebessert bzw. beibehalten werden sollten. Die Analysen, der Vergleich sowie deren Ergebnisse werden in Kapitel 5.2 präsentiert.

Eine dritte Gruppe von Anforderungen wurde aus der Analyse bestehender Systeme, Datenflüsse und Schnittstellen ausgemacht. Es wurde ein DFD erstellt, welches die vorhandenen Systeme und ihre Verbindungen zueinander darstellt. Die Resultate hiervon werden in Kapitel 5.3 veranschaulicht.

Die ermittelten Bedürfnisse aus den verschiedenen Quellen wurden anschließend gesammelt und zu Anforderungen umformuliert. Zur Klassifizierung der Anforderungen wurde ein Kano-Fragebogen erstellt mit dem Ziel diese in Basis-, Leistungs-, und Begeisterungsfaktoren einzuteilen. Die Umfrage wurde an ausgewählte Stakeholder ausgesendet und nach erfolgter Rückmeldung ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Kapitel 5.4 detailliert.

Anschließend wurde mithilfe der gewonnenen Erkenntnisse ein Lastenheft für KB erstellt. Dieses Lastenheft soll als Grundlage für die weitere Durchführung des Projektes dienen. Das aus dieser Anforderungserhebung resultierende Lastenheft mitsamt den ermittelten Anforderungen ist im Anhang dieser Diplomarbeit zu finden.

5.1 Stakeholderanforderungen

5.1.1 Identifikation der Stakeholder

Um Anforderungen an das System aus verschiedenen Sichtweisen zu bekommen, wurden, wie in ISO 29148 empfohlen, die Stakeholder des Systems identifiziert. Folgende Bereiche wurden als relevant eingestuft:

- Industrial Engineering & Produktionsmanagement,
- Qualität,
- Konstruktion,
- und IT

Für alle Bereiche wurden individuelle Personen identifiziert, welche kontaktiert wurden, um an einem Workshop zur Anforderungsaufnahme teilzunehmen.

5.1.2 Workshop zur Anforderungsaufnahme

Nach Identifikation aller Stakeholder wurde ein Workshop zur Anforderungsaufnahme organisiert. Da es zum Zeitpunkt der Datenerhebung wegen des Coronavirus schwierig war Veranstaltungen vor Ort zu organisieren, und weil nicht alle Teilnehmer an einem Ort waren, wurde entschieden, dass der Workshop Online durchgeführt wird. Vor dem Workshop wurde ein Demo-Video des Software-Prototypen erstellt. Hierbei wurde die Funktionsweise der Software anhand der Tests mit den KB Sandungsanlagen erläutert (siehe Kapitel 5.2.3.2). Das Demo-Video wurde den Teilnehmern vorab zur Verfügung gestellt, damit sie sich ein Bild von der Funktionsweise der Software machen konnten. Beim Workshop wurde zuerst der aktuelle Stand des Projektes besprochen und offene Fragen zur generellen Funktionsweise des Prototyps beantwortet. Anschließend wurden die Anforderungen der Stakeholder für eine automatisierte Erstellung einer Montageanweisung aufgenommen. Im Sinne einer geordneten und strukturierten Vorgehensweise wurde die in Kapitel 3.1 vorgestellte Use Scenario Methode verwendet. Hierbei wurde das in Abbildung 5-2 dargestellte Diagramm erstellt. Anschließend wurde die während des Workshops aufgezeichnete Diskussion sowie das erstellte Diagramm dazu genutzt, um konkrete Anforderungen abzuleiten.

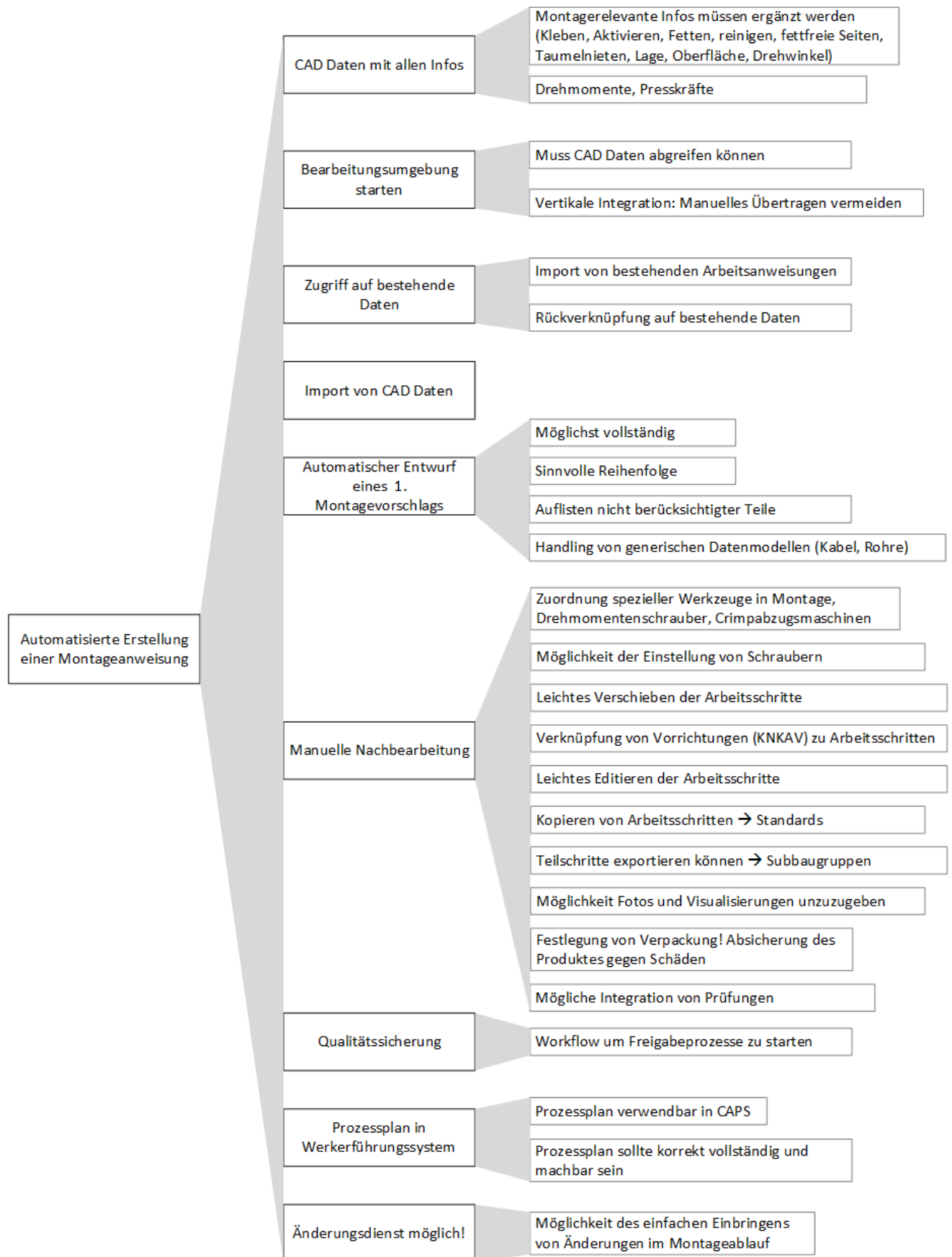


Abbildung 5-2: Erstelltes Use Scenario während Workshop

5.1.3 Montagerrelevante Prozesse & Parameter

Einer der wichtigsten, während des Workshops entdeckten Anforderungen, war die Berücksichtigung montagerrelevanter Prozesse und deren Parameter bei der Generierung von Montageanweisungen. Bei der Montage von Produkten gibt es verschiedene Prozesse, welche oft durchgeführt werden müssen. Zu diesen Prozessen gehören:

- Verschrauben,
- Kleben,
- Fetten,
- Crimpen,
- Löten,
- sowie der Gebrauch von Vorrichtungen

Bei KB wird in den zurzeit existierenden Arbeitsanweisungen auf diese Prozesse verwiesen. Wie die Prozesse durchzuführen sind, ist meistens nicht genau in den Arbeitsanweisungen beschrieben, sondern in sogenannten Montagestandards. Es gibt jedoch für diese Prozesse spezifische Parameter, welche sehr wohl in der Arbeitsanweisung vermerkt sein müssen. Im Folgenden werden die oben genannten Prozesse, deren Parameter, textuell beschrieben. Ziel ist es somit genau zu dokumentieren, wo und wie diese Parameter gespeichert sind, damit entschieden werden kann ob es möglich wäre diese Parameter für die Generierung einer Arbeitsanweisung automatisiert auszulesen.

5.1.3.1 Verschrauben

Während der Montage müssen Schrauben und Bauteile mit einem spezifischen, von der Konstruktion definierten Drehmoment angezogen werden. Bei der Erstellung einer Arbeitsanweisung wird dieses Drehmoment vom Prozessplaner für den jeweiligen Arbeitsschritt angegeben. Das Drehmoment ist in der Regel in der Zusammenstellungszeichnung in Newtonmeter im PLM-System vermerkt. Für einige ältere Produkte ist das Drehmoment nicht auf der Zeichnung zu finden. In diesem Fall wird das Drehmoment vom Prozessplaner selbst in Funktion der Schraubgröße bestimmt. Hierzu wird eine interne Excelliste verwendet.

Des Weiteren gibt es für jede Verschraubung eine Einteilung in eine von drei Risikoklassen: Gering (G), Mittel (M), und Hoch (H). Verschraubungen der Klasse M oder H sind immer auch auf der Zusammenstellungszeichnung angegeben. Abbildung 5-3 zeigt anhand eines Beispiels, wie die Risikoklasse angegeben ist.

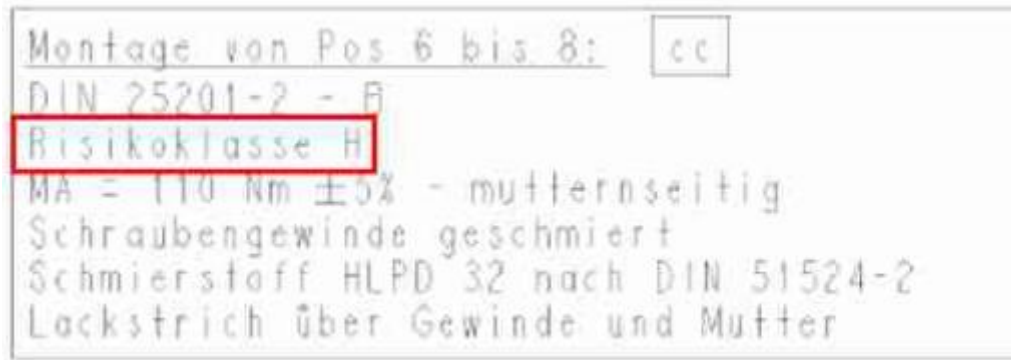


Abbildung 5-3: Angabe einer Risikoklasse

5.1.3.2 Kleben

Der Klebprozess bei KB wird nach DIN 6701 durchgeführt. Zum Prozess gehören neben dem Kleben selbst das Reinigen und Aktivieren der Bauteile. Das Reinigen und Aktivieren von Oberflächen wird hierbei mit einem speziellen Reinigungsmittel beziehungsweise einem Aktivierungsmittel bewerkstelligt. Das Kleben wird vor allem bei Verschraubungen genutzt und dient zur Schraubensicherung. Der genaue Prozess ist in einem werksinternen Montagestandard beschrieben. Wie und ob etwas geklebt oder aktiviert werden muss, ist in der Zusammenstellungszeichnung zu finden, welche im PLM-System gespeichert ist.

5.1.3.3 Fetten

Bei den meisten der am Standort produzierten KB Produkte wird Fett als Schmiermittel benutzt und ist durch den Monteur an den Bauteilen aufzutragen. In der Arbeitsanweisung wird durch die Prozessplanung angegeben was genau zu befetten ist. Was genau zu befetten ist, ist im Allgemeinen in einem werksinternen Montagestandard definiert. Zum Beispiel ist dort hinterlegt, dass alle Gleit- und Führungsflächen zu fetten sind. Des Weiteren sind alle O-Ringe, K-Ringe, Druckfedern, Membrane, sowie nicht geklebte Schraubverbindungen zu fetten. Welches Fett zu verwenden ist, ist in der Zusammenstellungszeichnung hinterlegt oder, für einige ältere Produkte, in der Prüfvorschrift. Beide Dokumente, Zusammenstellungszeichnung und Prüfvorschrift, sind im PLM-System gespeichert. Für einige wenige Produkte gibt es eine spezielle Befettungszeichnung, welche auch im PLM-System hinterlegt ist. In dieser Zeichnung ist neben der Art des Fettes, welche zu verwenden ist, auch die zu fettenden Bauteile sowie die Menge an Fett definiert.

5.1.3.4 Crimpen

Unter Crimpen versteht man das mechanische Zusammendrücken einer Hülse um zwei Komponenten, wie etwa Leiter und Verbinder, miteinander zu verbinden. Folgende Schritte werden beim KB-internen Crimpprozess durchgeführt:

- Abmanteln,

- Abisolieren,
- Crimpen,
- und eine Crimpkraftprüfung.

Der für die Erstellung einer Arbeitsanweisung relevante Parameter ist bei diesem Prozess die Kabellänge, bis zu welcher beim Abmanteln die Isolationsschicht, welche die Einzelleiter umgibt, entfernt wird. Diese Kabellänge kann von Produkt zu Produkt und auch von Produktvariante zu Produktvariante variieren und wird in Meter oder Zentimeter angegeben. Es gibt zwei Möglichkeiten, wie diese Information hinterlegt sein kann: Entweder ist die Kabellänge direkt in der Zusammenstellungszeichnung als Textzusatz zu finden oder in einem speziell von der Konstruktion erstelltem Dokument in einer Tabelle. Beide Dateien sind im PLM-System hinterlegt, die Zusammenstellungszeichnung als PDF oder JPG und das Dokument als PDF oder DOCX.

Für die Crimpkraftprüfung gibt es einen zusätzlichen variablen Parameter, welcher aber zurzeit nicht in der Montageanweisung vermerkt ist. Bei diesem Parameter handelt es sich um die Spannung in Volt, welche bei der Prüfung eingestellt werden muss. Zudem ist angegeben ob mit Wechsel- oder Gleichspannung geprüft werden muss. Diese Information ist in einer Prüfvorschrift zu finden, welche in der Regel als PDF im PLM-System hinterlegt ist.

5.1.3.5 Löten

Verschiedene Bauteile müssen gelötet werden, was in dem Fall in der Arbeitsanweisung vermerkt wird. Wie genau gelötet werden muss ist wiederum in einem werksinternen Montagestandard festgehalten. Die Information ob gelötet werden muss ist jedoch nicht in der technischen Zeichnung enthalten. Es gibt somit keine dokumentierte Grundlage, ob etwas gelötet werden muss, was ein automatisiertes Erkennen durch einen Algorithmus als schwer realisierbar darstellt.

5.1.3.6 Gebrauch von Vorrichtungen

Bei verschiedenen Arbeitsschritten müssen spezielle Vorrichtungen zur Montage verwendet werden. Die Vorrichtungen sind mit einer Codierung in Form von *KNKAV 123* versehen. In der Arbeitsanweisung wird durch den Prozessplaner angegeben welche Vorrichtung verwendet werden muss. Die Informationen welche Vorrichtung verwendet werden muss ist auch im ERP-System hinterlegt. Dort sind die zu verwendeten Vorrichtungen den Arbeitsschritten im Arbeitsplan für ein Produkt zugeordnet. Es besteht jedoch das Problem, dass diese Zuordnung im ERP-System, laut dem Wissen der während dieses Projektes befragten Experten, nicht ist. Es ist somit fraglich ob solche Informationen zuverlässig automatisch ausgelesen werden könnten.

5.2 Vergleich von Methoden zur Erstellung von Montageanweisungen

Ziel dieses Kapitels ist es, die Ergebnisse des Vergleichs verschiedener Möglichkeiten zur Erstellung einer Montageanweisung zur Eruierung von möglichen Anforderungen an eine Software zur automatischen Informationserstellung für die Montage zu präsentieren. Für den Vergleich wurden hierzu einerseits zwei bestehende, zurzeit genutzte Methoden bei KB analysiert: Die Erstellung einer Montageanweisung mittels Office Anwendungen und die Erstellung eines Prozessplans (welcher nachher als Input für das hauseigene WFS CAPS verwendet wird) mittels des in die Windchill PLM Umgebung integrierten Moduls MPMLink. Hierzu wurden beide Prozesse aufgenommen und anschließend mit einer SWOT-Analyse bewertet. Eine nähere Beschreibung von Windchill PLM, MPM Link und CAPS erfolgt in Kapitel 5.3. Andererseits wurde ein bereits bestehender Prototyp, welcher eine automatisierte beziehungsweise teil-automatisierte Erstellung von Montageinstruktionen ermöglicht, an KB-Produkten getestet. Auch für diese Möglichkeit der Erstellung einer Montageanweisung wurde der Prozess sowie die Ergebnisse der Tests dokumentiert. Abschließend werden die Resultate der SWOT-Analysen und die Resultate der Tests miteinander verglichen. Abbildung 5-4 veranschaulicht diese Vorgehensweise zum Vergleich der Methoden.

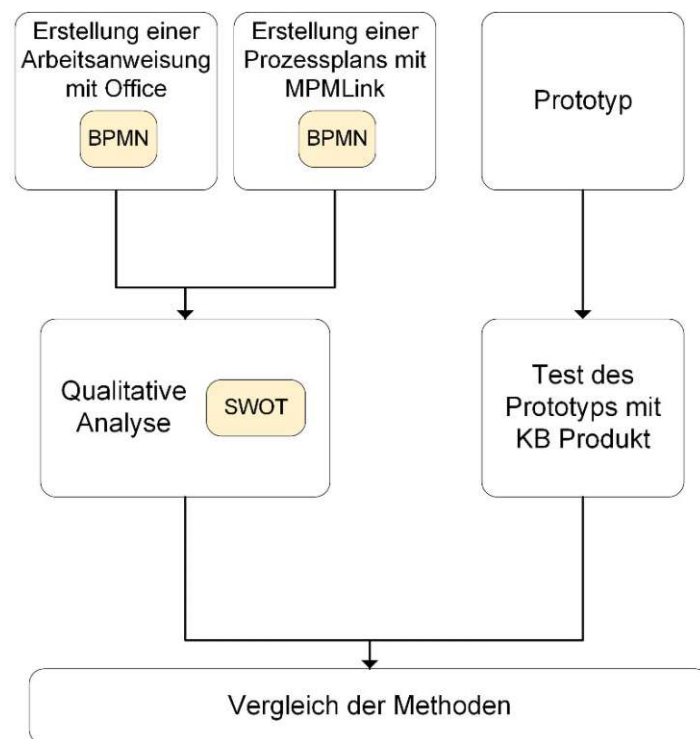


Abbildung 5-4: Vorgehensweise zum Vergleich der Methoden

5.2.1 Erstellung einer Arbeitsanweisung mittels Office

5.2.1.1 Prozessbeschreibung

In Abbildung 5-5 ist der Prozess bei KB zur Erstellung einer Montageanweisung mittels Officeanwendungen in Form eines BPMN Diagramms dargestellt. Es sind zwei Bereiche am Prozess beteiligt: Das *Industrial Engineering* (IE) und die Montage. Bei KB ist das IE unter anderem für die Arbeitsvorbereitung der Montage sowie die Prozessplanung zuständig. Eine Montageanweisung wird in der Regel nur erstellt, wenn Bedarf besteht. Ein Bedarf an einer Anweisung kann zum Beispiel durch die Freigabe einer neuartigen Produktvariante oder infolge einer Kundenreklamation zustande kommen. Bei bestehendem Bedarf ist es der erste Schritt für das IE die Montage zu kontaktieren um herauszufinden wann die nächste Montage des Produktes in Frage stattfindet. Einerseits ist dies insofern notwendig, da Fotos von den Arbeitsvorgängen aufgenommen werden müssen. Andererseits, muss, falls das IE nicht ausreichend über den Montageablauf Bescheid weiß, auch dieser dokumentiert werden. Zusätzlich kann der Monteur das IE über häufig auftretende, und daher unbedingt in einer Montageanweisung festzuhaltenden Fehler informieren. Sowohl die Dokumentation des Montageablaufes als auch die Aufnahme der Fotos erfolgt in der Regel während der Montage des Produktes.

Um die Fotos bei der Erstellung der Montageanweisung benutzen zu können müssen diese nachbearbeitet werden. Die Fotos müssen zurechtgeschnitten werden und die Auflösung muss reduziert werden. Anschließend kann das IE mithilfe einer Vorlage für Microsoft Word die Montageanweisung erstellen. Hierzu wird der dokumentierte Montageablauf, die nachbearbeiteten Fotos sowie andere interne Dokumentation verwendet. Hierzu gehören zum Beispiel technische Zeichnungen, Stücklisten, interne Standards und Normen sowie ähnliche, bereits vorhandene Arbeitsanweisungen. Wenn das Dokument erstellt wurde, wird dieses von zwei weiteren Personen kontrolliert, dies sind in der Regel ein Qualitätsverantwortlicher und der Abteilungsleiter. Wenn es Probleme mit der Anweisung gibt, wird diese noch einmal nachbearbeitet, ansonsten wird sie freigegeben. Die freigegebene Montageanweisung wird jetzt vom IE vom Microsoft Word Format in PDF umgewandelt und in einem für die Montage zugänglichen Netzwerkordner abgespeichert, so dass sie bei einer Montage abgerufen werden kann.

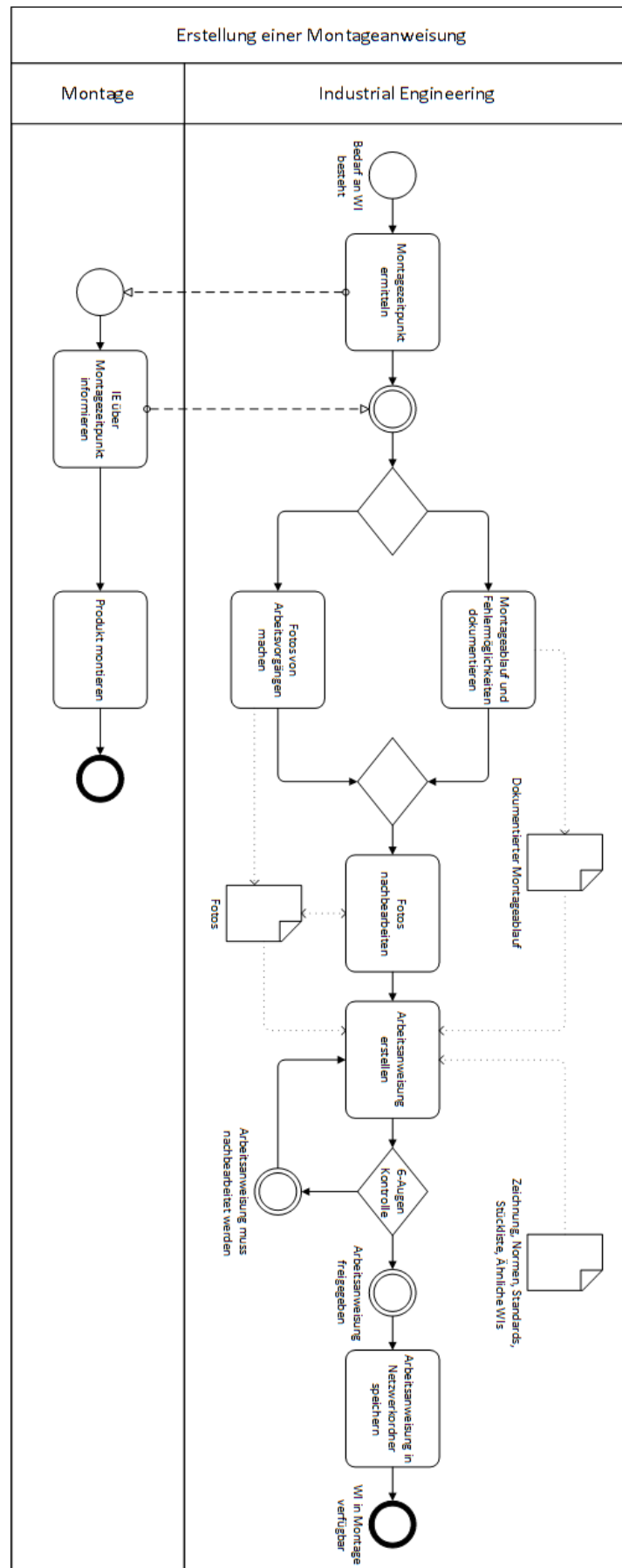


Abbildung 5-5: Erstellung einer Montageanweisung mittels Office

5.2.1.2 SWOT-Analyse

Zur Aufnahme der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken des gerade beschriebenen Prozesses wurde ein Experteninterview mit einem Mitarbeiter von KB durchgeführt. Die Resultate der SWOT-Analyse sind in Tabelle 5-1 übersichtlich dargestellt und werden anschließend detailliert beschrieben.

Stärken - Strengths	Schwächen - Weaknesses
• Schnell erstellbar und editierbar • Einfach erstellbar und editierbar • Zugängliches und einfaches Dokument	• Aufwendige Erstellung von Fotos und Darstellungen • Aufwendiges Varianten- und Änderungsmanagement • Fehlende Möglichkeit der Vernetzung mit anderen Systemen
Chancen - Opportunities	Risiken - Threats
/	• Unterschiedliche Versionen • Risiko fehlender Qualitätsdaten • Fehlende Werkerführung und -kontrolle

Tabelle 5-1: SWOT-Analyse der Erstellung einer Arbeitsanweisung mit Office

Stärken

Zwei klar sichtbare Stärken der Erstellung der Arbeitsanweisung mit Office sind es, dass das Dokument schnell und einfach erstellbar sowie editierbar ist. Ein Vorteil ist es hierbei, dass die das Dokument bearbeitende Person keine speziellen Vorkenntnisse oder Trainings braucht, um mit der Software zu arbeiten, da gängige Officeanwendungen in der Regel jedem vertraut sind. Eine weitere Stärke besteht darin, dass das erstellte Dokument leicht zugänglich und verständlich für den Monteur ist. Durch die Veröffentlichung des Dokumentes im verbreiteten PDF kann das Dokument leicht eingesehen werden. Auch sind ein Drucken und Bereitstellen der Dokumente in Papierform einfach möglich. Des Weiteren kann das Dokument unproblematisch durchsucht werden, so dass jeder die für ihn relevanten Informationen gut auffinden kann.

Schwächen

Eine wesentliche Schwäche ist die Notwendigkeit der Erstellung und Nachbearbeitung von Fotos und Darstellungen. Im aktuellen Prozess muss die die Arbeitsanweisung erstellende Person, während einer tatsächlichen Montage des Produkts, selbst Fotos der einzelnen Montageschritte aufnehmen. Dies ist ein aufwendiger Prozess, auch wegen der benötigten Koordination mit dem

Montageteam. Des Weiteren müssen die Fotos vor dem Einfügen in die Arbeitsanweisung nachbearbeitet werden. Ähnliches gilt für etwaige Darstellungen, welche selbst erstellt, bearbeitet und eingefügt werden müssen. Eine weitere Schwäche des Prozesses fällt bei der Erstellung von Arbeitsanweisungen für Varianten von Produkten, für welche bereits Anweisungen bestehen, auf. Die Erstellung solcher Anweisungen sollte eigentlich einfach von statten gehen, ist jedoch aufwendig, da jedes Mal ein komplett neues Dokument erstellt werden muss. Bei jeder Variante müssen Texte angepasst werden und neue Fotos aufgenommen werden. Besonders die Erstellung der Fotos ist hierbei, wie bereits beschrieben, aufwendig. Eng zusammenhängend hiermit ist das Einbringen von Änderungen in bereits bestehende Arbeitsanweisungen. Wenn ein Montageschritt geändert werden muss, zum Beispiel aufgrund einer Kundenreklamation, muss diese Änderung händisch für jede Variante eingetragen werden. Bei einer großen Anzahl an Varianten, kann so eine kleine Änderung im Prozess enormen Aufwand für den Montageplaner bedeuten. Es wurde zudem die Schwäche identifiziert, dass es nur schwer realisierbar wäre das aktuelle System mit anderen Systemen zu vernetzen.

Chancen

Es konnten keine Chancen für diese Arbeitsweise identifiziert werden.

Risiken

Durch eine lokale Speicherung der Arbeitsanweisung auf dem betriebsinternen Server besteht das Risiko, dass bei der Montage des Produkts in anderen Werken sowie bei der Reparatur oder Wartung des Produktes beim Kunden unvollständige, nicht aktuelle oder sogar fehlerhafte Montageanleitungen verwendet werden. Es wäre somit möglich, dass unterschiedliche Versionen der Arbeitsanweisungen benutzt werden, zu Kosten der Produktqualität. Ein weiteres, durch die Art der Speicherung bedingtes Risiko liegt darin, dass keine genaue Dokumentation darüber geführt wird, zu welchem Zeitpunkt welcher Montageprozess für welche Produktvariante genutzt wurde. Hierdurch könnte es vorkommen, dass die Fehlerrückverfolgung und Identifikation problembehafteter Produkte erschwert wird. Die Bereitstellung der Arbeitsanweisung mittels PDF führt zudem dazu, dass eine Werkerführung oder -kontrolle während dem Montageprozess nur schwer oder nicht möglich ist. Es kann nicht sichergestellt werden, ob prozesskonform gearbeitet wird.

5.2.2 Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink

5.2.2.1 Prozessbeschreibung

Die Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink ist in Abbildung 5-6 mittels BPMN veranschaulicht. Im Unterschied zu der vorherigen Methode wird die Montageanweisung dem Werker hier nicht als PDF zur Verfügung gestellt, sondern

es wird ein Prozessplan erstellt, der dann mittels WFS dem Monteur dargestellt wird. Der erste Schritt für das IE ist die Analyse der Baugruppe, für welche eine Anweisung erstellt werden soll. Die Analyse erfolgt innerhalb der Windchill PLM Umgebung, welche den einfachen Zugriff auf 3D-Modelle, Stücklisten, technische Zeichnungen und weitere relevante Dokumentation erlaubt. Auch kann der Prozessplaner hier untersuchen, ob bereits ein ähnliches Produkt oder eine ähnliche Variante vorhanden ist, wovon dann Teile des Prozessplans übernommen werden könnten. Abhängig davon, ob die zuständige Person über alle notwendigen Montage- und Produktinfos verfügt, kann nun der Prozessplan erstellt werden. Wenn nicht alle Infos vorhanden sind, muss das IE die Montage kontaktieren und wie bei der Erstellung einer Montageanweisung mittels Office den Montageablauf während der tatsächlichen Montage dokumentieren. Wenn alle benötigten Informationen vorhanden sind, kann die tatsächliche Ablaufsequenz in MPMLink festgehalten werden. Hierzu wird der Name für die Baugruppe festgelegt, die einzelnen Arbeitsschritte werden erstellt und anschließend detailliert. Zur Detaillierung der Arbeitsschritte kann der Prozessplaner im PLM hinterlegte Daten, wie etwa Werksnormen, CAD-Daten, Vorrichtungen, Arbeits- und Rüstzeiten, Grafiken oder Arbeitsstationen mit den Schritten verknüpfen. Des Weiteren werden hier auch spezielle Prozesse, wie etwa das Befetten oder Verschraubungen detailliert. Wenn benötigt werden hier auch Steuergrößen zur Ansteuerung von intelligenten Werkzeugen hinterlegt, wie Schraubprogramme für eine automatisierte Verschraubung. Parallel zur Festlegung der Ablaufsequenz erstellt der Prozessplaner die mBOM. Hierfür werden die Bauteile und -gruppen der eBOM, welche von der Konstruktion im PLM System hinterlegt wurden, so umgeordnet, dass eine aus Montagesicht sinnvolle Struktur entsteht. Wichtig ist hierbei das Konzept der Assoziativität: Jedes Teil der mBOM wird mit dem zugehörigen Teil der eBOM verknüpft, so dass bei einer Änderung der eBOM auch die mBOM, und damit auch der Montageprozess, entsprechend angepasst werden kann. Anschließend können die Teile der mBOM den vorher erstellten Arbeitsschritten zugeordnet werden. Das Resultat ist ein im PLM System hinterlegter, fertiger Prozessplan. Sobald dieser freigegeben wird, kann dieser vom internen WFS in Form einer Schritt-für-Schritt Montageanweisung dargestellt werden, um so die Montagetätigkeit zu unterstützen.

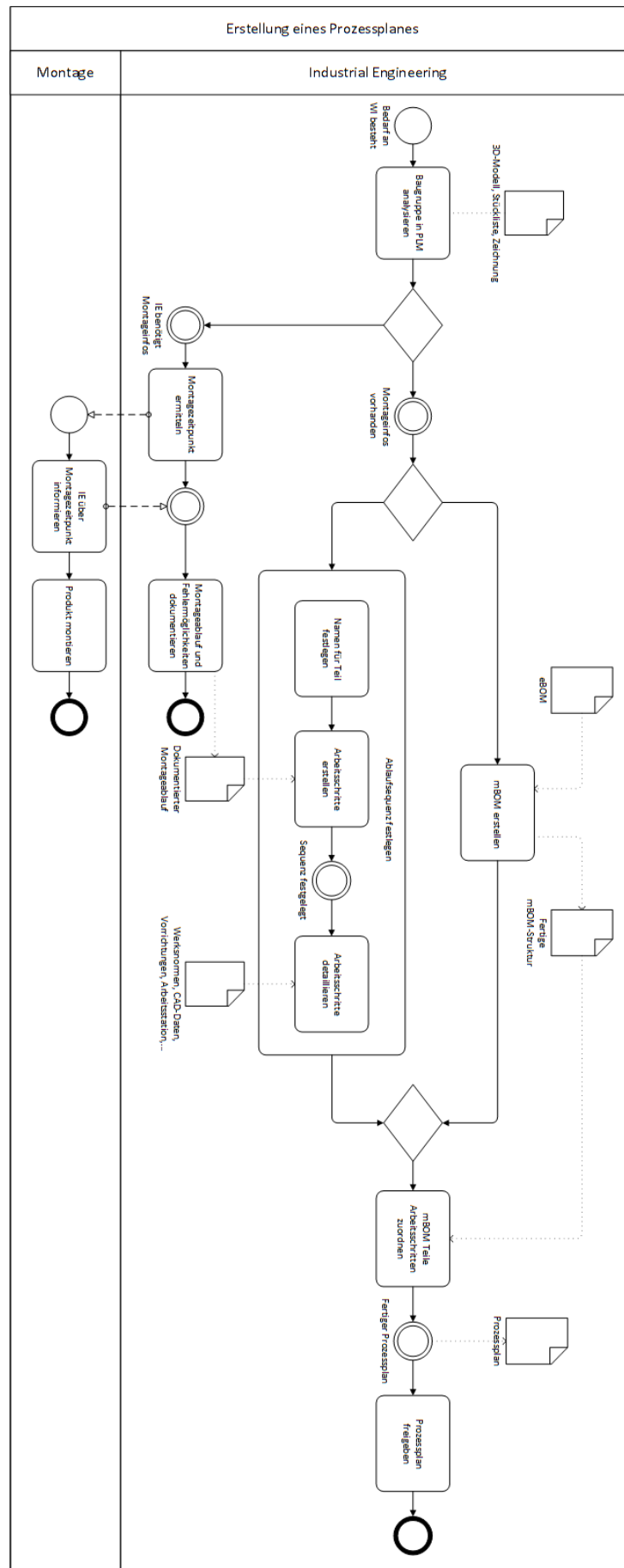


Abbildung 5-6: Erstellung eines Prozessplans mit MPM Link

5.2.2.2 SWOT-Analyse

Auch für diesen Prozess wurden die Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken mittels Experteninterview eruiert. Die Resultate der Analyse sind wiederum in Tabelle 5-2 übersichtlich dargestellt und werden anschließend detaillierter beschrieben.

Stärken – Strengths	Schwächen - Weaknesses
• Alle Daten und Anwendungen zentral an einem Ort • Einfacher Zugriff auf benötigte Informationen • Integrierte Ansteuerung von Peripherie-Geräten • Verfügbarkeit von Prozessdaten • Möglichkeit einfach Schritte zu kopieren und anzupassen • Möglichkeit der Erstellung von Standards	• Erstellung eines komplett neuen Ablaufs für jede Variante • Großer Aufwand bei Änderungen bei Varianten eines Produktes • Aufwendiges Einfügen von Fotos • Training notwendig
Chancen - Opportunities	Risiken - Threats
• Einfaches Einfügen von Visualisierungen • Integration von Qualitätssicherung • Integration anderer Systeme	• Abhängigkeit von Konstruktionsdaten • Abhängigkeit von Netzwerk und Servern

Tabelle 5-2: SWOT-Analyse der Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink

Stärken

Eine der großen Stärken der Benutzung von MPMLink ist die Integration mit Windchill PLM und der damit verbundenen zentralen Speicherung aller Daten. Es kann über die in Windchill integrierte Benutzeroberfläche von MPMLink einfach auf CAD-Daten, technische Zeichnungen, Prüfdokumente und Stücklisten zugegriffen werden. Es werden keine zusätzlichen Anwendungen zur Erstellung der Montageanleitung benötigt, es befindet sich alles zentral an einem Ort. Des Weiteren können, durch die Systemintegration der Peripherie-Geräte, wie etwa Schraubgeräte, Befettungsvorrichtungen oder Drucker, diese problemlos angesteuert werden. Für diese können auch Steuergrößen mittels MPM Link definiert werden. Ein Vorteil dieser Arbeitsweise ist außerdem, dass Prozessdaten, wie benutztes Drehmoment, automatisch gespeichert werden und für weitere Auswertungen oder bei Qualitätsproblemen zur Verfügung stehen. Eine weitere erwähnte Stärke ist die Möglichkeit leicht Arbeitsschritte und Teile bestehender Prozesspläne zu kopieren. Zusätzlich ist es möglich Standardschritte im Programm zu hinterlegen, wodurch die Erstellung neuer Prozesspläne beschleunigt werden kann.

Schwächen

Eine Schwäche besteht darin, dass für jede neue Produktvariante ein neuer Prozessplan erstellt werden muss und es keine Möglichkeit gibt dem Programm mitzuteilen, dass die Varianten bis zu einem gewissen Punkt gleich sind. Es können zwar Schritte kopiert werden, jedoch muss jedes Mal die Vernetzung zwischen eBOM und mBOM erfolgen. Auch im Falle einer benötigten Änderung der Prozesspläne mehrerer verwandter Produktvarianten ist der Aufwand, wie bei der Erstellung mit Office, noch immer sehr groß. Da das System nicht weiß oder erkennt, dass es sich um mehrere Varianten eines Produktes handelt, müssen Änderungen manuell für jede Variante eingebracht werden. Eine weitere Schwäche ist das Einfügen von Fotos in den Prozessplan. Es muss ein Foto aufgenommen, nachbearbeitet, hochgeladen und anschließend manuell zum Schritt hinzugefügt werden. Eine weitere Schwäche besteht darin, dass für die Benutzung der Software eine gewisse digitale Kompetenz, Training und Einarbeitungszeit nötig ist.

Chancen

Eine Chance für die Erstellung der Prozesspläne mit MPMLink ist die automatisierte oder zumindest teilautomatisierte Erstellung von Visualisierungen auf Basis von CAD-Daten. Durch die Integration mit dem PLM-System sind den Prozessschritten bereits Bauteile beziehungsweise deren Konstruktionsdaten zugeordnet, es sollte also möglich sein, diese den Monteuren passend zum jeweiligen Montageschritt zur Verfügung zu stellen. Hierbei wäre es auch denkbar, dass der Prozessplaner manuell entscheiden könnte, welche Bauteile bei welchem Prozessschritt ein- bzw. ausgeblendet werden. Eine weitere Verbesserungsmöglichkeit besteht in der Integration von Freigabeprozessen zur Qualitätssicherung und -kontrolle. Auch eine Integration des ERP System und das Nutzen der darin enthaltenen Daten könnte den Prozess vereinfachen. Durch eine Schnittstelle mit SAP könnten Informationen, wie etwa Serialisierungsnummern für Typenschilder, vereinfacht oder sogar automatisiert in Prozesspläne aufgenommen werden. Auch eine Integration anderer Systeme, wie etwa das hauseigene Fehlermeldungstool wäre denkbar.

Risiken

Ein Risiko entsteht durch die Abhängigkeit des Prozessplaners von den Konstruktionsdaten. Da die Erstellung der Prozesspläne darauf basiert, dass korrekte und vollständige 3D-Dateien und Stücklisten existieren, kann ein Nichtvorhandensein dieser den Arbeitsablauf verzögern. Noch gravierender wären fehlerhafte Daten, welche aber vom Prozessplaner eventuell nicht als solche erkannt werden, und so zu Qualitätsproblemen oder Ausfällen in der Produktion führen würden. Ein weiteres Risiko besteht darin, dass die gesamte, zur Prozessplanung benötigte Infrastruktur von einem System und dessen Netzwerk und Servern abhängig ist.

5.2.3 Generierung einer Montageanleitung mittels Prototyps

5.2.3.1 Prozessbeschreibung

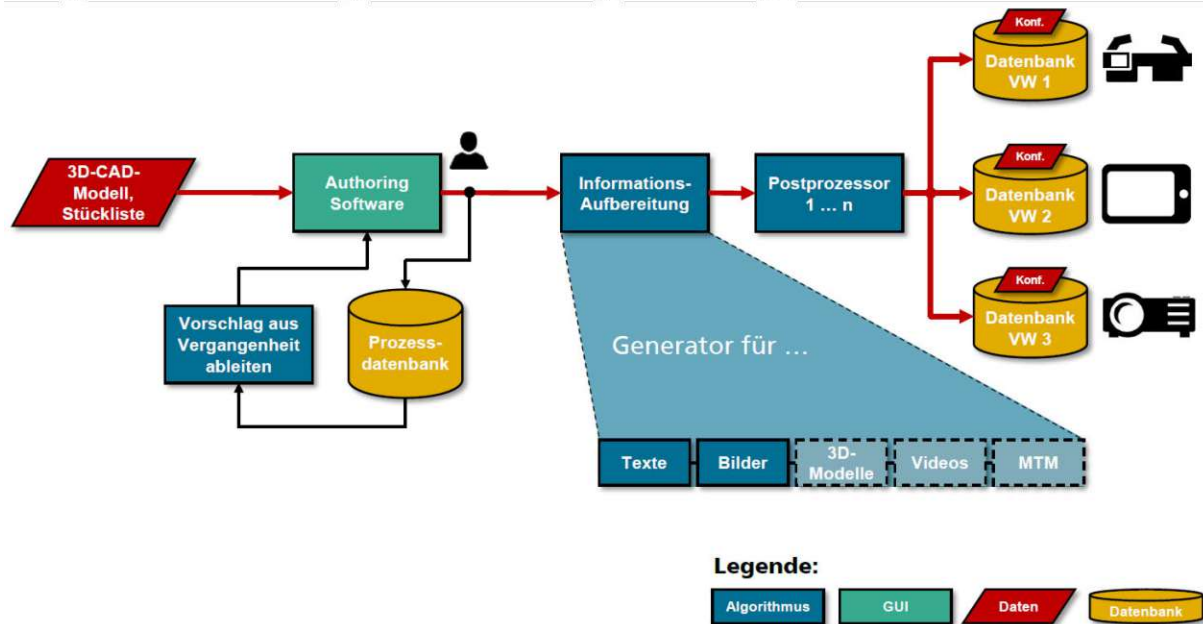


Abbildung 5-7: Modelle zur automatisierten Informationsversorgung von WFS¹⁷¹

Während die vorgestellte Methode der Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink und Windchill den Arbeitsaufwand des Prozessplaners im Vergleich zu einer Erstellung mit Office-Anwendungen bereits vereinfachen soll, ist der benötigte Zeitaufwand noch immer sehr hoch. Der von Reisinger et al. (2021) entwickelte Software-Prototyp soll Abhilfe schaffen, indem verschiedene Arbeitsschritte automatisiert werden und Montagedaten generiert werden, welche dann auch in unternehmenseigene WFS übertragen werden können.¹⁷² Die Funktionsweise des Prototyps zur automatisierten Informationsversorgung ist in Abbildung 5-7 dargestellt und wird in den folgenden Absätzen beschrieben. In dem Prozessschaubild sind Daten in Rot dargestellt, Datenbanken in Gelb, Algorithmen in Blau und von einer Person durchzuführenden Arbeitsschritte mittels graphischer Benutzeroberfläche in Grün.

Ausgangspunkt für die Informationsaufbereitung ist das Vorhandensein eines 3D-CAD Modells des behandelten Produktes, welches dann im nachfolgenden *Authoring*-Schritt benutzt werden kann. Auch Produktdaten, wie etwa Stücklisten, welche in einem PLM-System hinterlegt sind, können für die Montageplanung herangezogen werden. Unter *Authoring* versteht man „das Erstellen von Multimedia-Software, wobei unterschiedliche Komponenten wie Text, Grafik, Sound u. Ä. in

¹⁷¹ Übernommen aus Reisinger et al., 2021, s. 240

¹⁷² Reisinger et al., 2021

Beziehung zueinander gesetzt und zu einem Ganzen verknüpft werden“.¹⁷³ Mittels einer graphischen Benutzeroberfläche, welche zum Beispiel in gängige Konstruktionssoftware wie CATIAV5 oder PTC Creo integriert wird, kann der Prozessplaner beim Authoring die benötigten Teile selektieren und eine Montagesequenz definieren. Des Weiteren kann der Prozessplaner hier die einzelnen Arbeitsschritte manuell mit zusätzlichen Informationen, wie Verschraubungsdetails oder benötigten Werkzeugen, detaillieren. Im Gegensatz zu den vorher vorgestellten Methoden wird der Prozessplaner hierbei jedoch mittels des sogenannten *Case-Based Assembly Planning* unterstützt. Mithilfe dieser fallbasierten Montageplanung vergleicht das System über 30 verschiedene geometrische Eigenschaften der aktuellen Produktvariante mit Varianten, welche bereits in der Vergangenheit erstellt wurden und schlägt hierauf basierend Montageschritte mit bereits zugeordneten Bauteilen vor. Der Prozessplaner muss die vorgeschlagene Montagesequenz nur noch überprüfen, wenn nötig anpassen und kann so Zeit einsparen.

Neben dem Vorschlagen einer Montagesequenz ermöglicht das System auch eine automatische Generierung von Textbeschreibungen und Visualisierungen. Die Textbeschreibung wird basierend auf verbauten Teilen, Werkzeug und durchgeführter Montageoperation erstellt. Die Visualisierungen werden als Bildschirmaufnahmen bei der Festlegung der Montagesequenz im CAD-Programm erstellt.

Um die erstellten Informationen im benötigten WFS darstellen zu können werden ein oder mehrere Postprozessoren verwendet. Durch einen Algorithmus werden die erstellten Daten umgewandelt, so dass sie in die dem WFS zugrundeliegende Datenbank geschrieben werden können und so auch korrekt vom WFS dargestellt werden können.

5.2.3.2 Test des Prototyps

Der beschriebene Softwareprototyp wurde mit mehreren Varianten eines KB Produktes getestet. Ziel der Tests war es einerseits Anforderungen zur Weiterentwicklung der Software und andererseits Anforderungen an die Datenstruktur und Prozesse von KB zu eruieren.

Testobjekt und Vorgehensweise

Als Testprodukte wurden mehrere Varianten von Sandungsanlagen des Typs SDN31.1 ausgewählt. Sandungsanlagen sind Bestandteile der Sandstreuereinrichtung an Schienenfahrzeugen. Durch das Bestreuen der Schienen mit Sand wird die Haftreibung zwischen Rad und Schiene beim Anfahren und Bremsen erhöht. Das spezifische Produkt wurde aus mehreren Gründen als Testobjekt ausgewählt.

¹⁷³ Dudenredaktion, o.J.

Erstens ist die Komplexität bei der Montage relativ gering, es müssen keine übermäßig komplizierten Vorgänge durchgeführt werden und die Anzahl bzw. Dauer der Arbeitsschritte ist übersichtlich. Zweitens sind die sich unterscheidenden Arbeitsschritte und Bauteile zwischen den Varianten nicht allzu groß. Hierdurch wird wiederum die Komplexität verringert. Es wird so ermöglicht, dass sich auf diese Unterschiede konzentriert werden kann und etwaige Probleme leichter identifiziert werden können. Drittens wird dieses Produkt in der Regel abhängig von den Kundenanforderungen speziell angepasst und gebaut. Somit gibt es eine große Anzahl an Varianten, mit denen die Tests durchgeführt werden können.

Die Tests wurden in der CATIA V5 Umgebung durchgeführt. Die Erstellung der Montageanleitungen wurde mittels eines *Plug-Ins* für CATIA V5 realisiert. Die CAD-Daten der Sandungsanlagen wurden im STEP-Format bereitgestellt und in die CATIA V5-Umgebung importiert. Folgende Vorgehensweise wurde für den Test des Prototyps benutzt:

1. Einlernen des Montagevorganges durch manuelle Eingabe.
2. Laden weiterer Varianten und Überprüfung der vorgeschlagenen Montagesequenzen.
3. Überprüfung der Darstellung der festgelegten Montagesequenzen im WFS.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte der Vorgehensweise genauer erläutert.

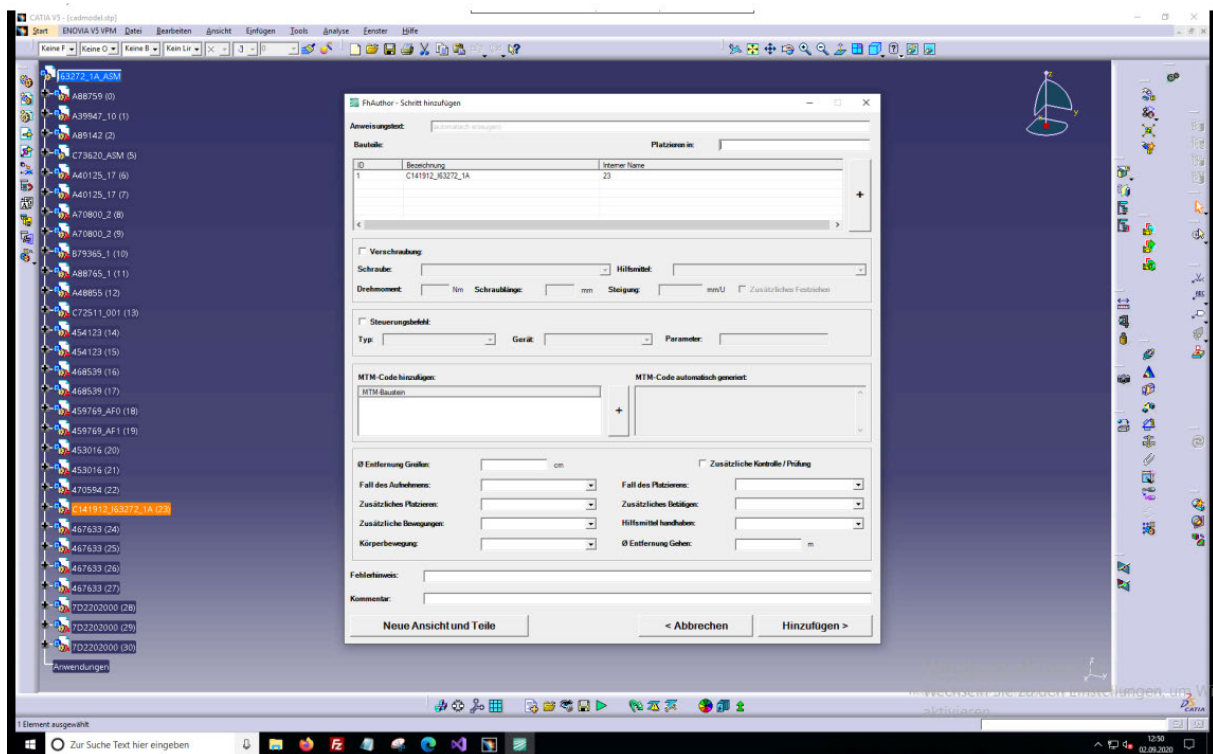


Abbildung 5-8: Benutzeroberfläche zur Detaillierung der Montageschritte

In einem ersten Schritt wurde die Montagesequenz für eine Variante der Sandungsanlage manuell festgelegt. Hierzu wurde die bereits vorhandene und in der Praxis benutzte Montageanleitung von KB in die Software übertragen. Zur Erstellung eines Montageschrittes mussten die betroffenen Komponenten in der CATIA V5 Umgebung ausgewählt werden. Nach der Auswahl konnte durch das Anklicken des entsprechenden *Buttons* der Montageschritt detailliert werden. Beim Anklicken des *Buttons* wurde mittels Bildschirmaufnahme auch die nachher im WFS verwendete Darstellung gespeichert. In Abbildung 5-8 ist die zur Detaillierung verwendete Benutzeroberfläche dargestellt. Es besteht die Möglichkeit der Eingabe eines Anweisungstextes oder eines Fehlerhinweises. Des Weiteren konnte festgelegt werden ob die ausgewählten Bauteile verschraubt werden, wobei hier auch Parameter wie Hilfswerkzeug oder benötigtes Drehmoment definiert werden konnten. Für die erste Variante wurden die Montageschritte detailliert sowie ihnen alle entsprechenden Bauteile zugeordnet. So konnte eine Montagesequenz festgelegt werden, welche dann als Grundlage für die Generierung aller weiteren Montageabläufe benutzt werden konnte.

Für die Festlegung der Montagesequenzen der weiteren Varianten wurde die Funktionalität des Prototyps genutzt, Montagevorschläge aus vorherig erstellten Abläufen zu generieren. Beim Laden einer weiteren Variante in die CATIA V5 Umgebung wird diese automatisch mit anderen Varianten verglichen. Abbildung 5-9 zeigt die graphische Oberfläche, welche dem Benutzer die Resultate des Vergleichs aufweist.

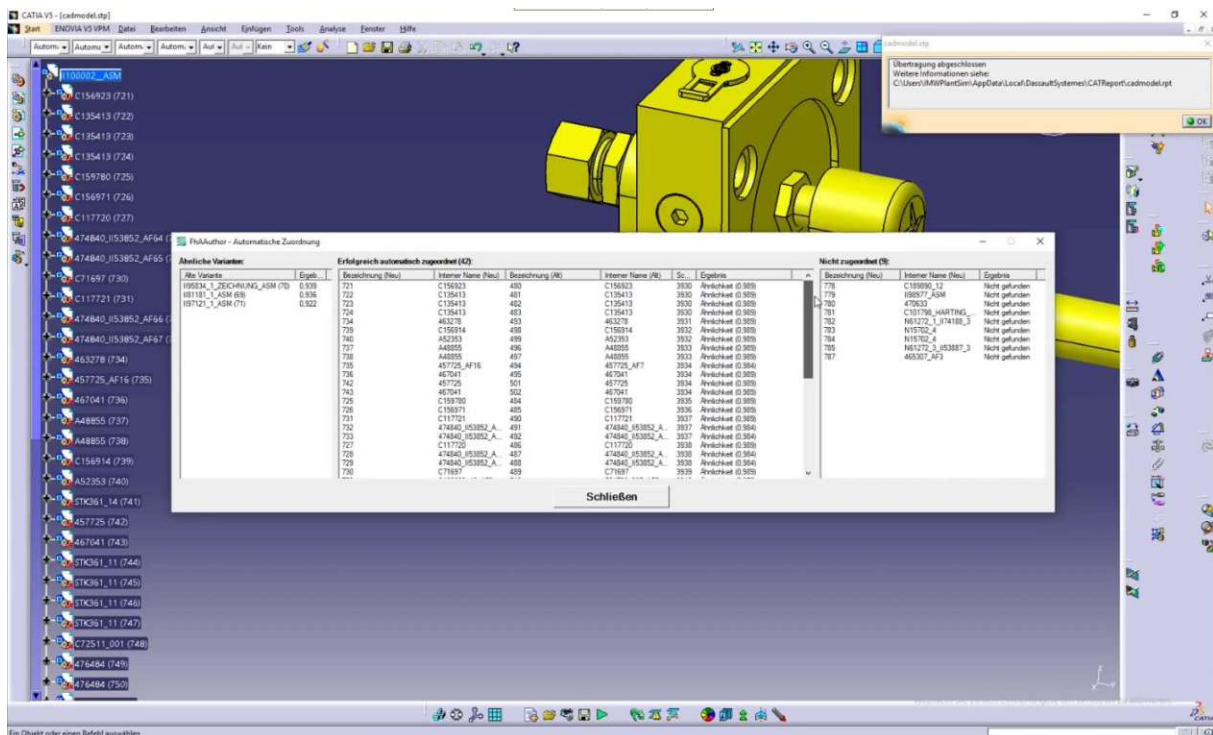


Abbildung 5-9: Vorschlag einer Montagesequenz

Das linke Feld zeigt hierbei an, welcher anderen Variante die aktuelle Variante am ähnlichsten ist und somit auch welcher Montageablauf als Vorschlag benutzt wird. Das mittlere Feld vergleicht die Ähnlichkeit der einzelnen Bauteile und gibt an welches Bauteil der alten Variante welchem Bauteil der aktuellen Variante zugeordnet wird. Im rechten Feld wird angegeben, welche Bauteile der aktuellen Variante nicht zugeordnet werden konnten, und somit die Aufmerksamkeit des Benutzers erfordern. Während den Tests wurde für jede Variante die nicht zuordenbaren Bauteile einem Montageschritt manuell zugeordnet.



Abbildung 5-10: Darstellung in WFS ELAM

Nachdem die Montagesequenz in der CATIA V5 Umgebung festgelegt wurde, ermöglicht der Softwareprototyp eine Umwandlung, so dass die Sequenz in einem WFS dargestellt werden kann. Während den Tests wurde das WFS ELAM von *Armbruster Engineering*¹⁷⁴ zur Darstellung benutzt. Abbildung 5-10 zeigt einen fertig erstellten Montageschritt in diesem WFS.

Resultate

Während den Tests wurde für insgesamt acht verschiedene Varianten der SDN 31.1 Sandungsanlagen, versucht Montagesequenzen zu erstellen. Hierbei lag der Fokus darauf, zu überprüfen, ob:

- Montagesequenzen manuell erstellt und angepasst werden können,
- für neu eingelesene Varianten passende Montagesequenzen vorgeschlagen werden können,
- die automatische Zuordnung der Bauteile neuer Varianten zu Montageschritten erfolgreich und korrekt funktioniert, sowie ob

¹⁷⁴ vgl. URL: <https://www.armbruster.de/> (06.03.2022)

- die erstellten Sequenzen korrekt in ein WFS übertragen werden können.

Im Folgenden wird genauer beschrieben was gut und schlecht funktioniert hat.

Trotz der Möglichkeit einer automatischen Generierung ist die manuelle Erstellung und Überprüfung von Montagesequenzen noch immer ein essenzieller Aspekt. Während den Tests hat die manuelle Erstellung gut funktioniert, die Arbeitsschritte konnten ohne große Schwierigkeiten erstellt werden. Durch die farbliche Markierung von bereits verplanten Bauteilen konnte der Prozess vereinfacht werden. In puncto *Usability* gibt es jedoch noch Verbesserungspotenzial. Zum einen ist die Erstellung der Visualisierungen ein relativ mühsamer Prozess, da einerseits die Ansicht auf das Produkt bei jedem Schritt eingestellt werden muss und andererseits nicht benötigte oder die Sicht versperrende Bauteile händisch ausgeblendet werden müssen. Ein weiterer Verbesserungsansatz im Bereich *Usability* wäre die Möglichkeit, gleichzeitig die graphischen Benutzeroberflächen des Prototyp Plug-ins (wie etwa das Übersichtsfenster für alle Arbeitsschritte und das Detaillierungsfenster einzelner Schritte) und die Oberfläche von CATIA V5 bedienen zu können. Dies würde insbesondere die Anpassung vorgeschlagener Montagesequenzen erleichtern.

Das Vorschlagen passender Montagesequenzen hat für einige Varianten sehr gut funktioniert, für andere nicht. Bei den erfolgreichen Varianten wurde erkannt, dass die Bauteile ähnlich oder identisch mit den Komponenten bereits benutzter Varianten sind. Es wurde auch erkannt, welche Bauteile unterschiedlich sind und vom Benutzer neu zugeordnet werden müssen. Bei einigen Varianten konnte der Algorithmus die Bauteile nicht zuordnen. Es wurde festgestellt, dass dies vor allem mit der Struktur der zur Verfügung gestellten Bauteile zu tun hat. Sobald die in der STEP-Datei benutzte Produktstruktur mehrere Ebenen hatte (sprich untergeordnete Baugruppen) war eine Zuordnung nicht möglich. Bei der benutzten Version des Prototyps war es zudem nicht möglich manuell auszuwählen, zugrunde welcher Variante die neue Sequenz erstellt werden soll, die Auswahl wurde automatisch vom System auf Basis der prozentmäßig größten Übereinstimmung getroffen. Eine Verbesserung des Algorithmus könnte auch dadurch erreicht werden, dass die vorgeschlagene Montagesequenz nicht nur auf Basis einer Variante erstellt wird, sondern auf Basis aller verfügbaren Varianten, so dass die generierte Sequenz quasi durch eine Kombination aller bestpassenden Subsequenzen erstellt wird.

Die erstellten Sequenzen konnten alle erfolgreich in das WFS übertragen werden. Auch die automatisch generierten Montagebeschreibungen konnten erfolgreich erstellt werden. Ein Problem war hierbei jedoch, dass die Bauteile in den zur Verfügung gestellten STEP-Dateien nur mit Identifikationsnummern betitelt waren. Hierdurch wurden diese, für den Monteur unverständlichen Identifikatoren, für die Montageanweisung benutzt. Für einen erfolgreichen Einsatz der automatischen Textgenerierung in der Praxis, müssten die Bauteile der STEP-Dateien entweder

korrekt betitelt werden oder die Funktionalität der Software müsste so erweitert werden, dass sie die Identifikationsnummern richtig ‚übersetzen‘ kann, etwa durch einen Vergleich mit den im PLM-System hinterlegten Stücklisten.

5.2.4 Evaluation und Vergleich

Anhand der in diesem Kapitel besprochenen Prozessbeschreibungen, Ergebnisse der SWOT-Analysen und Testresultaten werden die verschiedenen Möglichkeiten der Erstellung von Arbeitsanweisungen verglichen. Ziel ist es so konkrete Anforderungen an den Einsatz der Software zu eruieren. So können einerseits Stärken der bestehenden Methoden als mögliche Anforderungen für den Prototyp gesehen werden. Andererseits können Schwächen der bestehenden Methoden auch als Anhaltspunkte für zukünftige Verbesserungen dienen. Der Vergleich wird anhand sechs Kategorien gezogen, welche so gewählt wurden, dass sie die während des Projekts besprochenen Inhalte bestmöglich widerspiegeln. Während den Expertengesprächen haben sich diese sechs Bereiche als ausschlaggebende Themengebiete herauskristallisiert. Die definierten Kategorien sowie eine kurze Beschreibung dieser sind in Tabelle 5-3 ersichtlich. Zur besseren Lesbarkeit werden während dieses Vergleiches die Methoden wie folgt abgekürzt:

- Methode A: die Erstellung einer Arbeitsanweisung mittels Office.
- Methode B: die Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink.
- Methode C: die Generierung einer Arbeitsanweisung mittels Prototyps.

Kategorie	Beschreibung
Benutzerfreundlichkeit und Handhabung	In dieser Kategorie wird die Handhabung, Bedienbarkeit und Benutzerfreundlichkeit der verschiedenen Tools verglichen. Insbesondere soll bewertet werden, wie einfach und schnell eine Arbeitsanweisung erstellt werden kann.
Qualität	Es wird beurteilt, inwiefern die verwendete Methode der Erstellung einen Einfluss auf die Qualität der Arbeitsanweisung und demzufolge auch auf die Qualität des Endproduktes hat.
Visualisierungen und Graphiken	Bestehende Möglichkeiten zur Erstellung und Einbringung von Graphiken und Visualisierungen des Produktes in die Arbeitsanweisungen werden verglichen.

Variantenmanagement	Es wird besprochen, wie die Erstellung der Arbeitsanweisungen von ähnlichen Produktvarianten gehandhabt wird und welche Synergien genutzt bzw. nicht genutzt werden.
Änderungsmanagement	Die Möglichkeiten der Editierung und der leichten Änderung von bestehenden Arbeitsanweisungen werden diskutiert.
Integrationsvermögen	Es wird verglichen, inwiefern die vorgestellten Methoden mit anderen Systemen interagieren können und ob Synergien genutzt werden können.

Tabelle 5-3: Festgelegte Kategorien für Methodenvergleich

Benutzerfreundlichkeit und Handhabung

Laut der Expertenmeinung von KB erlaubt der Gebrauch von Methode A, im Vergleich zur Methode B, die einfachste und schnellste Erstellung der Arbeitsanweisung, jedenfalls zum Zeitpunkt der Durchführung des Interviews. Einerseits ist dies wohl darauf zurückzuführen, dass Methode A klassische Office-Anwendungen benutzt, womit der Großteil der Nutzer bereits vertraut ist. Andererseits ist Methode A schon seit Jahren im Gebrauch und die Benutzer sind dementsprechend trainiert mit dem Prozess und dem Umgang mit der Software. Methode B setzt eine gewisse digitale Kompetenz des Nutzers voraus. Außerdem muss der Nutzer kompetent im Umgang mit der Windchill PLM Umgebung sein. Da Windchill PLM und MPMLink relativ neu für die Nutzer sind, und Methode B zum Zeitpunkt dieser Arbeit nur für eine kleine Gruppe von Produkten eingesetzt wird, kann argumentiert werden, dass es weitere Routine und zusätzliches Training zum effektiveren Einsatz von Methode B benötigt wird. Ein weiterer Punkt, der die, zumindest subjektiv wahrgenommene, benötigte Zeit bei Methode B beeinflusst, ist die notwendige Erstellung der mBOM für den Prozessplan. Dieser Schritt, welcher das manuelle Anklicken und Vernetzen von Bauteilen bei jeder Produktvariante erfordert, ist zwar nützlich für die Nachverfolgung von Änderungen, jedoch nicht wertschöpfend für die Erstellung der Arbeitsanweisung.

Methode C bietet einige gute Ansätze die Erstellung von Arbeitsanweisungen zu erleichtern, welche in der Form nicht von den anderen Methoden bereitgestellt werden. Hierzu gehören zum Beispiel die automatische Generierung von Beschreibungstext, die Möglichkeit Bauteile durch einfaches Anklicken in der Konstruktionssoftwareumgebung für einen Arbeitsschritt auszuwählen, oder die farbliche Kennzeichnung bereits verplanter Bauteile. In anderen Bereichen hinkt Methode C den anderen beiden Methoden jedoch hinterher. Wie bereits erläutert, ist es nicht möglich gleichzeitig Arbeitsschritte zu editieren und die Konstruktionsumgebung zu bedienen (In der Windchill PLM Umgebung bei Methode

B ist es möglich gleichzeitig Informationen zum Produkt einzusehen und Schritte des Prozessplans zu erstellen). So können die benötigten Bauteile für einen Arbeitsschritt nur vor dem Öffnen des Arbeitsschritteditors ausgewählt werden. Des Weiteren wird für das Arbeiten mit Methode C auch wiederum ein gewisses Maß an Training und Routine vorausgesetzt, da sich die Benutzer wieder an ein neues System gewöhnen müssen.

Qualität

Methode C ermöglicht im jetzigen Zustand keine einfache Möglichkeit der Qualitätsprüfung der generierten Arbeitsanweisungen. Zur Sicherstellung der Qualität sollte es möglich sein, dass der erstellte Inhalt von anderen Benutzern und Arbeitsbereichen (wie der Qualitätsabteilung) überprüft wird. Methode B hatte zwar zur Zeit der Expertenbefragung noch keinen integrierten Qualitätsfreigabeprozess, dieser sei aber laut der Experten in Planung. Des Weiteren bietet Methode B die Möglichkeit der einfachen Bearbeitung des Prozessplans von verschiedenen Benutzern durch die zentrale Datenspeicherung in Windchill PLM, was bei Methode C nicht möglich ist.

In Puncto Qualitätsverbesserung des Arbeitsprozesses bringen Methode B und Methode C klare Vorteile gegenüber Methode A, da sie die Darstellung und Kontrolle des Arbeitsablaufes in einem WFS unterstützen. Einerseits erlaubt das WFS die Speicherung von prozessrelevanten Daten, welche später für Qualitätszwecke verarbeitet werden können. Andererseits kann die korrekte Durchführung der Arbeitsschritte zeitgleich mit dem tatsächlichen Arbeitsablauf kontrolliert und überprüft werden. Die Bereitstellung der Montageanweisungen mittels PDF-Datei oder in Papierform, wie bei Methode A vorgesehen erlaubt dies nicht.

Visualisierungen und Graphiken

Die Einbringung von dreidimensionalen Produktvisualisierungen oder unterstützenden Graphiken in die Arbeitsanweisung kann das Verständnis des Arbeitsprozesses und der durchzuführenden Schritte stark vereinfachen. Wie bereits für Methode A beschrieben, kann die Erstellung und Bearbeitung der Graphiken jedoch aufwendig für den Prozessplaner sein. Methode B sieht theoretisch die Möglichkeit vor, im PLM-System gespeicherte 3D-Produktstrukturen in den Prozessplan miteinzubringen. Laut dem befragten Experten ist diese Funktionalität zum Zeitpunkt der Befragung noch nicht integriert, wodurch der Prozessplaner die Visualisierungen wieder aufwendig manuell erstellen muss. Im Vergleich hierzu bietet Methode C durch die Aufnahme von Bildschirmaufnahmen während des Erstellungsprozesses, sowie durch das Ein- und Ausblenden von Bauteilen im CAD-Editor, die Möglichkeit Produktvisualisierungen in die Arbeitsanweisung zu integrieren. Was zurzeit bei Methode C nicht möglich ist, ist das Anhängen oder

Integrieren von Dokumenten oder Graphiken in einen Arbeitsschritt. Des Weiteren ist es auch nicht möglich die Visualisierungen oder Graphiken zu editieren (Linien, Pfeile, Beschreibungen einfügen), wie es etwa bei Microsoft Word (Methode A) möglich ist. Dies, sowie die Möglichkeit die aufgenommenen Bildschirmaufnahmen bei Methode C bereits während der Erstellung zu überprüfen und in der Software darzustellen, würden mögliche Verbesserungen des Prototyps darstellen.

Variantenmanagement

Das effektive Management der Erstellung von Arbeitsanweisungen für ähnliche Produktvarianten ist in der modernen Produktion und Montage von großer Bedeutung. Durch die Anpassung der Produkte an die Wünsche einzelner Kunden gibt es eine große Anzahl an Varianten und dadurch auch den Anspruch an den Prozessplaner eine Arbeitsanweisung für jede Variante zu erstellen. Besonders bei der Benutzung eines WFS für die Montage ist das Vorhandensein eines Prozessplanes, welcher auf die Montage des Produktes maßgeschneidert ist, in der Regel unabdingbar. Methode A stellt keine Hilfe für das Variantenmanagement bereit, es können lediglich bereits erstellte Arbeitsanweisungen oder Teile davon manuell kopiert und in der neuen Anweisung eingesetzt werden. Dies hat in der Vergangenheit bei KB dazu geführt, dass es für viele Produktgruppen nur eine generische Arbeitsanweisung gibt, da der Aufwand für die Anweisungserstellung sonst zu groß gewesen wäre. Hiermit verbunden sind aber Einbuße im Bereich der Qualität und Prozesssicherheit. Methode B stellt auch kein ausreichendes Variantenmanagement zur Verfügung. Im Vergleich zu Methode A kann lediglich die Möglichkeit der Erstellung und Wiederverwendung von Standards als positiver Aspekt angesehen werden. Methode C versucht genau dieses bereits beschriebene Problem der Variantenvielfalt zu lösen, indem ein Algorithmus zur Generierung von Content für WFS auf Basis bereits erstellter Anweisungen genutzt wird. Um Methode C jedoch effektiv im industriellen Alltag nutzen zu können, wäre ein weiterer Ausbau des Variantenmanagements von Vorteil. Denkbar wäre es zum Beispiel die Software um ein übersichtliches Menü zu erweitern, welches alle verfügbaren, bereits erstellten Varianten eines Produktes anzeigt.

Änderungsmanagement

Sowohl Methode A als auch Methode B stellen laut Experteninterview keine ausreichenden Funktionalitäten für ein effektives und rasches Ändern von Arbeitsanweisungen zur Verfügung. Bei beiden Methoden kommt es zu dem Problem, dass bei notwendigen Änderungen der Arbeitsanweisung, etwa infolge einer Kundenbeschwerde, diese Änderungen bei allen Varianten und somit auch allen Arbeitsanweisungen manuell durchgeführt werden müssen. Dies ist wiederum mit erheblichem Aufwand verbunden. Auch Methode C hat derzeit keine spezielle Funktion, um dieses Problem zu erleichtern. Es soll an dieser Stelle angemerkt

werden, dass Methode B jedoch den Vorteil mit sich bringt, dass es einen direkten Kommunikationsfluss zwischen Konstruktion und Produktion durch die Windchill PLM Umgebung gibt. Die Vernetzung von eBOM und mBOM erlaubt es dem Prozessplaner so genau zu wissen, welche Bauteile, welche Produkte und welche Prozesspläne infolge einer Änderung durch die Konstruktion angepasst werden müssen. Für Methode C wäre es jedoch denkbar, die Software um die Funktion zu erweitern, mehrere Varianten einer Produktfamilie in einem Schritt anpassen zu können. Diese Funktion könnte von der gleichen Basis ausgehen wie die Erstellung eines Vorschlags für eine Montagesequenz: Bei einer Änderung eines Montageschrittes könnte auf Wunsch des Prozessplaners die Änderung bei dem gleichen Montageschritt ähnlicher Varianten durchgeführt werden, wobei diese Ähnlichkeit entweder durch eine vorher durchgeführte manuelle Zuordnung oder durch den gleichen Algorithmus wie beim Sequenzvorschlag festgestellt wird.

Integrationsvermögen

Ein großer Vorteil von Methode B ist die nahtlose Integration in bestehende Prozesse und Anwendungen. Eine wesentliche Rolle spielt hierbei die Tatsache, dass der Großteil der Anwendungen aus dem Hause PTC ist. Durch die Integration von MPMLink in Windchill PLM sowie die Vernetzung der industriellen Anwendungen untereinander mittels ThingWorx, wird eine vertikale Integration und eine zentrale Datenspeicherung ermöglicht (die Subsysteme MPMLink, Windchill PLM und ThingWorx werden in Kapitel 5.3 genauer erläutert). Gleichzeitig ist ersichtlich, dass das Arbeiten mit Methode A nicht zukunftssicher ist, da die Nutzung von durch PLM, IoT oder künstlicher Intelligenz begünstigten Synergien nicht möglich ist. Im derzeitigen Zustand ist Methode C in eine Konstruktionssoftware integriert. Für die Tests war dies CATIAV5, eine Integration in andere Software, wie zum Beispiel PTC CREO, ist aber auch von den Entwicklern angestrebt. Im Vergleich zu Methode B hat Methode C den Nachteil, dass es zurzeit keine direkte Integration mit einem PLM-System gibt. Methode B kann von bereits bestehenden Schnittstellen des PLM-Systems profitieren, während für Methode C diese extra programmiert werden müssen.

5.3 Systeme, Datenfluss und Schnittstellen bei Knorr-Bremse

5.3.1 Beschreibung der Systeme

5.3.1.1 CAPS

CAPS steht für *Computer Aided Production System*. Es handelt sich um ein unternehmensinternes System und wird bei KB sowohl zur Planung als auch zur

Unterstützung der Montage beziehungsweise der Produktion eingesetzt. Die Grundidee bei der Entwicklung des Systems ist die vertikale Integration und Kollaboration von Konstruktion und Fertigung. Ziel ist es, die durch Informationssysteme wie PLM und ERP ermöglichten Synergien, so zu nutzen, dass eine prozessorientierte Arbeitsweise möglich ist. Es soll nur noch eine zentrale Informationsquelle geben und ein einfaches Teilen von Daten zwischen Teams und Standorten soll ermöglicht werden.

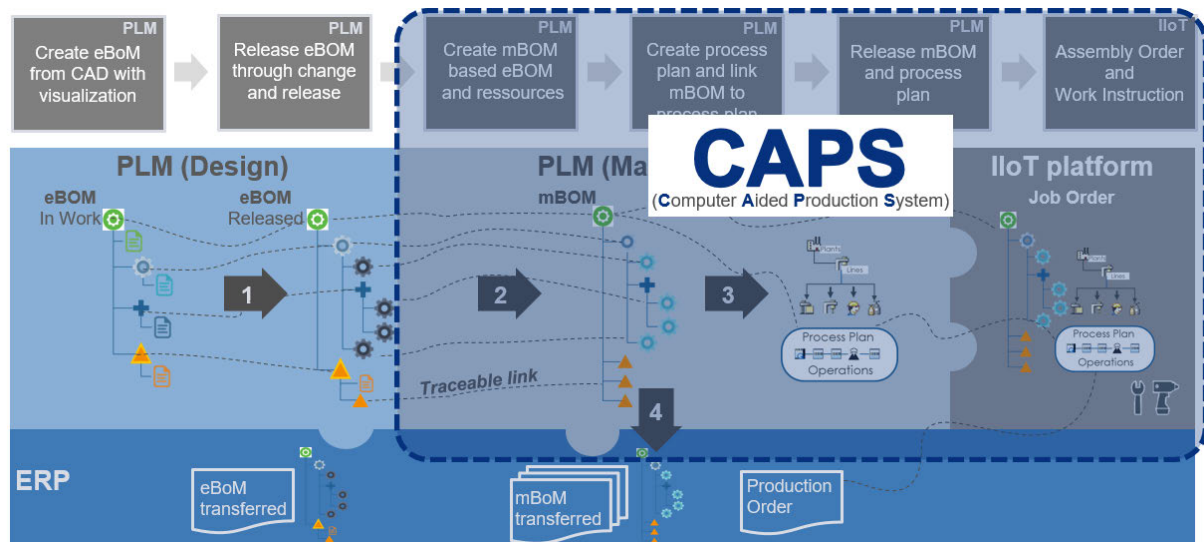


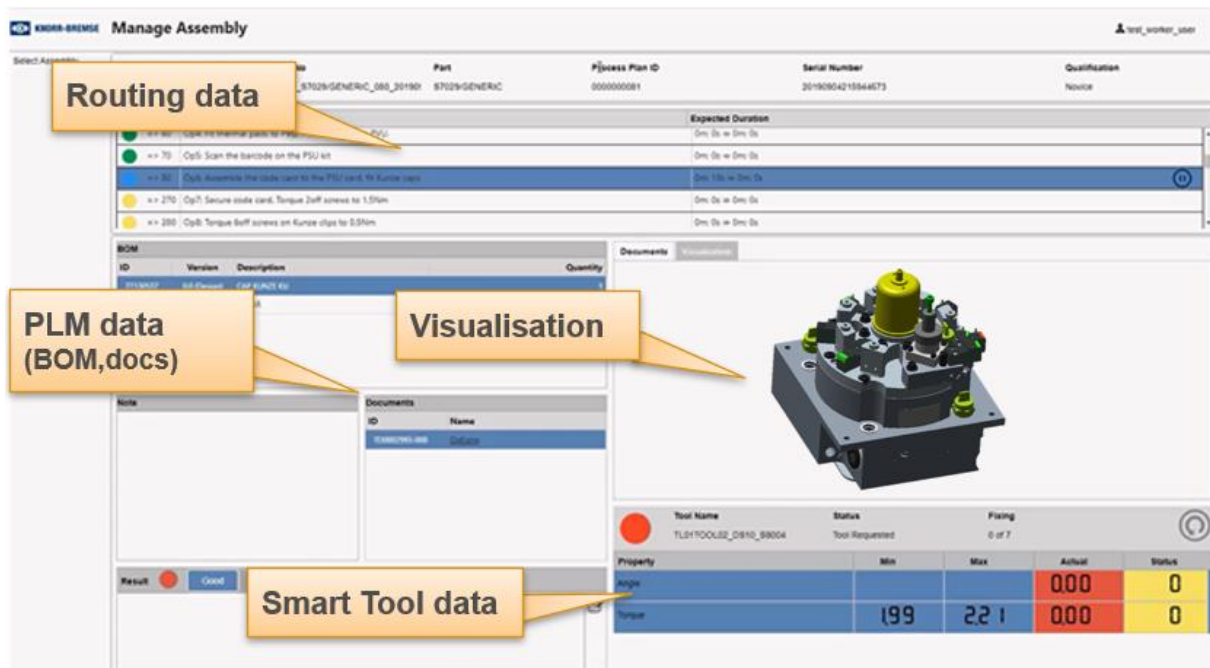
Abbildung 5-11: Prozessorientierte Arbeitsweise mit CAPS¹⁷⁵

Abbildung 5-11 zeigt, wie ein prozessorientiertes Arbeiten mit CAPS ermöglicht wird. Wesentlich hierbei ist die Erstellung einer mBOM und des Prozessplans mit MPMLink. Der dies beschreibende Prozess ist in Kapitel 5.2.2 erläutert. Die auf Windchill PLM basierende MPMLink Software wird im nächsten Kapitel beschrieben.

CAPS übernimmt auch die Rolle der Vernetzung aller Shopfloor Geräte durch das Bereitstellen einer IloT-Plattform. Hierzu wird die ThingWorx Plattform von PTC genutzt. Auch dieses System wird in den hierauf folgenden Kapiteln beschrieben.

Eine weitere Aufgabe von CAPS ist die Werkerführung und das Bereitstellen einer Benutzeroberfläche für den Monteur bzw. den Maschinenoperator auf dem Shop Floor. Abbildung 5-12 zeigt die graphische Benutzeroberfläche, die den Operator mit Informationen versorgt. Zu sehen sind die Arbeitsschritte des Prozessplans, Daten aus dem PLM-System, wie etwa Stücklisten und Zeichnungen, eine 3D Visualisierung sowie Informationen bezüglich der angebundenen Werkzeuge und Geräte.

¹⁷⁵ übernommen aus unternehmensinterner Präsentation

Abbildung 5-12: CAPS Shop Floor Benutzeroberfläche¹⁷⁶

5.3.1.2 Windchill PLM & MPMLink

Windchill ist die PLM Lösung von PTC. Windchill ist eine Web-basierte Plattform, welche die Produktdaten eines Unternehmens verwaltet und den Nutzern bereitstellt.¹⁷⁷ Windchill MPMLink ist ein Modul von Windchill PLM, wobei MPM für *Manufacturing Process Management* steht. In MPMLink inkludierte Funktionen sind:

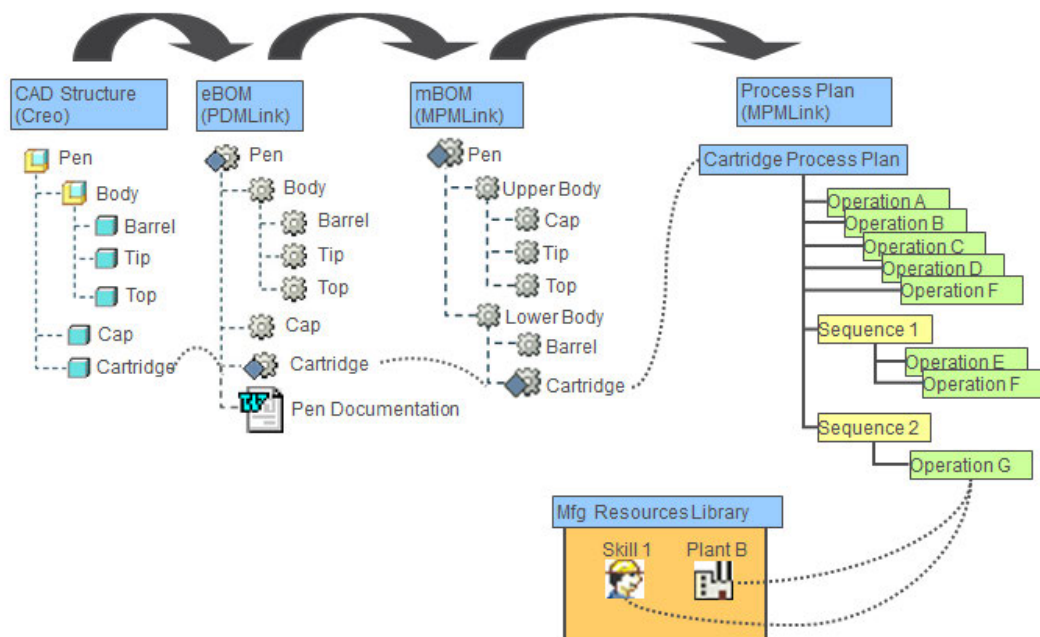
- Erstellung und Management von Prozessplänen und Arbeitsanweisungen,
- Stücklistenmanagement,
- Kontrollgrößenmanagement,
- sowie Veränderungsmanagement,

Mithilfe MPMLink wird ein Werkzeug bereitgestellt, welches es ermöglicht mithilfe von Konstruktionsdaten Prozesspläne zu erstellen und zu verwalten. Abbildung 5-13 demonstriert, wie eine Umwandlung von einer klassischen CAD-Struktur in eine Konstruktionsstückliste (eBOM) in eine Produktionsstückliste (mBOM) und schlussendlich in einen Prozessplan realisiert werden kann.¹⁷⁸

¹⁷⁶ übernommen aus unternehmensinterner Präsentation

¹⁷⁷ vgl. URL: <https://www.ptc.com/de/products/windchill> (27.01.2022)

¹⁷⁸ vgl. URL: <https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html> (27.01.2022)

Abbildung 5-13: Datenumwandlung mit MPMLink¹⁷⁹

5.3.1.3 ThingWorx & Kepware

ThingWorx ist eine von PTC entwickelte IIoT-Plattform. Zu den Aufgaben einer IIoT-Plattform gehört das Management von Geräten, Werkzeugen und Anwendungen sowie die Vereinfachung von Kommunikation und Datenflüssen zwischen diesen. Die Plattform stellt zudem die nötigen Schnittstellen und Datenspeicherungssysteme für einen erfolgreichen Einsatz aller Geräte und Anwendungen zur Verfügung. Ziel einer IIoT-Plattform ist es Daten aus allen möglichen Quellen sicher und einfach zu sammeln und zu verarbeiten.¹⁸⁰

Die ThingWorx Plattform bietet folgende Kernfunktionalitäten:¹⁸¹

- Die Vernetzung der *Things*, wie etwa Geräte, Werkzeuge, Anlagen, aber auch Anwendungen, untereinander. Eine wichtige Rolle spielt hierbei Kepware.
- Die Möglichkeit einfach, ohne Fachkenntnisse IIoT-fähige Anwendungen erstellen und integrieren zu können. ThingWorx stellt hierfür das Fundament und die Bausteine mittels benutzerfreundlicher Tools zur Verfügung.
- Die Fähigkeit mithilfe künstlicher Intelligenz und *Machine Learning* große Mengen an Daten zu analysieren. Diese können anschließend zu Präventions-, Entscheidungs- und Diagnosezwecken genutzt und visualisiert werden.

¹⁷⁹ übernommen von https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Enter%2FExpMPM_Architecture.html%23 (27.01.2022)

¹⁸⁰ vgl. Perry, 2016, S. 2f

¹⁸¹ vgl. PTC, 2020

- Eine benutzerfreundliche Verwaltung aller Geräte, Systeme und Benutzer im IIoT-Netzwerk.

Kepware ist ein Modul der ThingWorx Plattform, welches die Aufgabe der Kommunikation, Vernetzung, Verwaltung und Steuerung der Geräte und Anwendungen im IIoT-Netzwerk übernimmt.¹⁸² Kepware übernimmt die Rolle eines zentralen Zugriffspunktes für alle Daten im Netzwerk. Dies ist in Abbildung 5-14 exemplarisch dargestellt.

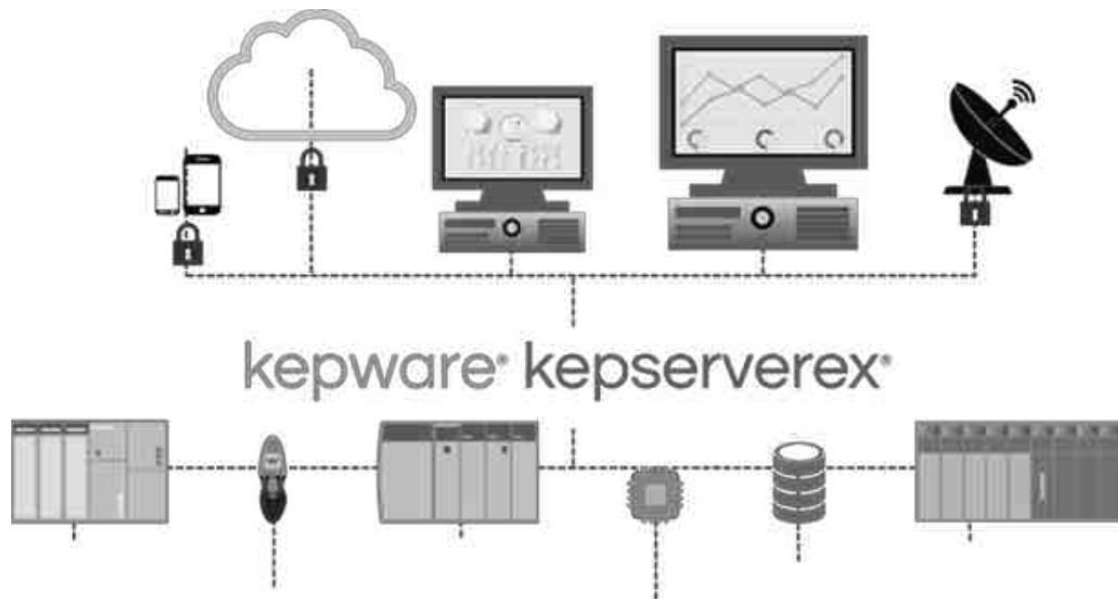


Abbildung 5-14: Kepware im IIoT-Netzwerk¹⁸³

Kepware realisiert die Vernetzung zwischen den *Things* indem es Schnittstellen und Treiber für die Anbindung anbietet. Einerseits stellt die Software proprietäre Schnittstellen für eine breite Palette an Hardwareanbietern zur Verfügung. Andererseits wird die Anbindung von ERP, MES oder anderen Kontrollsystemen über OPC UA ermöglicht. Des Weiteren wird ODBC als Schnittstelle zum Datenbankzugriff, sowie MQTT und REST als Schnittstellen zur Cloud unterstützt.¹⁸⁴

5.3.2 Datenfluss und Schnittstellen

Im Folgenden wird der Datenfluss für den Prozess der Informationserstellung und -darstellung der Montage bei KB dargestellt und beschrieben. Einen ersten Überblick soll das in Abbildung 5-15 dargestellte Kontextdiagramm verschaffen.

¹⁸² vgl. URL: <https://www.kepware.com/de-de/products/kepserverex/> (25.02.2022)

¹⁸³ übernommen aus Gallasch, 2018, S. 84

¹⁸⁴ vgl. ebd., S. 84f

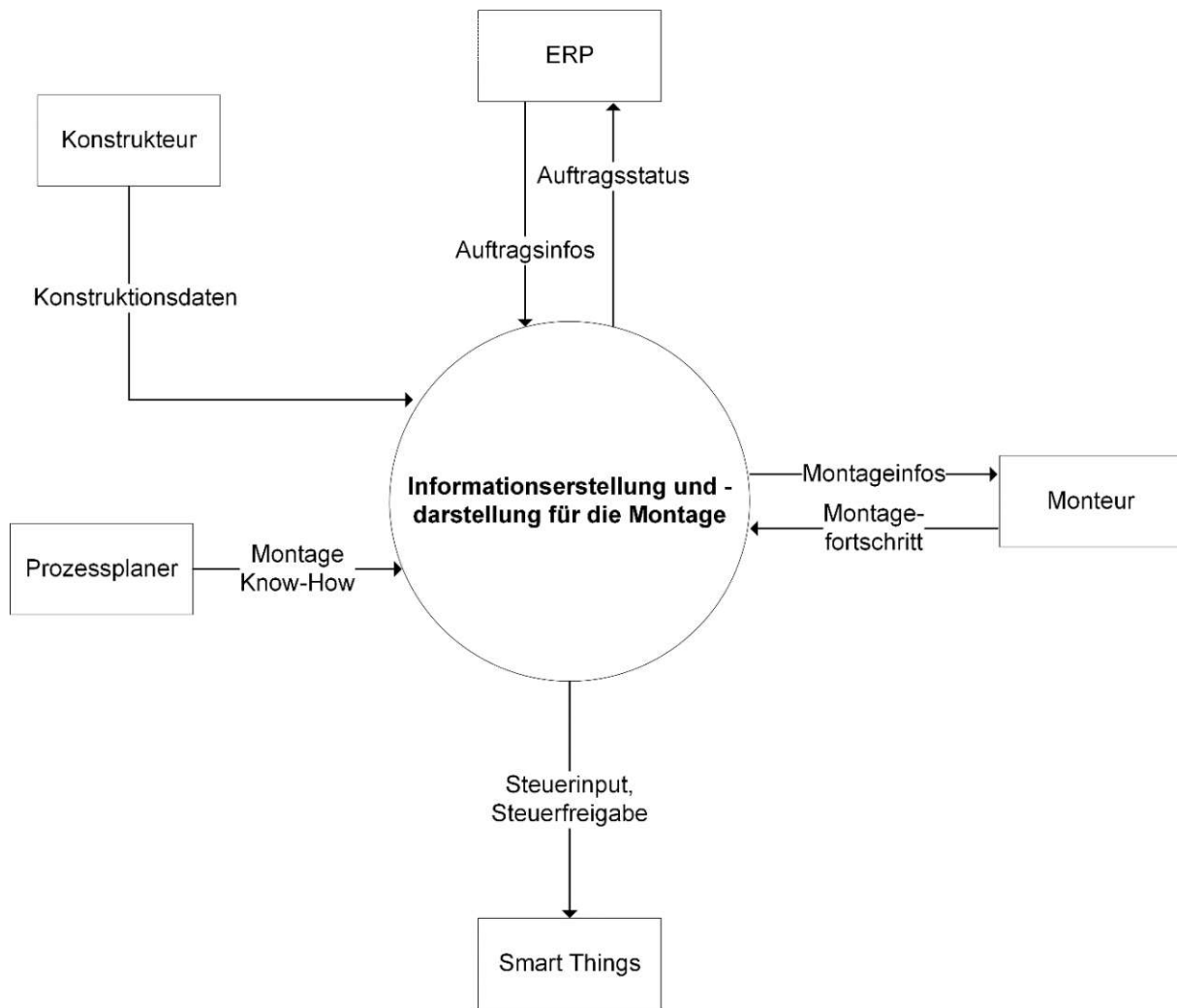


Abbildung 5-15: Kontextdiagramm für den Prozess der Informationserstellung

Zentral zu sehen ist der Prozess der Informationserstellung und -darstellung. Es führen verschiedene Datenflüsse zum Prozess bzw. vom Prozess weg. Diese können als Nettoinputs und -outputs des betrachteten Systems verstanden werden. Die Datenflüsse interagieren mit den systemexternen Entitäten. Zu diesen Datenquellen gehören:

- der Prozessplaner, welcher den Prozess mit Montage *Know-How* versorgt,
- der Konstrukteur, welcher Konstruktions- und Produktdaten an das System liefert,
- das ERP-System, welches Informationen bezüglich der zu montierenden Aufträge an das System überträgt und im Gegenzug über den Auftragsstatus informiert wird,
- der Monteur, welcher mit Montageinformation versorgt wird und den Montagefortschritt an das System meldet, sowie
- die *Smart Things*, also intelligente Werkzeuge und Geräte, welche vom System sowohl eine Freigabe zur Benutzung als auch zur Steuerung benötigten Informationen erhalten.

In Abbildung 5-16 wird der im Kontextdiagramm (Abbildung 7-5) eingeführte Prozess *Informationserstellung und -darstellung für die Montage* genauer detailliert.

Die beschriebenen externen Datenquellen sind noch immer auf dem DFD zu finden, die mit ihnen interagierenden Datenflüsse führen jetzt jedoch zu verschiedenen Prozessen. Oben links auf dem DFD ist der Prozess *Prozessplan mit MPM Link erstellen* zu finden. Eine detaillierte Beschreibung dieser Vorgehensweise wurde bereits in Kapitel 6.2.1 mit BPMN realisiert. Als Inputs verwendet der Prozess einerseits das Montage *Know-How* des Prozessplaners und andererseits die von der Konstruktion im PLM-System hinterlegten Produktdaten. Hierzu gehören zum Beispiel technische Zeichnungen, CAD-Daten sowie die eBOM. Als Output liefert der Prozess einen fertigen Prozessplan sowie die dazugehörige mBOM. Im Prozessplan enthalten sind auch vom Prozessplaner festgelegte Steuergrößen, die nachher als Input für die der Montage assistierenden, intelligenten Werkzeuge dienen. Der Prozessplan wird zu diesem Zeitpunkt in der MPM Link und Windchill zugrundeliegenden Datenbank gespeichert.

Zentral auf dem DFD ist der Prozess *Verteilen der Daten mit Thingworx und Kepware* dargestellt. Die ThingWorx Plattform ermöglicht die Übertragung des in der Windchill Datenbank hinterlegten Prozessplans in die CAPS Datenbank. ThingWorx bietet auch eine Schnittstelle zum ERP-System. Einerseits können Informationen bezüglich des zu bearbeitenden Montageauftrags aus dem ERP-System extrahiert werden. Hierzu gehören zum Beispiel Auftragsnummer und Durchlaufzeiten. Andererseits werden auch Informationen bezüglich des Status des Auftrags, wie etwa, dass das Produkt gerade montiert wird, oder dass die Montage abgeschlossen ist, an das ERP-System rückgemeldet. Die aus dem ERP-System ausgelesenen Auftragsinformationen werden von ThingWorx in die CAPS Datenbank geschrieben, so dass diese durch die CAPS Benutzeroberfläche nachher dem Monteur, mitsamt allen anderen Montageinfos dargestellt werden können.

Der Prozess *Darstellen von Informationen im CAPS GUI* ist rechts auf dem DFD zu finden und stellt die Mensch-Maschine Schnittstelle in dem WFS dar. Dem Werker werden auf der CAPS Benutzeroberflächen Montageinformationen zu jedem Arbeitsschritt dargestellt.

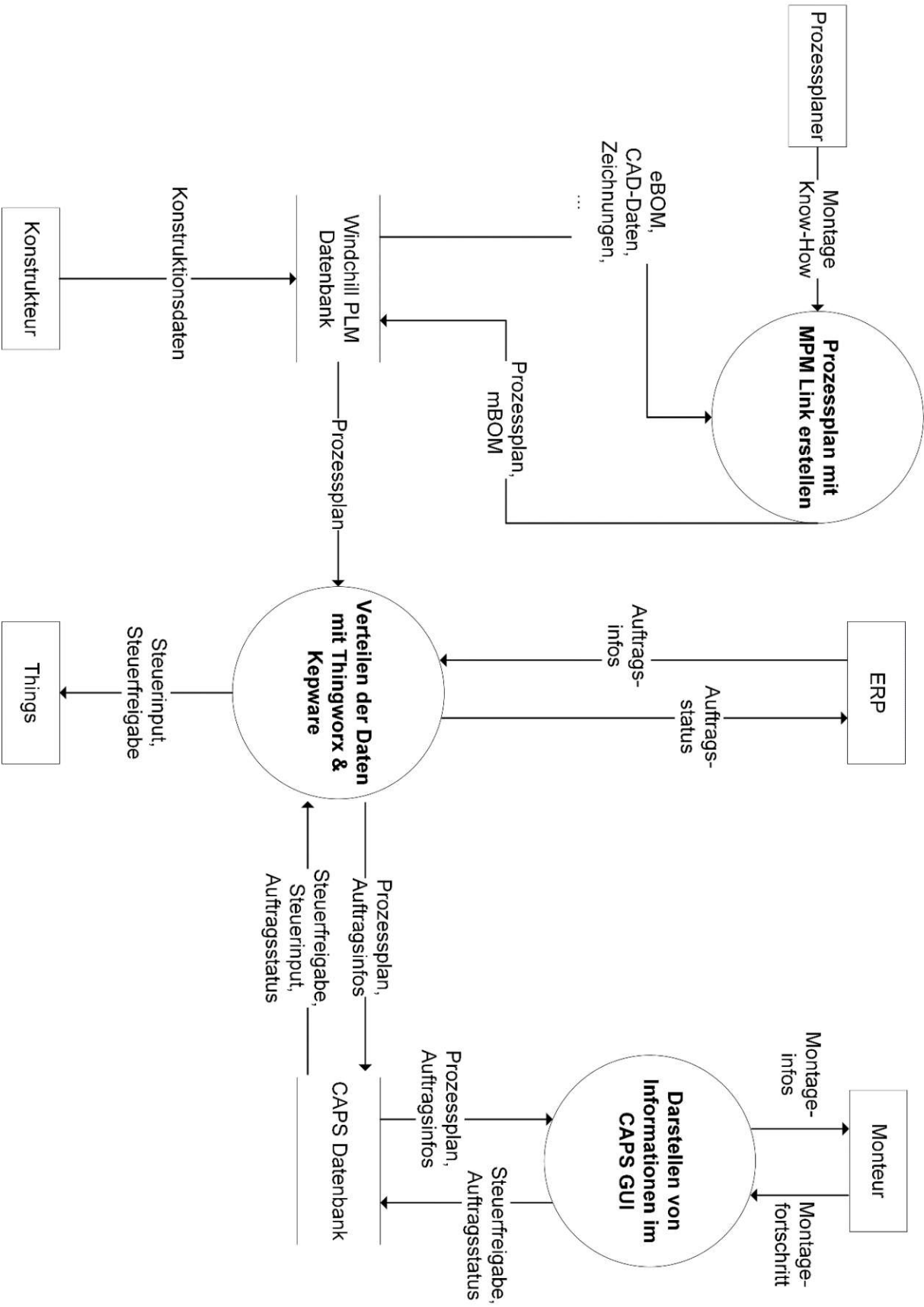


Abbildung 5-16: DFD der Informationserstellung und -darstellung bei der Montage

Hierfür benutzt der Prozess die durch den Prozessplan generierten und in der CAPS Datenbank gespeicherten Montagedaten sowie die durch das ERP-System bereitgestellten Auftragsinformationen. Ein weiterer Input des Systems ist die Meldung des Montagefortschrittes durch den Monteur. Dies kann automatisiert passieren, indem der Monteur die Produktbearbeitung mittels einer vernetzten Maschine beendet (zum Beispiel eine erfolgte Verschraubung) oder durch manuelles Interagieren mit der Benutzeroberfläche. Als Output liefert der Prozess, wie bereits erwähnt, Montageinformationen an den Monteur. Des Weiteren wird, sobald ein gewisser Arbeitsschritt erreicht wurde, eine Steuerfreigabe an die vernetzten *Things* gesendet. Diese Freigabe geht zuerst zur CAPS Datenbank, wo diese mit denen zum Montageschritt zugehörigen und mittels Prozessplan durch den Prozessplaner hinterlegten, Steuerinputs verknüpft wird. Anschließend werden die Steuerinputs und die Steuerfreigabe mittels der durch Kepware ermöglichten IIoT-Vernetzung an die *Things* auf dem Shopfloor gesendet.

5.4 Einteilung und Priorisierung der Anforderungen

Während dieses Projekts wurde aus mehreren Quellen Anforderungen zusammengetragen. Es wurden die Bedürfnisse der Stakeholder in Kapitel 5 aufgenommen, die verschiedenen Methoden zur Erstellung von Arbeitsanweisungen in Kapitel 6 miteinander verglichen und die Datenflüsse, Schnittstellen und Systeme bei KB in Kapitel 7 analysiert. Mithilfe der hierbei angewendeten Methoden konnte eine Liste an Bedürfnissen zusammengestellt werden. In einem nächsten Schritt wurden diese Bedürfnisse gruppiert und konkrete Anforderungen an eine Software zur automatisierten Erstellung von Arbeitsanweisungen formuliert.

Um genau definieren zu können, welche dieser Anforderungen besonders wichtig für einen erfolgreichen Einsatz der Software in der Industrie sind, und somit auch als Grundlage für weitere Forschungsarbeit dienen können, wurde ein Fragebogen erstellt. Ziel war es so, die zuvor eruierten Anforderungen in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsmerkmale einzuteilen. Von besonderem Interesse für die Kategorisierung waren hierbei die funktionalen Anforderungen. Für die Umfrage wurde die in Kapitel 3.3.5 beschriebene Vorgehensweise nach Kano benutzt.

Für die Einteilung mittels Fragebogen wurden nur solche Anforderungen selektiert, für welche eine Klassifizierung sinnvoll und machbar für die befragten Teilnehmer ist. Ausgeschlossen wurden technische Anforderungen sowie jene Anforderungen, welche als Voraussetzungen an das Unternehmen eingeteilt wurden. Bei der Umfrage wurden die Anforderungen in acht Fragegruppen eingeteilt:

- Automatisierte Erstellung – Datenimport,
- Automatisierte Erstellung – Text & Visualisierungen,
- Bedienung des Editors,

- Bedienung des Editors – Visualisierungen & Graphiken,
- Variantenmanagement,
- Freigabeworkflows & Teamarbeit,
- Integration mit anderen Anwendungen, und
- Änderungs- und Versionenmanagement.

Abbildung 5-17 zeigt einen Auszug des erstellten Fragebogens.

Automatisierte Erstellung - Datenimport

Wenn nicht nur STEP-Dateien, sondern auch Dateien im Format von PTC CREO importiert werden können, wie denken Sie darüber?

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

☐ 1. Das würde mich sehr freuen

☐ 2. Das setze ich voraus

☐ 3. Das ist mir egal

☐ 4. Das könnte ich in Kauf nehmen

☐ 5. Das würde mich sehr stören

Bitte geben Sie hier Ihren Kommentar ein:

Wenn nur STEP-Dateien, und keine Dateien im Format von PTC CREO importiert werden können, wie denken Sie darüber?

📌 Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

☐ 1. Das würde mich sehr freuen

☐ 2. Das setze ich voraus

☐ 3. Das ist mir egal

☐ 4. Das könnte ich in Kauf nehmen

☐ 5. Das würde mich sehr stören

Bitte geben Sie hier Ihren Kommentar ein:

Abbildung 5-17: Auszug des Fragebogens

Die Erstellung des Fragebogens wurde mit dem Online-Umfragetool *LimeSurvey*¹⁸⁵ realisiert. Es wurden insgesamt vier Experten von KB eingeladen um an der Umfrage teilzunehmen, wovon zwei die Umfrage beantwortet haben. Als Experten wurden Mitarbeiter des Produktionsbereiches ausgewählt, welche ausreichende Kenntnisse der im Fragebogen behandelten Systeme und Prozesse haben. Hierzu gehören Prozessplaner sowie Spezialisten der Montagetechnologie.

Insgesamt konnten mithilfe des Fragebogens 35 Anforderungen eingeteilt werden. Hiervon wurden drei als Begeisterungsanforderungen, zwei als Basisanforderungen sowie 28 als Leistungsfaktoren eingestuft. Zusätzlich konnten zwei Anforderungen als irrelevant identifiziert werden.

In diesem Kapitel wurde das vorher eingeführte Vorgehensmodell leicht angepasst und bei KB zur Anforderungserhebung angewendet. Mittels eines Workshops und

¹⁸⁵ URL: <https://www.limesurvey.org/de/> (03.03.2022)

der Use Scenario Methode wurden die Bedürfnisse der Stakeholder des Softwaresystems aufgenommen. Des Weiteren wurden zwei Prozesse zur Informationserstellung von KB, das Erstellen einer Arbeitsanweisung mit Office und das Erstellen eines Prozessplans mit MPMLink, aufgenommen, mithilfe der SWOT-Methode analysiert und anschließend mit der Vorgehensweise zur Informationserstellung mithilfe des Softwareprototypen von Fraunhofer verglichen. Das Resultat hiervon war die Eruiierung von Anforderungen in den Bereichen Benutzerfreundlichkeit und Handhabung, Qualität, Visualisierungen und Graphiken, Varianten- und Änderungsmanagement, sowie Integrationsvermögen. Außerdem wurden die Landschaft aller an der Informationserstellung und -darstellung beteiligten Systeme mittels eines DFD dargestellt. Systeme wie CAPS, Windchill PLM, ThingWorx und MPMLink wurden erklärt. Anschließend wurde gezeigt, wie die aus den drei Vorgehenssträngen resultierenden Anforderungen mittels einer Kano-Umfrage klassifiziert wurden. Das Ergebnis dieses Kapitels ist eine Liste an klassifizierten und priorisierten Anforderungen, welche in einem Lastenheft für KB festgehalten wurden. Im nächsten Kapitel werden die Ergebnisse dieser Diplomarbeit noch einmal genauer zusammengefasst und diskutiert.

6 Ergebnisse, Diskussion und Ausblick

6.1 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

In den folgenden Abschnitten werden die Ergebnisse dieser Diplomarbeit resümiert und diskutiert. Es wird auf das erstellte Vorgehensmodell und die mithilfe davon erzielten Resultate eingegangen. Zudem wird versucht, eine Antwort auf die dieser Diplomarbeit zugrundeliegenden Forschungsfragen zu geben.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde ein Vorgehensmodell ausgearbeitet, mit dem Ziel der Anforderungserhebung für ein Softwaresystem für die Informationserstellung in der Montage. Kapitel 2 beschreibt die theoretischen Grundlagen, die zum Verständnis des Vorgehensmodells sowie des anschließenden Anwendungsbeispiels bei KB vonnöten sind. In Kapitel 3 wurden einige Methoden des RE erläutert, wobei sich hierbei auf die Werkzeuge fokussiert wurde, welche im erstellten Vorgehensmodell Anwendung finden. Schließlich wird in Kapitel 4 das Vorgehensmodell vorgestellt. Durch den Einsatz drei verschiedener Vorgehensstränge können personenbezogene, prozessbezogene und systembezogene Anforderungen ermittelt werden. Hierfür wird vorgeschlagen die in Kapitel 3 vorgestellten Werkzeuge zu benutzen. Zu den empfohlenen Werkzeugen gehören *Use Scenarios*, BPMN, die qualitative Prozessanalyse inklusive SWOT-Analysen und *Ishikawa*-Diagrammen, die quantitative Prozessanalyse, sowie DFD. Im Vorgehensmodell wird zudem eine Einteilung der ermittelten Anforderungen in Basis-, Leistungs- und Begeisterungsanforderungen als eine Möglichkeit zur Kategorisierung und Priorisierung dieser angeführt. Kapitel 5 stellt ein Anwendungsbeispiel des Modells bei einem produzierenden Großunternehmen dar. In einem Kooperationsprojekt mit KB wurde das Modell genutzt, um Anforderungen an ein System zur automatisierten Informationserstellung für die Montage auszumachen. Unter anderem wurden Workshops, Interviews und eine Umfrage durchgeführt, um Prozesse zu dokumentieren, Bedürfnisse der Stakeholder zu ermitteln und Anforderungen zu kategorisieren. Des Weiteren wurde eine Prototypversion einer Software zur automatisierten Informationserstellung für die Montage mit einem Produkt von KB getestet. Ziel war es, die Ergebnisse des Tests mit den Ergebnissen der Prozessanalysen zu vergleichen und somit neue Erkenntnisse zu gewinnen. Als Resultat der angewendeten Vorgehensweise konnte ein Lastenheft erstellt werden, welches als Grundlage für eine anschließende Systementwicklung dienen kann.

Auf den folgenden Seiten wird auf die Forschungsfragen dieser Arbeit Bezug genommen. Einerseits wird das vorgestellte Vorgehensmodell diskutiert. Andererseits werden die Ergebnisse der Anforderungserhebung bei KB besprochen.

Die erste Forschungsfrage lautet:

Wie kann vorgegangen werden, um Anforderungen eines produzierenden Großunternehmens für den erfolgreichen Einsatz eines Softwaresystems zur Informationserstellung für die Montage aufzunehmen?

Das in dieser Arbeit präsentierte Vorgehensmodell stellt eine strukturierte, methodische Vorgehensweise zur Verfügung, mithilfe welcher Anforderungen erfolgreich aufgenommen werden können. Wie in Kapitel 4 beschrieben, kann das Modell als eine Ergänzung zu bestehenden Vorgehensweisen, wie etwa der ISO 29148 oder der Anforderungserhebung im Rahmen des V-Modells für mechatronische Systeme, angesehen werden. Während diese Vorgehensweisen zwar sehr umfassende und ausführliche Leitfaden zur Anforderungsaufnahme beziehungsweise zur Systementwicklung darstellen, fehlt es teilweise an einer konkreten Beschreibung welche Techniken zur Aufnahme eingesetzt werden können. Indem zu jedem Vorgehensschritt konkrete Werkzeuge vorgeschlagen werden, schafft das hier vorgestellte Modell diesbezüglich Abhilfe.

Eine der Hauptgedanken hinter dem Vorgehensmodell ist die Betrachtung der Anforderungserhebung aus drei Sichten. Durch den Einsatz verschiedener Werkzeuge können personenbezogene, prozessbezogene und systembezogene Anforderungen eruiert werden. Die personenbezogene Sicht erlaubt es, eventuell subjektive, Bedürfnisse und Wünsche von Stakeholdern des Systems aufzunehmen. Die Fokussierung auf die Ist- und Sollprozesse ermöglicht es langjährig angelegtes Prozesswissen in die anschließende Systemgestaltung zu integrieren. Des Weiteren kann durch eine Analyse bestehender Prototypen ein besseres Verständnis von eventuellen Problemen des Systems gewährleistet werden. Eine Berücksichtigung bestehender Systeme und Subsysteme und deren Schnittstellen und Datenflüsse erlaubt es Begrenzungen des zukünftigen Systems sowie mögliche Integrations- und Kooperationsmöglichkeiten wahrzunehmen. Überdies hinaus kann die in diesem Modell vorgeschlagene Kategorisierung und Priorisierung der vorher ermittelten Anforderungen dazu beitragen eine einfachere System- und Architekturgestaltung zu ermöglichen.

Die zweite Forschungsfrage lautet:

Welche Anforderungen hat ein produzierendes Großunternehmen an ein Softwaresystem zur automatisierten Informationserstellung für die Montage und wie können diese klassifiziert werden?

Das entwickelte Vorgehensmodell wurde angewandt, um Anforderungen des Kooperationsunternehmens KB zu ermitteln. Die Bedürfnisse des Unternehmens konnten auf verschiedene Art und Weisen aufgenommen und anschließend in konkrete Anforderungen umgewandelt werden. Die so eruierten Anforderungen

wurden anschließend mithilfe der Kano-Methode nach dem Grad der durch sie erreichten Kundenzufriedenheit klassifiziert. Die klassifizierten Anforderungen wurden in einem Lastenheft, welches im Anhang dieser Arbeit zu finden ist, gesammelt und KB zur Verfügung gestellt. An dieser Stelle sollen nicht alle Anforderungen aufgezählt werden, interessierte Leser können diese im Lastenheft (siehe Anhang) finden. Es soll jedoch auf einige wichtige Erkenntnisse aufmerksam gemacht werden.

Es war ersichtlich, dass die Benutzerfreundlichkeit und *Usability* des getesteten Softwaresystems, insbesondere im Vergleich mit den bereits benutzten Vorgehensweisen zur Erstellung einer Arbeitsanweisung, eher mangelhaft war. Dies ist im Angesicht davon, dass es sich beim Softwaresystem noch um einen Prototyp handelte, nicht verwunderlich, trotzdem konnten einige Verbesserungsvorschläge abgeleitet werden. Hierzu zählen zum Beispiel die Addition übersichtlicherer Benutzeroberflächen zum Verwalten der Varianten und der Arbeitsschritte sowie die Erweiterung der Software um die Möglichkeit, gleichzeitig Arbeitsschritte bearbeiten zu können und das behandelte Produkt zu visualisieren. Ein weiterer wichtiger Punkt für die Stakeholder war die Generierung und Editierung von Visualisierungen. Der getestete Prototyp hatte bereits die Funktionalität Visualisierungen aufzunehmen, diese könne man laut Experten aber noch ausbauen. So wäre zum Beispiel die Möglichkeit aufgenommene Bildschirmaufnahmen bereits in der Software auf ihre Korrektheit überprüfen zu können, sowie diese editieren zu können, gewünscht. Auch die farbliche Kennzeichnung bereits verbauter Bauteile in der Visualisierung für den jeweiligen Arbeitsschritt wurde als Basisanforderung identifiziert. Bei der automatischen Generierung eines Entwurfs einer Montageanweisung war es den Stakeholdern zudem wichtig, dass montagerelevante Parameter von regelmäßig eingesetzten Montageprozessen, wie etwa Verschrauben, Fetten, Kleben, Crimpen und Löten, berücksichtigt werden. Diese Prozesse und die ihnen zugrundeliegenden variablen Parameter wurden beschrieben. Von großer Bedeutsamkeit war es KB auch, dass die Hinterlegung von Steuergrößen für verschiedene Werkzeuge und Geräte auf dem Shop Floor mithilfe des Softwaresystems möglich sei. Als finaler Punkt dieser Zusammenfassung der Anforderungen soll das Änderungsmanagement der Montageanweisungen erwähnt werden. Da es oft vorkommt, dass bestehende Montageanweisungen infolge einer technischen Änderung des Produktes seitens der Konstruktion, einer Kundenreklamation oder eines internen Standards, angepasst werden müssen, sollte das Softwaresystem eine entsprechende Funktionalität zur Erleichterung dieser Änderungen vorsehen.

Abschließend können als konkrete Ergebnisse dieser Diplomarbeit folgende Inhalte festgehalten werden:

- die Bereitstellung eines Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung, welches bei der Durchführung eines RE Projektes ergänzend zu bestehenden Vorgehensweisen praktisch unterstützen kann;
- eine Liste an klassifizierten Anforderungen an ein Softwaresystem zur automatisierten Informationserstellung für die Montage, welche in einem Lastenheft für das Partnerunternehmen KB gesammelt wurden; sowie
- Erkenntnisse bezüglich des erfolgreichen Einsatzes, eines sich in der Entwicklung befindenden, Softwaresystems zur automatisierten Informationserstellung für die Montage in einem realen industriellen Umfeld, welche zur Weiterentwicklung dieses Systems benutzt werden können.

Dass eine Verbesserung der Informationserstellung für die Montage, etwa durch Teil- oder Vollautomatisierung dieser, für ein Großunternehmen wie KB interessant ist, wurde bereits mehrmals in dieser Arbeit verdeutlicht. Der anhaltende Trend der Individualisierung von Produkten führt zu einer steigenden Komplexität in Produktion und Montage. Hierdurch entsteht die Notwendigkeit des Ausbaus der Informationsbereitstellung, was natürlich einen großen, oft nur schwer realisierbaren, Aufwand für die Prozessplanung bedeutet. Inwiefern dieses Problem gelöst werden kann und wie groß der tatsächliche Nutzen für KB sein wird, wird sich im weiteren Projektverlauf zeigen. Die nächsten Schritte für das Projekt, sowie eine kritische Würdigung dieser Diplomarbeit werden auf den nächsten Seiten beschrieben.

6.2 Ausblick

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit durchgeführte Modellbildung sowie anschließende Anforderungserhebung hatte das Ziel als Vorbereitungsprojekt für eine mögliche weitere Kooperation zwischen KB und Fraunhofer Austria zu dienen. Durch die Aufnahme der Ist-Situation der am Erstellungs- und Darstellungsprozess der Montageanweisungen beteiligten Systeme, sowie der methodischen Aufnahme von Anforderungen der Stakeholder konnte ein Lastenheft erstellt werden. Diese Spezifikation kann als Grundlage für den weiteren Projektablauf verwendet werden. Es ist an dieser Stelle absolut notwendig zu erwähnen, dass das erstellte Lastenheft keineswegs eine finale Version sein soll. Wie auch in ISO 29148 beschrieben, ist es imperativ, dass bei der weiteren Fortschreitung des Projektes die Anforderungen iterativ und rekursiv aufgearbeitet und ergänzt werden.

Mittel- und langfristig sind die nächsten Schritte für das Kooperationsprojekt die Erarbeitung eines Umsetzungskonzeptes und eines Pflichtenheftes, sowie die anschließende Programmierung der Software-Applikation und deren vereinbarten Funktionalitäten. Eine ähnliche Vorgehensweise empfiehlt auch die ISO 29148: Auf die StRD folgt die SyRD sowie die *Architecture Definition* und *Design Definition*. Die

iterative und rekursive Applikation dieser Prozesse wurde bereits in Abbildung 2-11 in Kapitel 2.2.1.2 verdeutlicht.

Kurzfristig gesehen besteht der nächste Schritt für dieses Projekt zu vereinbaren, wie die weitere Kooperation zwischen KB und Fraunhofer Austria aussehen wird. Es gilt zu definieren, was die Erwartungen beider Parteien an das Projekt sind, und wie der bestmögliche Konsens für die weitere Durchführung gefunden werden kann. Insbesondere muss ein Übereinkommen bezüglich der weiteren Finanzierung sowie des zeitlichen Rahmens getroffen werden.

Bevor ich zum Ende dieses Schriftstückes komme, werde ich noch kurz auf einige Schwierigkeiten, die sich mir während dieser Diplomarbeit gestellt haben, eingehen. Des Weiteren werde ich verschiedene Ergebnisse kritisch betrachten.

Zum Zeitpunkt der Durchführung dieses Projekts war KB gerade mitten in der Integrationsphase eines neuen WFS in Form von CAPS und hatte die Integration eines neuen PLM-Systems in Form von Windchill PLM hinter sich. Auch das Windchill Modul MPMLink war noch sehr neu. Eine Folge hiervon war, dass es einerseits teils unklare Zielvorstellungen für ein neues System gab, da es den meisten Mitarbeiter noch nicht ganz klar war, was schlussendlich mit CAPS und Windchill PLM möglich ist, und was nicht. Andererseits war, durch die Vielzahl an neu integrierten Systemen, mit denen sich die Mitarbeiter vertraut machen mussten, eine gewisse ‚Erschöpfung‘ spürbar. Da es zudem noch einige Probleme mit den Integrationen gab, hatten diese verständlicherweise stets Priorität. Das Management hiervon hat sich als Herausforderung erwiesen.

Eine weitere Herausforderung bestand darin, bei dem Workshop und den Experteninterviews die Fragen so zu wählen und das Gespräch so zu leiten, dass es zu keinen Kommunikationsproblemen kam und die Teilnehmer offen ihre Meinung kundtun konnten. Die Unterstützung seitens Fraunhofer bei der Moderation des Workshops hat mir hierbei jedoch geholfen.

Vonnöten ist auch eine kritische Hinterfragung der Ergebnisse der Kano-Umfrage. Die Methode wurde gewählt, um die Anforderungen zu klassifizieren und zu priorisieren. Es hat sich jedoch als Problem herausgestellt, dass zur Einordnung der Anforderungen ein gewisses Vorwissen vorausgesetzt ist und es so nur eine Handvoll an Personen gab, die die nötige Qualifikation hierfür vorweisen konnten. Die Konsequenz hiervon war, dass die Umfrage nicht an alle Stakeholder ausgesendet wurde, sondern nur an vier. Von den vier Personen haben jedoch nur zwei Personen die Umfragen beantwortet und somit können die Ergebnisse dieser Methode nur teilweise als repräsentativ angesehen werden. Bei der Auswertung der Antworten hat dieser Umstand dazu geführt, dass es für einige Anforderungen

schwierig war diese einzuordnen und zu einer übermäßig großen Anzahl an Leistungsanforderungen geführt hat.

Letztlich kann ich behaupten, dass, trotz aller Herausforderungen und Schwierigkeiten, diese Diplomarbeit es mir ermöglicht hat mich persönlich und beruflich weiterzuentwickeln. Gerade der interdisziplinäre Ansatz, der für dieses Projekt nötig war, hat es mir erlaubt einerseits spezifische Methodenkenntnisse zu erwerben und andererseits meine technischen Kenntnisse auszuweiten.

Ein Grund dafür, dass ich mich dazu entschieden habe dieses Thema im Rahmen meiner Diplomarbeit zu behandeln war, dass die Aufgabenstellung eine sehr reelle Problematik behandelt. Während meiner Anstellung bei KB als Werkspraktikant habe ich mich zum Teil auch mit der Erstellung von Montageanweisungen befasst und das Problem, dass es wegen der sehr großen Anzahl an Produktvarianten kapazitätsbedingt nicht möglich ist für jede Variante eine Anweisung zu erstellen, habe ich mit eigenen Augen erfahren können. Genauso wie am Beginn dieser Diplomarbeit, denke ich auch jetzt am Schluss, dass ein System, welches automatisiert Montageanweisungen und Inhalte für WFS erstellen kann großes Potential hat und den Arbeitsalltag vieler Prozessplaner nachhaltig erleichtern kann. Ich bin zuversichtlich, dass das entwickelte Vorgehensmodell einerseits für weitere RE Projekte als Vorlage dienen kann und andererseits die ermittelten Anforderungen dazu beitragen werden Softwaresysteme zur automatisierten Informationserstellung für die Montage, wie der in diesem Projekt getestete Prototyp von Fraunhofer Austria, zu verbessern.

7 Anhang

Systeme für Schienenfahrzeuge

.....

.....

**Ausschreibungs-un-
terlagen**

.....

Lastenheft
System zur automatisierten Erstellung von Monta-
geanweisungen

Projekt-Nr. _____

Kunde **Knorr-Bremse Möding**

Projekt-Teil _____

System _____

Erstellt: _____ : _____

_____ Datum _____ Datum

Name _____ Name _____

Abteilung _____ Unterschrift _____ Abteilung _____ Unterschrift _____

_____ Datum _____ Datum

Name _____ Name _____

Abteilung _____ Unterschrift _____ Abteilung _____ Unterschrift _____

KNORR-BREMSE 

**KNORR-BREMSE****Kontaktadresse**

Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH



<http://www.knorr-bremse.at>

Copyright ©

Diese Beschreibung ist urheberrechtlich geschützt, alle Rechte bleiben vorbehalten. Vervielfältigungen - auch auszugsweise - bedürfen der ausdrücklichen, schriftlichen Genehmigung von KNORR-BREMSE Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH.

Technische Änderungen

Dieses Dokument unterliegt dem KNORR-BREMSE Änderungsdienst.

Das Dokument wurde im Original in deutscher Sprache erstellt.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications.
Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 2 / 21


KNORR-BREMSE

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeines	4
1.1 Ansprechpartner Knorr-Bremse Mödling	4
1.2 Zweck und Ziel dieses Dokumentes	4
1.3 Abkürzungen	4
2 Ist-Zustand	5
2.1 Problembeschreibung	5
2.2 Stakeholder	5
2.3 Prozesse der Informationserstellung	5
2.3.1 Erstellung einer Montageanweisung mit Office	5
2.3.2 Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink	6
2.4 Montagerrelevante Prozesse und Parameter	7
2.4.1 Verschrauben	8
2.4.2 Kleben	8
2.4.3 Fetten	8
2.4.4 Crimpen	8
2.4.5 Gebrauch von Vorrichtungen	9
2.5 Systeme und Datenfluss	9
2.5.1 Systeme	9
2.5.2 Datenfluss	11
3 Soll-Zustand	14
3.1 Beschreibung der Zielsetzung und des Softwareprototypen	14
3.2 Funktionale Anforderungen	14
3.2.1 Datenimport & Automatisierte Erstellung	14
3.2.2 Bedienung des Editors	14
3.2.3 Variantenmanagement	15
3.2.4 Freigabeworkflows	15
3.2.5 Integration mit anderen Anwendungen	15
3.2.6 Änderungsmanagement	16
3.2.7 Versionenmanagement	16
3.3 Nicht-funktionale Anforderungen	16
3.4 Voraussetzungen an Knorr-Bremse	16
4 Vertragliche Konditionen, Lieferumfang und Termine	17
5 Anhang	17
5.1 Zusätzliche Erklärungen für BPMN	17
5.2 Zusätzliche Erklärungen für Datenflussdiagramme	17
5.3 Erstellung einer Montageanweisung mit Office	19
5.4 Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink	20
5.5 Datenflussdiagramm der Informationserstellung und -darstellung	21

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications.
Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

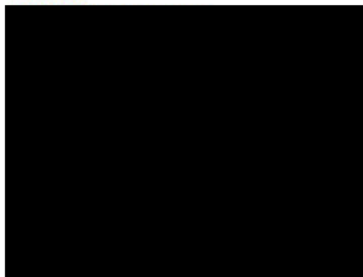
Seite 3 / 21


KNORR-BREMSE

1 Allgemeines

1.1 Ansprechpartner Knorr-Bremse Mödling

Kunde:



1.2 Zweck und Ziel dieses Dokumentes

Das Ziel dieses Dokumentes ist es als Grundlage für ein Kooperationsprojekt zwischen der Knorr-Bremse Mödling (KB) und Fraunhofer Austria zu dienen. Dieses Lastenheft enthält alle an das zu entwickelnde System gestellten Anforderungen. Diese Anforderungen können als verbindlich zu erfüllenden Kriterien zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer betrachtet werden. Es soll in diesem Lastenheft die Rahmenbedingungen für die Entwicklung festgelegt werden, die dann vom Auftraggeber im Pflichtenheft detailliert werden.

Die in diesem Dokument formulierten Anforderungen wurden mit den identifizierten Stakeholdern des Systems ermittelt. Die Anforderungen wurden in funktionale und nicht-funktionale Anforderungen eingeteilt. Neben den Anforderungen wird in diesem Dokument auch der Ist-Zustand bei KB, in Bezug auf die für das entwickelnde System wichtigen Prozesse und Systeme, beschrieben. Ziel ist es, den Entwicklern somit einen Überblick über die aktuelle Situation bei KB zu verschaffen.

Um Architekten und Entwickler nicht einzuschränken sind in diesem Dokument keine technischen Lösungen für die beschriebenen Probleme und Anforderungen enthalten.

1.3 Abkürzungen

BPMN	Business Process Model and Notation
DFD	Datenflussdiagramm
IE	Industrial Engineering
IIoT	Industrial Internet of Things
KB	Knorr-Bremse
PLM	Product Lifecycle Management
WFS	Werkerführungssystem

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 4 / 21



2 Ist-Zustand

2.1 Problembeschreibung

Es besteht das Problem, dass es eine große Anzahl an Produktvarianten für unterschiedliche Produktgruppen gibt und es kapazitätsbedingt nicht möglich ist Arbeitsanleitungen für jede einzelne Variante zu erstellen. Dies ist bei beiden zurzeit eingesetzten Arbeitsweisen zur Erstellung von Montageanweisungen zutreffend. Für den Großteil der Produkte bei KB werden momentan nur allgemeine Anleitungen für jede Produktgruppe erstellt und, falls als nötig empfunden, weitere für ausgewählte fehleranfällige, spezielle Produktvarianten. Diese Anleitungen werden mit Microsoft Office Produkten erstellt. Relativ rezent wurde ein Werkerführungssystem, CAPS, für die Montage eingeführt. Das System wird zum derzeit nur bei einigen ausgewählten Produkten eingesetzt. Für CAPS werden die Montageanweisungen mithilfe des Windchill PLM Moduls MPMLink erstellt.

2.2 Stakeholder

Im Folgenden soll beschrieben werden, welche Bereiche und Personengruppen mit dem betrachtenden System in Kontakt sind. Zu den Stakeholder gehören:

- das **Industrial Engineering (IE)**, welches verantwortlich ist für die Erstellung, Pflege und Veröffentlichung von Montageanweisungen.
- die **Qualitätsabteilung**, welche verantwortlich ist für die Überprüfung der Korrektheit der Montageanweisungen.
- die **Konstruktionsabteilung**, welche verantwortlich ist für die Erstellung und Pflege der den Montageanweisungen zugrunde liegenden Produktdaten.
- die **IT-Abteilung**, welche verantwortlich ist für die Pflege und Wartung von Datenbanksystemen und der restlichen IT-Infrastruktur.
- die **Montage**, welche das IE mit Informationen bezüglich des Erstellungsprozesses versorgt und die Montage von Produkten anhand der erstellten Montageanweisungen durchführt.

2.3 Prozesse der Informationserstellung

Es gibt zwei Vorgehensweisen bei KB, welche für die Erstellung von Montageanweisungen beziehungsweise Prozessplänen benutzt werden. Dies ist einerseits die Erstellung einer Arbeitsanweisung mit Office und andererseits die Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink. Beide Prozesse werden mit der BPMN Prozessnotierung¹ dargestellt und erklärt.

2.3.1 Erstellung einer Montageanweisung mit Office

In Abbildung 2-1 ist der Prozess bei KB zur Erstellung einer Montageanweisung mittels Officeanwendungen in Form eines BPMN Diagramms dargestellt. Eine größere Version der Grafik ist im Anhang zu finden.

¹ Zusätzliche Erklärung für das Verständnis von BPMN sind im Anhang zu finden.



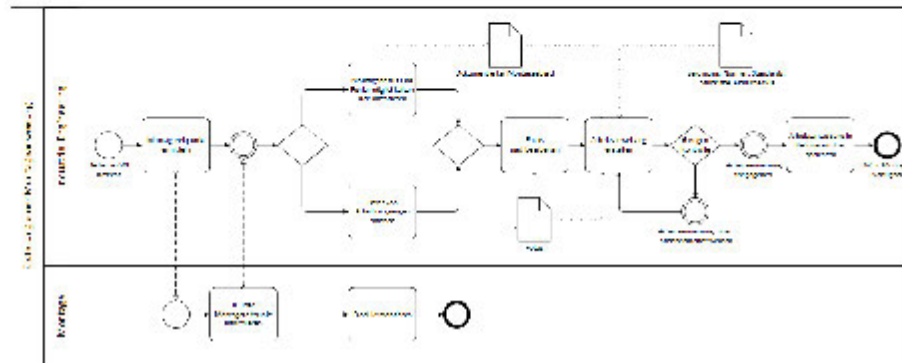

KNORR-BREMSE


Abbildung 1: Erstellung einer Montageanweisung mit Office

Es sind zwei Bereiche am Prozess beteiligt: Das IE und die Montage. Bei KB ist das IE unter anderem für die Arbeitsvorbereitung der Montage sowie die Prozessplanung zuständig. Eine Montageanweisung wird in der Regel nur erstellt, wenn Bedarf besteht. Ein Bedarf an einer Anweisung kann zum Beispiel durch die Freigabe einer neuartigen Produktvariante oder infolge einer Kundenreklamation zustande kommen. Bei bestehendem Bedarf ist es der erste Schritt für das IE die Montage zu kontaktieren um herauszufinden wann die nächste Montage des Produktes in Frage stattfindet. Einerseits ist dies insofern notwendig, da Fotos von den Arbeitsvorgängen aufgenommen werden müssen. Andererseits, muss, falls das IE nicht ausreichend über den Montageablauf Bescheid weiß, auch dieser dokumentiert werden. Zusätzlich kann der Monteur das IE über häufig auftretende, und daher unbedingt in einer Montageanweisung festzuhaltenden Fehler informieren. Sowohl die Dokumentation des Montageablaufes als auch die Aufnahme der Fotos erfolgt in der Regel während der Montage des Produktes.

Um die Fotos bei der Erstellung der Montageanweisung benutzen zu können müssen diese nachbearbeitet werden. Die Fotos müssen zurechtgeschnitten werden und die Auflösung muss reduziert werden. Anschließend kann das IE mithilfe einer Vorlage für Microsoft Word die Montageanweisung erstellen. Hierzu wird der dokumentierte Montageablauf, die nachbearbeiteten Fotos sowie andere interne Dokumentation verwendet. Hierzu gehören zum Beispiel technische Zeichnungen, Stücklisten, interne Standards und Normen sowie ähnliche, bereits vorhandene Arbeitsanweisungen. Wenn das Dokument erstellt wurde, wird dieses von zwei weiteren Personen kontrolliert, dies sind in der Regel ein Qualitätsverantwortlicher und der Abteilungsleiter. Wenn es Probleme mit der Anweisung gibt, wird diese noch einmal nachbearbeitet, ansonsten wird sie freigegeben. Die freigegebene Montageanweisung wird jetzt vom IE vom Microsoft Word Format in PDF umgewandelt und in einem für die Montage zugänglichen Netzwerkordner abgespeichert, so dass sie bei einer Montage abgerufen werden kann.

2.3.2 Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink

In Abbildung 2-1 ist der Prozess bei KB zur Erstellung eines Prozessplans mit MPMLink in Form eines BPMN Diagramms dargestellt. Eine größere Version der Grafik ist im Anhang zu finden.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 6 / 21

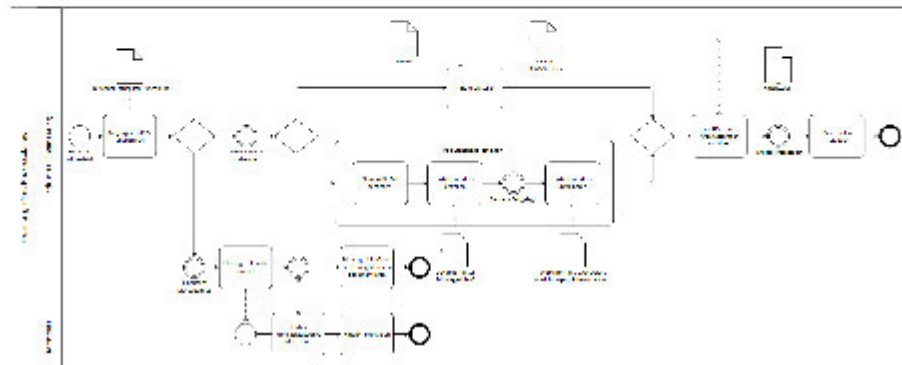

KNORR-BREMSE


Abbildung 2: Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink

Im Unterschied zu der vorherigen Methode wird die Montageanweisung dem Werker hier nicht als PDF zur Verfügung gestellt, sondern es wird ein Prozessplan erstellt, der dann mittels WFS dem Monteur dargestellt wird. Der erste Schritt für das IE ist die Analyse der Baugruppe, für welche eine Anweisung erstellt werden soll. Die Analyse erfolgt innerhalb der Windchill PLM Umgebung, welche den einfachen Zugriff auf 3D-Modelle, Stücklisten, technische Zeichnungen und weitere relevante Dokumentation erlaubt. Auch kann der Prozessplaner hier untersuchen, ob bereits ein ähnliches Produkt oder eine ähnliche Variante vorhanden ist, wovon dann Teile des Prozessplans übernommen werden könnten. Abhängig davon, ob die zuständige Person über alle notwendigen Montage- und Produktinfos verfügt, kann nun der Prozessplan erstellt werden. Wenn nicht alle Infos vorhanden sind, muss das IE die Montage kontaktieren und wie bei der Erstellung einer Montageanweisung mittels Office den Montageablauf während der tatsächlichen Montage dokumentieren. Wenn alle benötigten Informationen vorhanden sind, kann die tatsächliche Ablaufsequenz in MPMLink festgehalten werden. Hierzu wird der Name für die Baugruppe festgelegt, die einzelnen Arbeitsschritte werden erstellt und anschließend detailliert. Zur Detaillierung der Arbeitsschritte kann der Prozessplaner im PLM hinterlegte Daten, wie etwa Werksnormen, CAD-Daten, Vorrichtungen, Arbeits- und Rüstzeiten, Grafiken oder Arbeitsstationen mit den Schritten verknüpfen. Des Weiteren werden hier auch spezielle Prozesse, wie etwa das Befetten oder Verschraubungen detailliert. Wenn benötigt werden hier auch Steuergrößen zur Steuerung von intelligenten Werkzeugen hinterlegt, wie Schraubprogramme für eine automatisierte Verschraubung. Parallel zur Festlegung der Ablaufsequenz erstellt der Prozessplaner die mBOM.

Hierfür werden die Bauteile und -gruppen der eBOM, welche von der Konstruktion im PLM System hinterlegt wurden, so umgeordnet, dass eine aus Montagesicht sinnvolle Struktur entsteht. Wichtig ist hierbei das Konzept der Assoziativität: Jedes Teil der mBOM wird mit dem zugehörigen Teil der eBOM verknüpft, so dass bei einer Änderung der eBOM auch die mBOM, und damit auch der Montageprozess, entsprechend angepasst werden kann. Anschließend können die Teile der mBOM den vorher erstellten Arbeitsschritten zugeordnet werden. Das Resultat ist ein im PLM System hinterlegter, fertiger Prozessplan. Sobald dieser freigegeben wird, kann dieser vom internen WFS in Form einer Schritt-für-Schritt Montageanweisung dargestellt werden, um so die Montagetätigkeit zu unterstützen.

2.4 Montagerelevante Prozesse und Parameter

Bei der Montage von Produkten am Standort Mödling werden einige Vorgehensweisen häufig eingesetzt. Diese Prozesse sind insofern für die Informationserstellung wichtig, da die ihnen zugrunde liegenden variable Prozessparameter, vom IE recherchiert und in die Anweisung eingesetzt werden

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 7 / 21



KNORR-BREMSE

müssen. Folgende ausgewählte, als relevant für das zu entwickelnde System eingestufte Prozesse und Parameter werden beschrieben:

2.4.1 Verschrauben

Während der Montage müssen Schrauben und Bauteile mit einem spezifischen, von der Konstruktion definierten Drehmoment angezogen werden. Bei der Erstellung einer Arbeitsanweisung wird dieses Drehmoment vom Prozessplaner für den jeweiligen Arbeitsschritt angegeben. Das Drehmoment ist in der Regel in der Zusammenstellungszeichnung in Newton im PLM-System vermerkt. Für einige ältere Produkte ist das Drehmoment nicht auf der Zeichnung zu finden. In diesem Fall wird das Drehmoment vom Prozessplaner selbst in Funktion der Schraubgröße bestimmt. Hierzu wird eine interne Excelliste verwendet.

Des Weiteren gibt es für jede Verschraubung eine Einteilung in eine von drei Risikoklassen: Gering (G), Mittel (M), und Hoch (H). Verschraubungen der Klasse M oder H sind immer auch auf der Zusammenstellungszeichnung angegeben.

2.4.2 Kleben

Der Klebprozess bei KB wird nach DIN 6701 durchgeführt. Zum Prozess gehören neben dem Kleben selbst das Reinigen und Aktivieren der Bauteile. Das Reinigen und Aktivieren von Oberflächen wird hierbei mit einem speziellen Reinigungsmittel beziehungsweise einem Aktivierungsmittel bewerkstelligt. Das Kleben wird vor allem bei Verschraubungen genutzt und dient zur Schraubensicherung. Der genaue Prozess ist in einem werksinternen Montagestandard beschrieben. Wie und ob etwas geklebt oder aktiviert werden muss, ist in der Zusammenstellungszeichnung zu finden, welche im PLM-System gespeichert ist.

2.4.3 Fetten

Bei den meisten der am Standort produzierten KB Produkte wird Fett als Schmiermittel benutzt und ist durch den Monteur an den Bauteilen aufzutragen. In der Arbeitsanweisung wird durch die Prozessplanung angegeben was genau zu befetten ist. Was genau zu befetten ist, ist im Allgemeinen in einem werksinternen Montagestandard definiert. Zum Beispiel ist dort hinterlegt, dass alle Gleit- und Führungsflächen zu fetten sind. Des Weiteren sind alle O-Ringe, K-Ringe, Druckfedern, Membrane, sowie nicht geklebte Schraubverbindungen zu fetten. Welches Fett zu verwenden ist, ist in der Zusammenstellungszeichnung hinterlegt oder, für einige ältere Produkte, in der Prüfvorschrift. Beide Dokumente, Zusammenstellungszeichnung und Prüfvorschrift, sind im PLM-System gespeichert. Für einige wenige Produkte gibt es eine spezielle Befetzungszeichnung, welche auch im PLM-System hinterlegt ist. In dieser Zeichnung ist neben der Art des Fettes, welche zu verwenden ist, auch die zu fettenden Bauteile sowie die Menge an Fett definiert.

2.4.4 Crimpen

Unter Crimpen versteht man das mechanische Zusammendrücken einer Hülse um zwei Komponenten, wie etwa Leiter und Verbinder, miteinander zu verbinden. Folgende Schritte werden beim KB-internen Crimpprozess durchgeführt:

- Abmanteln,
- Abisolieren,
- Crimpen,
- und eine Crimpkraftprüfung.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 8 / 21



KNORR-BREMSE

Der für die Erstellung einer Arbeitsanweisung relevante Parameter ist bei diesem Prozess die Kabellänge, bis zu welcher beim Abmanteln die Isolationsschicht, welche die Einzelleiter umgibt, entfernt wird. Diese Kabellänge kann von Produkt zu Produkt und auch von Produktvariante zu Produktvariante variieren und wird in Meter oder Zentimeter angegeben. Es gibt zwei Möglichkeiten, wie diese Information hinterlegt sein kann: Entweder ist die Kabellänge direkt in der Zusammenstellungszeichnung als Textzusatz zu finden oder in einem speziell von der Konstruktion erstelltem Dokument in einer Tabelle. Beide Dateien sind im PLM-System hinterlegt, die Zusammenstellungszeichnung als PDF oder JPG und das Dokument als PDF oder DOCX.

Für die Crimpkraftprüfung gibt es einen zusätzlichen variablen Parameter, welcher aber zurzeit nicht in der Montageanweisung vermerkt ist. Bei diesem Parameter handelt es sich um die Spannung in Volt, welche bei der Prüfung eingestellt werden muss. Zudem ist angegeben ob mit Wechsel- oder Gleichspannung geprüft werden muss. Diese Information ist in einer Prüfvorschrift zu finden, welche in der Regel als PDF im PLM-System hinterlegt ist

2.4.5 Gebrauch von Vorrichtungen

Bei verschiedenen Arbeitsschritten müssen spezielle Vorrichtungen zur Montage verwendet werden. Die Vorrichtungen sind mit einer Codierung in Form von KNKAV 123 versehen. In der Arbeitsanweisung wird durch den Prozessplaner angegeben welche Vorrichtung verwendet werden muss. Die Informationen welche Vorrichtung verwendet werden muss, ist auch im ERP-System hinterlegt. Dort sind die zu verwendeten Vorrichtungen den Arbeitsschritten im Arbeitsplan für ein Produkt zugeordnet.

2.5 Systeme und Datenfluss

Die am Prozess zur Informationserstellung und -darstellung beteiligten Systeme werden beschrieben. Anschließend werden die Datenflüsse für die Erstellung einer Montageanweisung mit MPMLink, sowie die Darstellung mit CAPS, in einem Datenflussdiagramm² dargestellt.

2.5.1 Systeme

Die an der Informationserstellung und -darstellung beteiligten Systeme werden beschrieben:

- **PTC Creo:**
Konstruktionssoftware von PTC, mithilfe welcher die Produktdaten, wie etwa CAD-Strukturen oder Stücklisten erstellt werden.
- **Windchill PLM:**
Windchill PLM ist das Product Lifecycle Management (PLM) System von PTC. Das web-basierte System verwaltet die Produktdaten von KB und stellt den Nutzern unter anderem folgende Daten zur Verfügung:
 - Technische Zeichnungen, wie Zusammenstellungszeichnungen, Befetzungszeichnungen, etc.
 - Stücklisten und Produktstrukturen
 - Prüfvorschriften
 - Sonstige relevante Dokumentation und Hinweise bezüglich des Produktes

² Zusätzliche Erklärung für das Verständnis von Datenflussdiagramm sind im Anhang zu finden.





KNORR-BREMSE

- **MPMLink:**

Bei MPMLink handelt es sich um Modul von Windchill PLM. Das Modul wird bei KB hauptsächlich zur Erstellung und zum Management von Prozessplänen und Arbeitsanweisungen genutzt. Wie in 2.3.2 dargestellt kann mithilfe der in Windchill PLM hinterlegten Produktdaten und Stücklisten ein Prozessplan erstellt werden, welcher dann anschließend mittels des WFS CAPS dargestellt werden kann.

- **ThingWorx und Kepware:**

ThingWorx ist eine von PTC entwickelte IIoT-Plattform und bietet folgende Funktionalitäten:

- Die Vernetzung der *Things*, wie etwa Geräte, Werkzeuge, Anlagen, aber auch Anwendungen, untereinander. Eine wichtige Rolle spielt hierbei Kepware.
- Die Möglichkeit einfach, ohne Fachkenntnisse IIoT-fähige Anwendungen erstellen und integrieren zu können. ThingWorx stellt hierfür das Fundament und die Bausteine mittels benutzerfreundlicher Tools zur Verfügung.
- Die Fähigkeit mithilfe künstlicher Intelligenz und *Machine Learning* große Mengen an Daten zu analysieren. Diese können anschließend zu Präventions-, Entscheidungs- und Diagnosezwecken genutzt und visualisiert werden.
- Eine benutzerfreundliche Verwaltung aller Geräte, Systeme und Benutzer im IIoT-Netzwerk.

Kepware ist ein Modul der ThingWorx Plattform, welches die Aufgabe der Kommunikation, Vernetzung, Verwaltung und Steuerung der Geräte und Anwendungen im IIoT-Netzwerk übernimmt. Kepware übernimmt die Rolle eines zentralen Zugriffspunktes für alle Daten im Netzwerk. Einerseits stellt die Software proprietäre Schnittstellen für eine breite Palette an Hardwareanbietern zur Verfügung. Andererseits wird die Anbindung von ERP, MES oder anderen Kontrollsystemen über OPC UA ermöglicht. Des Weiteren wird ODBC als Schnittstelle zum Datenbankzugriff, sowie MQTT und REST als Schnittstellen zur Cloud unterstützt.

- **CAPS:**

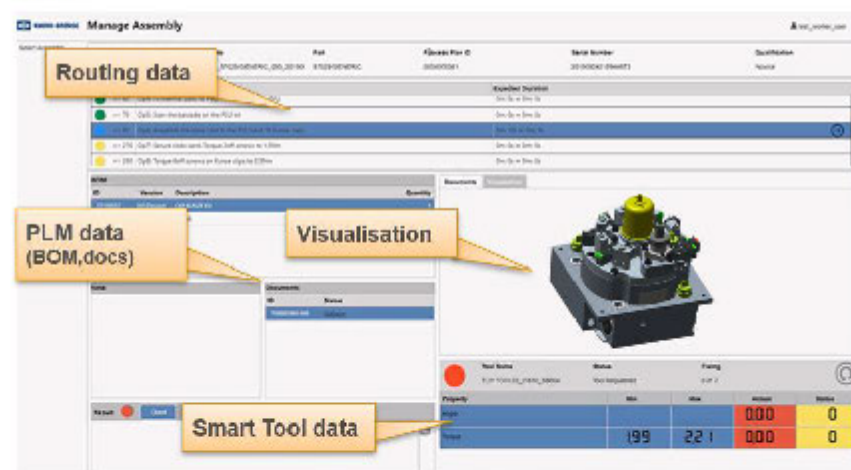


Abbildung 3: CAPS Benutzeroberfläche

CAPS steht für *Computer Aided Production System*. Es handelt sich um ein unternehmensinternes System und wird bei KB sowohl zur Planung als auch zur Unterstützung der Montage

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 10 / 21



KNORR-BREMSE

beziehungsweise der Produktion eingesetzt. Zum CAPS System gehören sowohl die Prozessplanerstellung mit MPMLink als auch die IIot Vernetzung mit ThingWorx.

Eine weitere Aufgabe von CAPS ist die Werkerführung und das Bereitstellen einer Benutzeroberfläche für den Monteur bzw. den Maschinenoperator auf dem Shop Floor. Abbildung 3 zeigt die graphische Benutzeroberfläche, die den Operator mit Informationen versorgt. Zu sehen sind die Arbeitsschritte des Prozessplans, Daten aus dem PLM-System, wie etwa Stücklisten und Zeichnungen, eine 3D Visualisierung sowie Informationen bezüglich der angebundenen Werkzeuge und Geräte.

2.5.2 Datenfluss

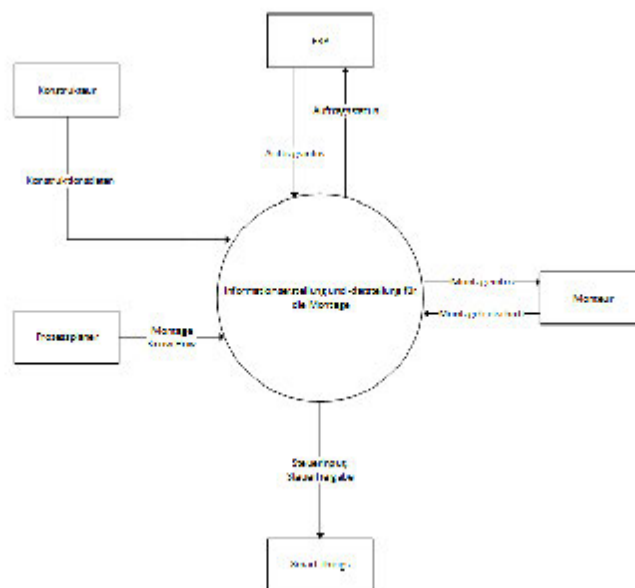


Abbildung 4: Kontextdiagramm

Das in Abbildung 4 zu sehende Kontextdiagramm soll einen ersten Überblick über das System verschaffen. Zentral zu sehen ist der Prozess der Informationserstellung und -darstellung. Es führen verschiedene Datenflüsse zum Prozess bzw. vom Prozess weg. Diese können als Nettoinputs und -outputs des betrachteten Systems verstanden werden. Die Datenflüsse interagieren mit den systemexternen Entitäten. Zu diesen Datenquellen gehören:

- der Prozessplaner, welcher den Prozess mit Montage Know-How versorgt,
- der Konstrukteur, welcher Konstruktions- und Produktdaten an das System liefert,
- das ERP-System, welches Informationen bezüglich der zu montierenden Aufträge an das System überträgt und im Gegenzug über den Auftragsstatus informiert wird,
- der Monteur, welcher mit Montageinformation versorgt wird und den Montagefortschritt an das System meldet, sowie

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 11 / 21



KNORR-BREMSE

- die Smart Things, also intelligente Werkzeuge und Geräte, welche vom System sowohl eine Freigabe zur Benutzung als auch zur Steuerung benötigten Informationen erhalten.

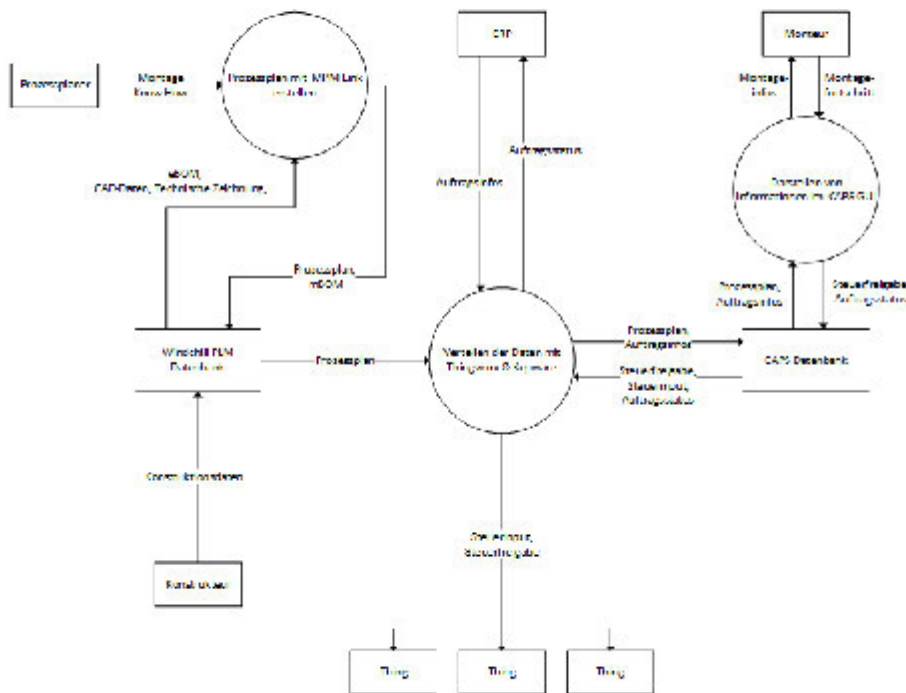


Abbildung 5: Datenflussdiagramm der Informationserstellung und -darstellung

Abbildung 5 zeigt den bereits im Kontextdiagramm (Abbildung 4) dargestellten Prozess der Informationserstellung und -darstellung im Detail.³ Die beschriebenen externen Datenquellen sind noch immer auf dem DFD zu finden, die mit ihnen interagierenden Datenflüsse führen jetzt jedoch zu verschiedenen Prozessen. Oben links auf dem DFD ist der Prozess Prozessplan mit MPM Link erstellen zu finden. Eine detaillierte Beschreibung dieser Vorgehensweise wurde bereits in Kapitel 2.3.2 mit BPMN realisiert. Als Inputs verwendet der Prozess einerseits das Montage Know-How des Prozessplaners und andererseits die von der Konstruktion im PLM-System hinterlegten Produktdaten. Hierzu gehören zum Beispiel technische Zeichnungen, CAD-Daten sowie die eBOM. Als Output liefert der Prozess einen fertigen Prozessplan sowie die dazugehörige mBOM. Im Prozessplan enthalten sind auch vom Prozessplaner festgelegte Steuergrößen, die nachher als Input für die der Montage assistierenden, intelligenten Werkzeuge dienen. Der Prozessplan wird zu diesem Zeitpunkt in der MPM Link und Windchill zugrundeliegenden Datenbank gespeichert.

Zentral auf dem DFD ist der Prozess Verteilen der Daten mit Thingworx und Kepware dargestellt. Die ThingWorx Plattform ermöglicht die Übertragung des in der Windchill Datenbank hinterlegten

³ Eine größere Version der Grafik ist im Anhang zu finden.



KNORR-BREMSE

Prozessplans in die CAPS Datenbank. ThingWorx bietet auch eine Schnittstelle zum ERP-System. Einerseits können Informationen bezüglich des zu bearbeitenden Montageauftrags aus dem ERP-System extrahiert werden. Hierzu gehören zum Beispiel Auftragsnummer und Durchlaufzeiten. Andererseits werden auch Informationen bezüglich des Status des Auftrags, wie etwa, dass das Produkt gerade montiert wird, oder dass die Montage abgeschlossen ist, an das ERP-System rückgemeldet. Die aus dem ERP-System ausgelesenen Auftragsinformationen werden von ThingWorx in die CAPS Datenbank geschrieben, so dass diese durch die CAPS Benutzeroberfläche nachher dem Monteur, mit samt allen anderen Montageinfos dargestellt werden können.

Der Prozess Darstellen von Informationen im CAPS GUI ist rechts auf dem DFD zu finden und stellt die Mensch-Maschine Schnittstelle in dem WFS dar. Dem Werker werden auf der CAPS Benutzeroberfläche Montageinformationen zu jedem Arbeitsschritt dargestellt. Hierfür benutzt der Prozess die durch den Prozessplan generierten und in der CAPS Datenbank gespeicherten Montagedaten sowie die durch das ERP-System bereitgestellten Auftragsinformationen. Ein weiterer Input des Systems ist die Meldung des Montagefortschrittes durch den Monteur. Dies kann automatisiert passieren, indem der Monteur die Produktbearbeitung mittels einer vernetzten Maschine beendet (zum Beispiel eine erfolgte Verschraubung) oder durch manuelles Interagieren mit der Benutzeroberfläche. Als Output liefert der Prozess, wie bereits erwähnt, Montageinformationen an den Monteur. Des Weiteren wird, sobald ein gewisser Arbeitsschritt erreicht wurde, eine Steuerfreigabe an die vernetzten Things gesendet. Diese Freigabe geht zuerst zur CAPS Datenbank, wo diese mit denen zum Montageschritt zugehörigen und mittels Prozessplan durch den Prozessplaner hinterlegten, Steuerinputs verknüpft wird. Anschließend werden die Steuerinputs und die Steuerfreigabe mittels der durch Kepware ermöglichten IIoT-Vernetzung an die Things auf dem Shopfloor gesendet.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications.
Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 13 / 21


KNORR-BREMSE

3 Soll-Zustand

3.1 Beschreibung der Zielsetzung und des Softwareprototypen

Ziel für KB ist es, eine Softwareanwendung zu haben, welche das IE bestmöglich bei der Erstellung von Montageanweisungen unterstützt. Es soll:

- Der Aufwand für die Erstellung einer Montageanweisung reduziert werden.
- So ermöglicht werden, dass es individualisierte Montageanweisungen für jede einzelne Produktvariante gibt.
- Die Wahrscheinlichkeit von Fehlern während der Montage reduziert werden.

3.2 Funktionale Anforderungen

Es wurden funktionale Anforderungen an das System identifiziert. Die Anforderungen wurden zur Orientierung der Entwickler in Muss-, Soll-, und Kannkriterien eingeteilt.

3.2.1 Datenimport & Automatisierte Erstellung

- Das System soll, neben Dateien im STEP Format, auch Dateien im Format von PTC CREO importieren und verarbeiten können.
- Das System soll die Möglichkeit bieten Prozessparameter, wie etwa Drehmomentangaben, aufnehmen und speichern zu können.
- Wenn mithilfe des Systems ein automatischer Entwurf für eine Montageanweisung generiert wird, sollen montagerelevante Parameter der Montageprozesse Verschrauben, Kleben, Fetten, Crimpen automatisiert aus ihrer respektiver Dokumentation ausgelesen werden und in die Anweisung eingefügt werden.
- Wenn mithilfe des Systems ein automatischer Entwurf für eine Montageanweisung generiert wird, können Informationen bezüglich der zu benutzenden Vorrichtungen automatisiert aus dem ERP-System ausgelesen werden.
- Das System soll dem Prozessplaner die Möglichkeit bieten bereits bestehende Montageanweisungen in PDF oder im DOCX Format zu importieren und auf deren Basis automatisiert einen Entwurf für eine Montageanweisung im softwareinternen Format zu erstellen.
- Das System kann die Möglichkeit bieten, Anweisungen zur Prüfung von Bauteilen automatisiert aus Prüfvorschriften zu generieren.
- Das System soll fähig sein automatisiert oder zumindest teil-automatisiert passende Visualisierungen zu jedem Arbeitsschritt zu erstellen.
- Das System muss fähig sein, in den für die Werkerführung erzeugten Visualisierungen, farblich zu kennzeichnen, welche Bauteile bereits verbaut sind und welche nicht.
- Das System kann die Möglichkeit bieten, den Beschreibungstext für einen Arbeitsschritt automatisch zu generieren.

3.2.2 Bedienung des Editors

- Das System soll dem Prozessplaner die Möglichkeit bieten, auch komplett manuell eine Montageanweisung zu erstellen.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 14 / 21



KNORR-BREMSE

- Das System soll dem Prozessplaner die Möglichkeit bieten, manuell Arbeitsschritte zu kopieren, einzufügen und zwischen verschiedenen Produkten bzw. Produktvarianten zu verschieben.
- Das System soll dem Prozessplaner die Möglichkeit bieten, manuell Arbeitsschritte zu kopieren, einzufügen und innerhalb einer Montageanweisung zu verschieben.
- Das System soll es dem Prozessplaner erlauben, auf eine einfache Art und Weise Standardprozesse (Gruppe von standardisierten Arbeitsschritten) zu erstellen und in neue Anweisungen einzufügen.
- Das System soll es dem Prozessplaner erlauben, Dokumente oder Fotos an Arbeitsschritte anzuhängen.
- Wenn das System einen automatisiert erstellten Entwurf generiert hat, soll es eine klare, übersichtliche Darstellung davon geben, welche erfolgreich Bauteile zugeordnet und welche Arbeitsschritte erfolgreich erstellt wurden.
- Das System soll die Möglichkeit bieten, Vorrichtungen und Werkzeuge mit einem Arbeitsschritt zu verknüpfen.
- Das System soll die Möglichkeit bieten, gleichzeitig Arbeitsschritte bearbeiten zu können und eine Visualisierung des Produktes anzuzeigen.
- Das System soll die Möglichkeit bieten erstellte Grafiken und Visualisierungen editieren und bearbeiten (z.B. Markierungen oder Pfeile hinzufügen) zu können.
- Das System soll die Möglichkeit bieten automatisch erstellte Visualisierungen bereits beim Erstellen der Montageanweisung auf ihre Korrektheit zu überprüfen.

3.2.3 Variantenmanagement

- Wenn mithilfe des Systems ein automatischer Entwurf für eine Montageanweisung generiert wird, soll das System dazu fähig sein den Entwurf einer spezifischen Produktgruppe zuzuordnen.
- Das System soll eine übersichtliche Benutzeroberfläche zur Auswahl einer Produktvariante und dessen Montageanweisung zur Verfügung stellen.

3.2.4 Freigabeworkflows

- Das System soll einen Freigabeworkflow, welcher eine Überprüfung der Montageanweisung durch die Qualitätsabteilung ermöglicht, zur Verfügung stellen.

3.2.5 Integration mit anderen Anwendungen

- Das System muss die erstellte Montageanweisung in dem Werkerführungssystem von KB, CAPS, darstellen können.
- Das System soll die von einem Werkerführungssystem unabhängige Veröffentlichung der erstellten Montageanweisung in PDF ermöglichen.
- Das System soll die Möglichkeit bieten in der Montageanweisung gespeicherte Prozessparameter entsprechend an die smarten Werkzeuge und Geräte am Shopfloor weiterzuleiten.
- Das System kann die Möglichkeit bieten mit dem PLM-System von KB, Windchill PLM, zu interagieren und Daten auszutauschen.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 15 / 21


KNORR-BREMSE

3.2.6 Änderungsmanagement

- Das System soll die Möglichkeit bieten mehrere bereits bestehende, ähnliche Montageanweisungen (z.B. alle Montageanweisungen einer Produktgruppe) in einem Schritt zu ändern.
- Wenn es eine technische Änderung eines Produktes oder einer Produktgruppe gibt, soll das System die Möglichkeit bieten die betroffenen Montageanweisung einfach und schnell zu ändern.
- Wenn es eine Kundenreklamation bezüglich eines Produktes gibt, soll das System die Möglichkeit bieten die betroffenen Montageanweisung einfach und schnell zu ändern.
- Wenn eine Änderung eines internen Standards erfolgt, welcher einer oder mehrere Produkte betrifft, soll das System die Möglichkeit bieten die betroffenen Montageanweisung einfach und schnell zu ändern.

3.2.7 Versionenmanagement

- Das System soll die Möglichkeit bieten Montageanweisungen versionieren zu können, so dass es möglich ist zu sehen zu welchem Zeitpunkt welche Montageanweisung für welches Produkt in welchem Zeitraum genutzt wurde.

3.3 Nicht-funktionale Anforderungen

Weitere, nicht-funktionale Anforderungen wurden definiert.

- Anforderungen an Training und Dokumentation
 - Eine ausführliche Dokumentation für die Benutzung des Systems soll bereitgestellt werden.
 - Ein ausführliches Training für die Benutzung des Systems soll bereitgestellt werden.
- Anforderungen an Wartung und Support des Systems
 - tbd
- Anforderungen an die Sicherheit der Anwendung
 - tbd
- Anforderungen an die Ergonomie der Anwendung
 - tbd

3.4 Voraussetzungen an Knorr-Bremse

Die, im folgenden aufgeführten, Voraussetzungen an KB können in späteren Versionen dieses Lastenheftes auch als Anforderungen an das bereitzustellende Softwaresystem angesehen werden. Der Vollständigkeit halber sind sie deshalb hier bereitgestellt.

- Die, für den automatisierten Entwurf einer Montageanweisung, benötigten CAD Dateien müssen so strukturiert sein, dass es für das Softwaresystem möglich ist, diese auszulesen.
- Wenn eine automatisierte Texterstellung mit dem Softwaresystem realisiert werden soll, müssen die Namen der Bauteile in den CAD-Daten vermerkt sein.
- Für eine erfolgreiche Generierung eines Entwurfs einer Montageanweisung müssen die Namen oder Identifikatoren der Bauteile in den CAD-Daten mit den Daten in der Stückliste übereinstimmen. Bei älteren Produkten stimmen Stücklisten nicht mit CAD Daten überein, was zu einem Problem der Generierung der Anleitungen führen könnte.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 16 / 21


KNORR-BREMSE

4 Vertragliche Konditionen, Lieferumfang und Termine

To be determined

5 Anhang

5.1 Zusätzliche Erklärungen für BPMN

Business Process Model and Notation (BPMN) Diagramme werden genutzt, um Prozesse so darzustellen, dass sie von allen Prozessbeteiligten einfach verständlich sind. Abbildung 6 zeigt die Hauptelemente:

- **Aktivität:** Beschreibt eine Tätigkeit, die ausgeführt wird.
- **Sequenzfluss:** Beschreibt die Reihenfolge der Events und Aktivitäten
- **Gateway:** Werden benutzt, um Abweichungen und Zusammentreffen von Sequenzflüssen zu modellieren
- **Event:** Kennzeichnen ein Ereignis innerhalb eines Prozesses und haben einen Auslöser sowie ein klares Resultat.

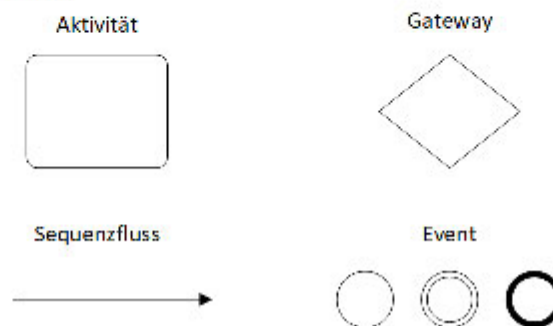


Abbildung 6: BPMN Elemente

5.2 Zusätzliche Erklärungen für Datenflussdiagramme

Das Datenflussdiagramm wird zur graphischen Darstellung eines Systems genutzt. Abbildung 6 zeigt die Elemente eines Diagrammes:

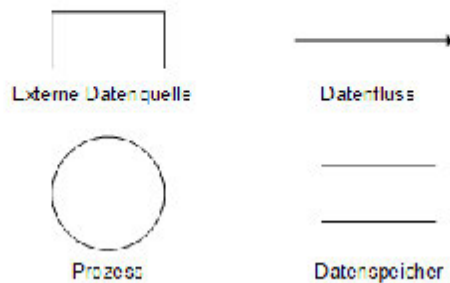
- **Externe Datenquelle:** Eine zum System externe Entität, welche sowohl eine Person, eine Organisation oder auch ein anderes System sein kann.
- **Datenfluss:** Beschreibt eine Schnittstelle zwischen verschiedenen Komponenten eines Systems, durch welche Informationen transportiert werden.
- **Prozess:** Transformieren eingehende Datenflüsse in ausgehende Datenflüsse.
- **Datenspeicher:** Temporäre Aufbewahrungsorte für Daten, wie etwa eine Datenbank.

Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

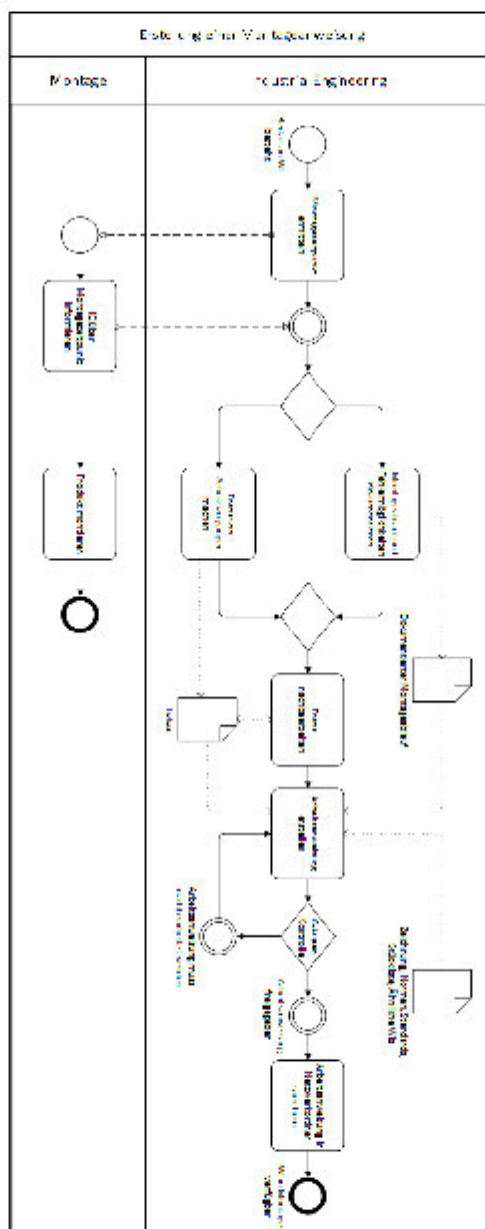
Seite 17 / 21

**KNORR-BREMSE****Abbildung 7: Elemente eines Datenflussdiagrammes**



KNORR-BREMSE

5.3 Erstellung einer Montageanweisung mit Office



Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.

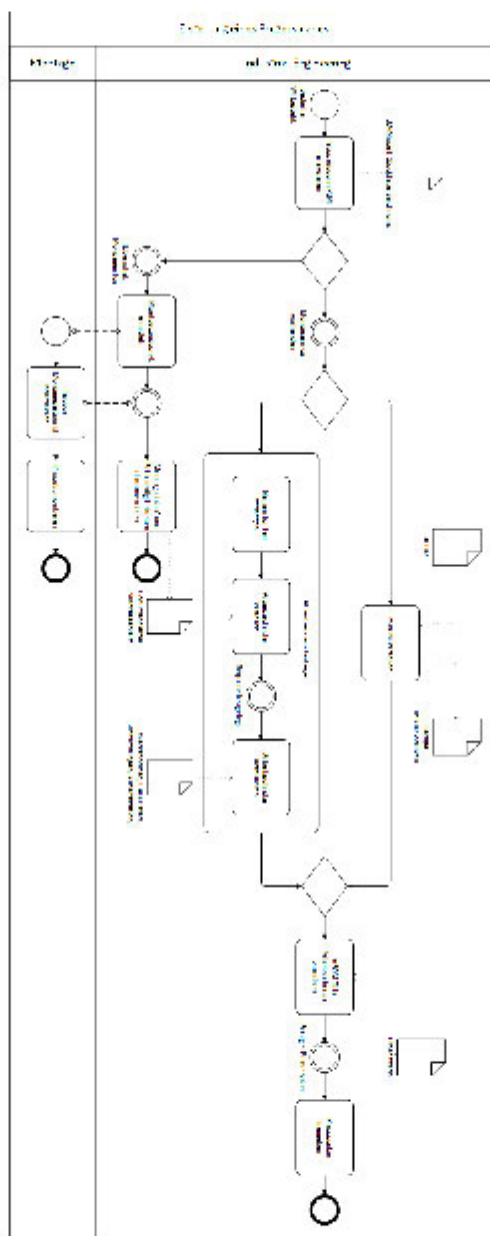


Knoen-Brenne Group

Seite 19 / 21


KNORR-BREMSE

5.4 Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink



Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications.
Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.

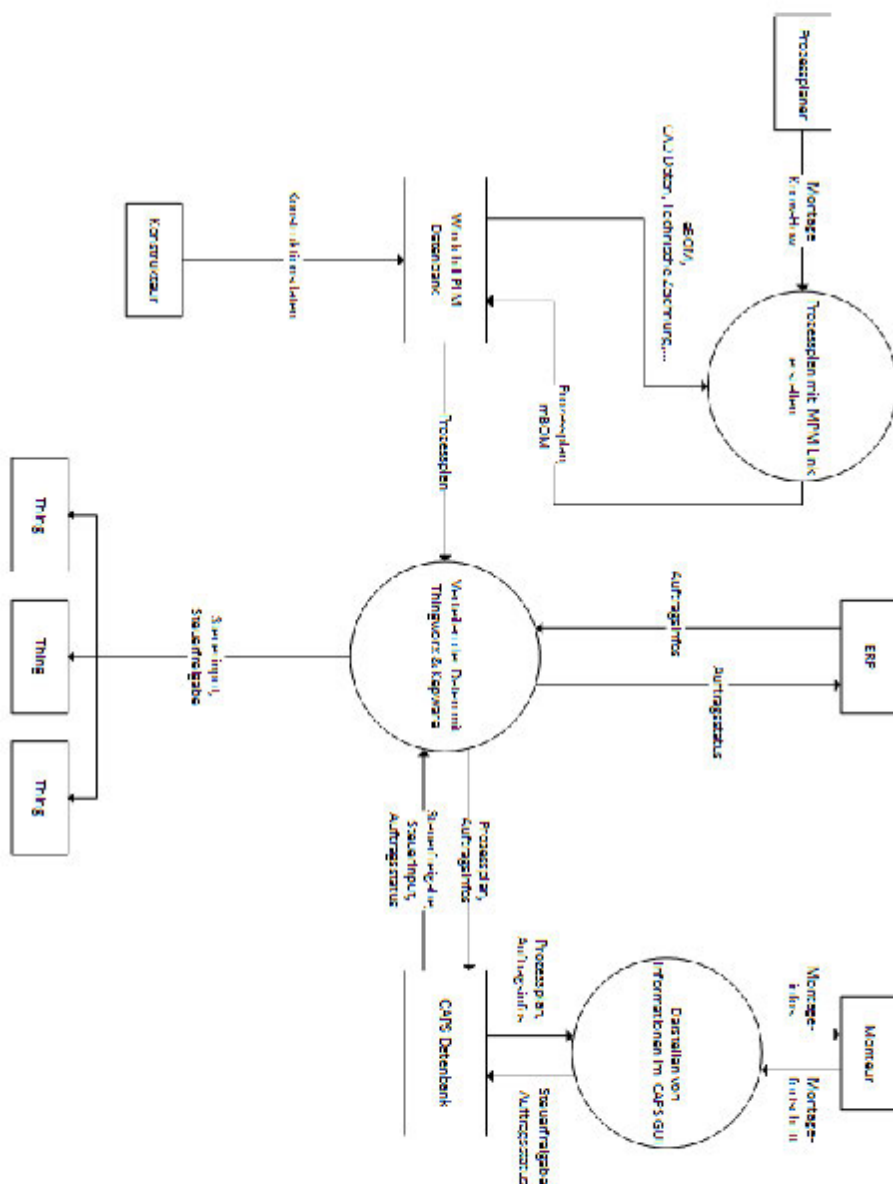


Knorr-Bremse Group

Seite 20 / 21


KNORR-BREMSE

5.5 Datenflussdiagramm der Informationserstellung und -darstellung



Copyright © Knorr-Bremse AG. All rights reserved, including industrial property rights applications. Knorr-Bremse AG retains any power of disposal, such as copying and transferring.



Knorr-Bremse Group

Seite 21 / 21

8 Literaturverzeichnis

AgiplanGmbH; Fraunhofer IML; ZENIT GmbH: Studie „Erschließen der Potenziale der Anwendung von ‚Industrie 4.0‘ im Mittelstand“, Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), 2015

Alpar, P.; Alt, R.; Bensberg, F.; Weimann, P.: Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen, 9. Auflage, Springer, 2019

Binner, H. F.: Organisation 4.0: MITO-Konfigurationsmanagement: Masterplan zur prozessorientierten Organisation, Springer, 2018

Bornewasser, M.; Bläsing, D.; Hinrichsen, S.: Informatorische Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Ein nützliches Werkzeug zur Reduktion mentaler Beanspruchung?, in: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 72, 2018, S. 264-275

Bornewasser, M.; Hinrichsen, S.: Informatorische Assistenzsysteme in der variantenreichen Montage: Theorie und Praxis, Springer Vieweg, 2020

Boucher, T.; Yalcin, A.: Design of Industrial Information Systems, 2006

Bröhl, A. P.; Dröschel, W.: Das V-Modell: Der Standard für die Softwareentwicklung mit Praxisleitfaden, Oldenbourg, 1995

Brüggemann, H.; Bremer, P.: Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM, 3. Auflage, Springer Vieweg, 2020

DeMarco, T.: Structured Analysis and System Specification, Prentice-Hall, New Jersey, 1978

Dick, J.; Hull, E.; Jackson, K.: Requirements Engineering, 4. Aufl., Springer, 2017

DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme: Grundlagen und Begriffe, 2015

Dumas, M.; La Rosa, M.; Mendling, J.; Reijers, H. A.: Grundlagen des Geschäftsprozessmanagements, Springer Vieweg, 2021

Eigner, M.; Roubanov, D.; Zafirov, R.: Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung, Springer, 2014

Franke, J.; Risch, F.: Effiziente Erstellung, Distribution und Rückmeldung von Werkerinformationen in der Montage, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Band 104, Ausgabe 10, Carl-Hanser, 2009, S. 822-826

Funk, M.; Lischke, L.; Mayer, S.; Sahami Shirazi, A.; Schmidt, A.: Teach Me How! Interactive Assembly Instructions Using Demonstration and In-Situ Projection, in: Assistive Augmentation, 2017, S. 49–73

Gallasch, A.: ThingWorx – Plattform zur Integration herausfordernder Anforderungen auf dem Shopfloor, in Automation Symposium 2018: Produktions- und Verfügbarkeitsoptimierung mit Smart Data Ansätzen, 2018, S. 83-92

Georgakopoulos, D.; Jayaraman, P. P.; Fazia, M.; Villari, M.; Ranjan, R.: Internet of Things and Edge Cloud Computing Roadmap for Manufacturing, in IEEE Cloud Computing 4, S. 66-73

Gerhard, D.: Unterlagen zur Lehrveranstaltung „VO 307.413 Industrielle Informationssysteme“, TU Wien, 2017

Gerke, W.: Technische Assistenzsysteme: Vom Industrieroboter zum Roboterassistenten, De Gruyter, 2014

Hold, P.; Ranz, F.; Sihni, W.; Hummer, V.: Planning Operator Support in Cyber-Physical Assembly Systems, in: IFAC PapersOnLine 49, 2016, S. 60-65

Hold, P.; Erol, S.; Reisinger, G.; Sihni, W.: Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems, in: Procedia Manufacturing 9, 2017, S. 143-150

Höhn, R.; Höppner, S.: Das V-Modell XT: Anwendungen, Werkzeuge, Standards, Springer, 2008

Industrial Internet Consortium: The Industrial Internet of Things: Volume T3: Analytics Framework, 2017

Industrial Internet Consortium: The Industrial Internet of Things: Volume G1: Reference Architecture, 2019

ISO/IEC/IEEE 29148:2018: Systems and software engineering — Life cycle processes — Requirements engineering, 2018

Jochem, R.: Was kostet Qualität: Wirtschaftlichkeit von Qualität ermitteln, 2. Auflage, Carl Hanser, 2019

Koren, Y.: The Global Manufacturing Revolution: Product-Process-Business Integration and Reconfigurable Systems, 1. Aufl, Wiley, New Jersey, 2010

Kurbel, K.: ERP und SCM: Enterprise Resource Planning und Supply Chain Management in der Industrie, 9. Auflage, De Gruyter, 2021

Lang, S.: Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion, Meisenbach Verlag, 2007

Lušić, M.: Ein Vorgehensmodell zur Erstellung montageführender Werkerinformationssysteme simultan zum Produktentstehungsprozess, Meisenbach Verlag, Erlangen, 2017

Lušić, M.; Fischer, C.; Bönig, J.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Worker information systems: state of the art and guideline for selection under consideration of company specific boundary conditions, in Procedia CIRP 41, 2016, S. 1113-1118

Mahnke, W.; Leitner, S.; Damm, M.: OPC Unified Architecture, Springer, 2009

Mayrhofer, W.; Kames, D.; Schlund, S.: Made in Austria: Produktionsarbeit in Österreich 2019, 2019

Monostori, L.: Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges, in: Procedia CIRP, 2014, S. 9–13

Naumann, M.; Dietz, T.; Kuss, A.: Mensch-Maschine-Interaktion, in Handbuch Industrie 4.0, Springer Vieweg, 2017, S. 201-2015

Niemann, J.; Reich, B.; Stöhr, C.: Lean Six Sigma: Methoden zur Produktionsoptimierung, Springer Vieweg, 2021

North, K.; Maier, R.: Wissen 4.0 – Wissensmanagement im digitalen Wandel, in: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik 55, 2018, S. 665-681

Object Management Group (OMG): Business Process Model and Notification (BPMN) Specification, 2011, URL: <https://www.omg.org/spec/BPMN/2.0/About-BPMN/> (24.09.2021)

OPC Foundation: OPC Unified Architecture: Interoperabilität für Industrie 4.0 und das Internet der Dinge, 2018

Perry, M. J.: Evaluating and Choosing an IoT Platform, O'Reilly, 2016

Pohl, K.; Rupp, C.: Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering Foundation Level, 4. Ausgabe, dpunkt, 2015

PTC: Die Macht des Jetzt: ThingWorx Overview Brochure, 2020

Reisinger, G.; Komenda, T.; Hold, P.; Sihm, W.: A Concept towards Automated Data-Driven Reconfiguration of Digital Assistance Systems, in: Procedia Manufacturing 23, 2018, S. 99-104

Reisinger, G.; Hold, P.; Sihm, W.: Automated Information Supply of Worker Guidance Systems in Smart Assembly Environment, in IPAS 2020: Smart Technologies for Precision Assembly, 2021, S. 235-248

Rupp, C.; SOPHIST GmbH: Requirements Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil, 6. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, 2014

Sauerwein, E.: Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit, in: Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit: Reliabilität und Validität einer Methode zur Klassifizierung von Produkteigenschaften, 1. Auflage, Gabler, 2000, S. 27-55

Schenk, M.; Schumann, M.: Angewandte Virtuelle Techniken im Produktenstehungsprozess, AVILUSplus, 1. Aufl., Springer, Berlin, 2016

Schlund, S.; Mayrhofer, W.; Rupprecht, P.: Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen, in: Z. Arb. Wiss. 72, 2018, S. 276–286

Schuh, G.; Kampker, A.: Strategie und Management produzierender Unternehmen: Handbuch Produktion und Management 1, 2. Auflage, Springer, 2011

Servan, J.; Mas, F.; Menéndez, J.L.; Ríos, J.: Assembly Work Instruction Deployment using Augmented Reality, in: Key Engineering Materials 502, 2012, S. 25–30

Shaffie, S.; Shahbazi, S.: Lean Six Sigma, McGraw-Hill, 2012

Siemens PLM Software: Teamcenter Electronic Work Instructions, 2016

Stark, J.: Product Lifecycle Management: 21st Century Paradigm for Product Realisation., 4. Auflage, Springer, 2020

VDI: VDI 2206: Entwicklung cyber-physischer mechatronischer Systeme (CPMS), 2020

VDI: VDI 2219: Informationsverarbeitung in der Produktentwicklung: Einführung und Betrieb von PDM-Systemen, 2016

VDI: VDI 2519 Blatt 1: Vorgehensweise bei der Erstellung von Lasten-/Pflichtenheften, 2001

VDI: VDI 3694: Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen, 2014

VDI: VDI 5600 Blatt 1: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES), 2016

Voehl, F.; Mignosa, C.; Charron, R.; Harrington, J. H.: The Lean Six Sigma Black Belt Handbook: Tools and Methods for Process Acceleration, Taylor & Francis, 2014

Von Rosing, M.; White, S.; Cummins, F.; De Man, H.: Business Process Model and Notation – BPMN, in The Complete Business Process Handbook (Vol. 1), Morgan Kaufmann, 2015, S. 429-453

Wagner, K. W.; Patzak, G.: Performance Excellence: Der Praxisleitfaden zum effektiven Prozessmanagement, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, 2020

Wiendahl, H.; Wiendahl, H.: Betriebsorganisation für Ingenieure, 9. Auflage, Hanser, 2019

Wollschlaeger, M.; Sauter, T.; Jasperneite, J.: The Future of Industrial Communication: Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0, in: IEEE Industrial Electronics Magazine, Band 11, 2017, S. 17-27

Wögerer, C.; Plasch, M.; Tscheligi, M.; Egger-Lampl, S.: MMAssist_II- A Lighthouse Project for Industrial Assistance, Assistance in Production in the Context of Human – Machine Cooperation, in ACHI, 2018, S. 136-140

9 Internetquellen

Armbruster Engineering: Die ELAM Plattform, besucht am 08.03.2022
<https://www.armbruster.de/elam-plattform/>

Cortona3D: RapidWorkInstruction, besucht am 08.03.2022
<https://www.cortona3d.com/de/produkte/authoring-publishing-loesungen/rapidauthor/rapidworkinstruction>

Dudenredaktion: „Authoring“ auf Duden Online, besucht am 13.05.2021
<https://www.duden.de/rechtschreibung/Authoring>

Dudenredaktion: „qualitativ“ auf Duden Online, besucht am 19.04.2021
<https://www.duden.de/rechtschreibung/qualitativ>

Hofmann, Marcus: Datenformat, besucht am 22.02.2022
<https://www.gabler-banklexikon.de/definition/datenformat-70781/version-337240>

Kepware: KEPServerEX, besucht am 25.02.2022
<https://www.kepware.com/de-de/products/kepserverex/>

Lattice Technology: Work Instructions, besucht am 08.03.2022
<https://www.lattice3d.com/de/solutions/assembly-work-instructions>

PTC: Windchill Help Center, besucht am 08.03.2022
<https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html>

PTC: Windchill PLM Software, besucht am 27.01.2022
<https://www.ptc.com/de/products/windchill>

PTC: Windchill MPM Link Overview, besucht am 08.03.2022
https://support.ptc.com/help/wnc/r12.0.0.0/en/index.html#page/Windchill_Help_Center%2FExpMPM_AboutMPMLink.html%23

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Zusammenhang zwischen Daten, Informationen und Wissen	8
Abbildung 2-2: Industrielle Informationssysteme und Bereiche in der Industrie	9
Abbildung 2-3: Hierarchie von ERP, MES und Kontrollsystemen	11
Abbildung 2-4: Schritte des PLM und Interaktion mit anderen Systemen	12
Abbildung 2-5: Stücklisten in unterschiedlichen Stadien des Lebenszyklus	14
Abbildung 2-6: 4-Ebenen VDA-Modell	15
Abbildung 2-7: 3-Ebenen IIoT Systemarchitektur	16
Abbildung 2-8: Direkte und indirekte Schnittstellen	17
Abbildung 2-9: Gestaltung von Montagesystemen	19
Abbildung 2-10: Haupttätigkeiten des RE	25
Abbildung 2-11: Iteration und Rekursion in ISO 29148	26
Abbildung 2-12: V-Modell für mechatronische Systeme	29
Abbildung 3-1: Beispiel eines Use Scenarios	33
Abbildung 3-2: Elemente eines DFD	34
Abbildung 3-3: Hierarchische Aufteilung eines Systems mittels DFD	34
Abbildung 3-4: Prozessmanagement	35
Abbildung 3-5: Wichtige BPMN Symbole	37
Abbildung 3-6: SWOT-Analyse in Matrixform	38
Abbildung 3-7: Ishikawa-Diagramm	39
Abbildung 3-8: KANO-Modell	41
Abbildung 3-9: Kano-Auswertungstabelle	42
Abbildung 4-1: Entwickeltes Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung	44
Abbildung 4-2: Stakeholder für die Informationsbereitstellung in der Montage	45
Abbildung 5-1: Vorgehensmodell zur Anforderungserhebung bei KB	51
Abbildung 5-2: Erstelltes Use Szenario während Workshop	54
Abbildung 5-3: Angabe einer Risikoklasse	56
Abbildung 5-4: Vorgehensweise zum Vergleich der Methoden	58
Abbildung 5-5: Erstellung einer Montageanweisung mittels Office	60
Abbildung 5-6: Erstellung eines Prozessplans mit MPM Link	64
Abbildung 5-7: Modelle zur automatisierten Informationsversorgung von WFS	67
Abbildung 5-8: Benutzeroberfläche zur Detaillierung der Montageschritte	69
Abbildung 5-9: Vorschlag einer Montagesequenz	70
Abbildung 5-10: Darstellung in WFS ELAM	71
Abbildung 5-11: Prozessorientierte Arbeitsweise mit CAPS	78
Abbildung 5-12: CAPS Shop Floor Benutzeroberfläche	79
Abbildung 5-13: Datenumwandlung mit MPMLink	80
Abbildung 5-14: Kepware im IIoT-Netzwerk	81
Abbildung 5-15: Kontextdiagramm für den Prozess der Informationserstellung	82

Abbildung 5-16: DFD der Informationserstellung und -darstellung bei der Montage	84
Abbildung 5-17: Auszug des Fragebogens.....	86

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 5-1: SWOT-Analyse der Erstellung einer Arbeitsanweisung mit Office.....	61
Tabelle 5-2: SWOT-Analyse der Erstellung eines Prozessplanes mit MPMLink	65
Tabelle 5-3: Festgelegte Kategorien für Methodenvergleich	74

12 Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
API	Application Programming Interface
BMA	Business Mission Analysis
BOM	Bill of Materials
BPMN	Business Process Model and Notation
CAD	Computer Aided Design
CAE	Computer Aided Engineering
CAP	Computer Aided Planning
CAPP	Computer Aided Process Planning
CAPS	Computer Aided Production System
CAX	Computer Aided X
CPPS	Cyber Physical Production Systems
CPS	Cyber-Physical Systems
DFD	Datenflussdiagramm
eBOM	Engineering Bill of Materials
ERP	Enterprise Resource Planning
IE	Industrial Engineering
IIoT	Industrial Internet of Things
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
KB	Knorr-Bremse
LSS	Lean Six Sigma
M2M	Maschine-to-Maschine
mBOM	Manufacturing Bill of Materials
MES	Manufacturing Execution System
OPC UA	Open Platforms Communication – Unified Architecture
PDF	Portable Document Format
PDM	Product Data Management
PLM	Product Lifecycle Management
RE	Requirements Engineering
SCM	Supply Chain Management
SRM	Supplier Relationship Management
STEP	Standard for the Exchange of Product Data
StRD	Stakeholder Needs and Requirements Definition
SyRD	System Requirements Definition
VR	Virtual Reality
WFS	Werkerführungssystem
WIS	Werkerinformationssystem