



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

**Optimierung eines Materialisierungsprozesses
mittels einer Methodik für ein
Fertigungsmanagementsystem mit Fokus auf einen
echtzeitfähigen Informationsfluss am Beispiel der
Schienenfahrzeugindustrie**

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Mensch-Maschine-Interaktion)

Dipl.-Ing. Dr.-techn. Felix Kamhuber B.Sc.

(Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Fabian Sertschnigg

01609028 (066.482)



Wien, im November 2022

Vorname Nachname



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.

Wien, im November 2022

Vorname Nachname

Danksagung

Diesen Teil der Dokumentation möchte dazu nutzen, um Dipl.-Ing. Dr.-techn. Alexander Sunk für die ausgesprochen professionelle und umfangreiche Unterstützung bei dieser Arbeit zu Danken. Ohne dessen kompetenten Einsatz wäre die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen. Das hartnäckige Auseinandersetzen mit der Sache von seiner Seite aus ermöglichte es mir vielzählige interessante Einblicke im Bereich des Prozessmanagements sammeln zu können. Außerdem möchte ich der Produktionsabteilung der Siemens Mobility Austria GmbH für die effiziente Zusammenarbeit und der Offenheit gegenüber diesem Projekt danken.

Von Seiten der technischen Universität Wien möchte ich Dipl.-Ing. Dr.-techn. Felix Kamhuber für die Unterstützung, organisatorische Betreuung und konstruktivem Feedback im Laufe der Arbeit danken.

Personen meines näheren Umfelds, welche mich in meiner universitären und jungen beruflichen Laufbahn im Zuge der Erstellung dieser Arbeit begleitet haben möchte ich, für aufschlussreiche Diskussionen, dem Korrigieren meiner Arbeit und dem Aussprechen wichtiger motivierender Worte danken.

Abschließend möchte ich meinen Eltern für die Unterstützung während meines Studiums danken. Ihr habt es mir ermöglicht, finanziell unabhängig, mich zu 100% auf meine Ausbildung konzentrieren zu können. Ich verdanke euch ein künftiges Leben als Ingenieur.

Gender-Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern die männliche Form verwendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

Kurzfassung

Initiiert wurde die Forschung dieser Arbeit durch das Bestreben eines Unternehmens der Schienenfahrzeugindustrie seine Montageprozesse mit angeschlossener Materialisierung zu verbessern bzw. effizienter zu gestalten. In einer Analyse des Fertigungsmanagements und der Informationssysteme zeigte sich, dass dieses nicht die Anforderungen und Aufgaben nach VDI5600 erfüllt bzw. diese unzureichend nutzt.

Das Ziel besteht darin, den Prozess der Montage von Wagenkästen, welche in Fließfertigung produziert werden und über eine große Komplexität verfügen, an Hand der Aufgaben eines Fertigungsmanagementsystems (Manufacturing Execution System MES) zu planen, einzuführen und auf dessen Wirksamkeit zu überprüfen. Es soll die Wirksamkeit eines Fertigungsmanagementsystems nach Vorgaben VDI5600 für Prozesse der Schienenfahrzeugindustrie gezeigt oder dementiert werden.

Die Planung des Montageprozesses, sowie dessen umgebenden Hilfsprozessen und die Zusammenarbeit mit Informationssystemen soll sich an der Norm nach VDI5600 (Fertigungsmanagementsystem) halten bzw. orientieren und in den Prozessen dementsprechend angewandt werden. Der augenscheinliche Prozess wurde mit seinen Hilfsprozessen vollständig aufgenommen. Darauf basierend wurde gezielt nach Abweichungen zu einem MES im Zuge einer Gap-Analyse untersucht. Es wurden Experteninterviews mit prozessbeteiligten Personen durchgeführt und deren Aussagen gruppiert bzw. geordnet und Fehlerursachen recherchiert. Durch Aufzeichnung der Taktverzögerungen wurde die Prozessperformance gemessen. Aufbauend darauf wurde ein Prozess konzipiert, der die Anforderungen nach VDI5600 erfüllt und dessen Aufgaben absolviert. Mittels gezielter Maßnahmen wurde die Abweichungen vom Zielbild des Prozesses behoben.

Im Zuge dieser Arbeit wurde ein Informationssystem konstruiert, welches notwendige Tätigkeiten des Informationsmanagements gezielt im Sinne eines MES bereitstellt. Die Realisierung sowie Einführung des Prozesses wurden nach dem Cycle des Business Process Management ausgeführt und dokumentiert, wie auch die bei der Einführung entstandenen Herausforderungen.

Abschließend wurde das Prozesskonzept validiert, indem erneut die Prozessperformance gemessen und mit der ursprünglichen verglichen wurde. Durch die sich zeigende gesteigerte Prozessperformance wurde Wirksamkeit von Fertigungsmanagementsystemen für Prozesse dieser Art gezeigt.

Abstract

The research of this thesis was initiated by the effort of a company in the rail vehicle industry to improve its assembly processes with attached materialization process and to make them more efficient. An analysis of the production management and information systems showed that these do not fulfill the requirements and tasks according to VDI5600 or use them insufficiently.

The aim is to plan and implement the process of assembling car bodies, which are produced in flow production and are highly complex, on the basis of the tasks of a manufacturing execution system (MES) and to test its effectiveness. The effectiveness of a manufacturing management system according to VDI5600 for processes in the rail vehicle industry is to be demonstrated or denied.

The planning of the assembly process and its surrounding auxiliary processes and the cooperation with information systems should be based on the standard according to VDI5600 (manufacturing execution system) and applied accordingly in the processes. The apparent process with surrounding auxiliary processes was recorded and specifically examined for deviations from an MES in the course of a gap analysis. Expert interviews were conducted with people involved in the process and their statements grouped or ordered and causes of errors were researched. By recording the cycle delays, the process performance was measured. Based on this, a process was to be designed that meets the requirements of VDI5600 and is able to complete its tasks. By means of specific measures, the deviations from the target image of the process were to be eliminated.

In the course of this work an information system was constructed, which can provide necessary activities of the information management purposefully in the sense of a MES. The realization as well as the introduction of the process were executed and documented according to the cycle of the Business Process Management, as well as the obstacles that arose during the introduction.

Finally, the process concept was validated by measuring the process performance again and comparing it to the original one. The increased process performance demonstrated the effectiveness of manufacturing management systems for processes of this type.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Forschungsansatz.....	1
1.2	Vorgehensweise	2
1.3	Spezifika Fertigungsprozesse der Schienenfahrzeugindustrie	7
2	Theoretische Grundlagen.....	8
2.1	Grundlagen Fertigungsmanagementsystem MES	8
2.1.1	Aufgaben und Wirkungsweise.....	8
2.1.2	Bedeutung für Unternehmensprozesse	14
2.1.3	Aspekte des Begriffs „in Echtzeit“ bzw. „echtzeitfähig“	16
2.2	Aspekte der Verschwendungen in Fertigungsprozessen	16
2.3	Modell des Prozessmanagements anhand Business Process Management BPM	17
2.4	Methoden und Werkzeuge zur qualitativen Prozessanalyse	19
2.4.1	Überblick über die Methodenvielfalt	19
2.4.2	Business Process Model and Notation BPMN	19
2.4.3	Befragungen von Domänenexperten	22
2.5	Methoden und Werkzeuge zur quantitativen Prozessanalyse	22
2.5.1	Überblick über die Methodenvielfalt	22
2.5.2	Ausgewählte Prozesskennzahlen	23
3	Ist-Analyse des operativen Fertigungsmanagements	27
3.1	Überblick über den Montage- und zugehörigen Materialisierungsprozess ...	27
3.1.1	Physischer Aufbau der Montagelinie.....	28
3.1.2	Ist-Zustand der Fertigungsstruktur und der Verknüpfung zu den Materialstammdaten.....	30
3.1.3	Ist-Zustand der Fertigungsterminplanung	31
3.1.4	Qualitative Beschreibung der Informationssysteme	32
3.1.5	Erläuterung der Subprozesse im Ist-Zustand.....	38
3.2	Ist-Prozessanalyse	49
3.2.1	Auflistung und Beschreibung der beobachteten Problematiken.....	49
3.2.2	Analyse nach Aufgaben lt. VDI5600-1	53
3.2.3	Messung der Prozessperformance	59

4	Soll-Konzept für das operative Fertigungsmanagement	60
4.1	Maßnahmen zur Erfüllung der Aufgaben nach VDI5600-1	60
4.1.1	Arbeitsplanung und Materialisierung	60
4.1.2	Transparenz über den Fertigungsstatus	61
4.1.3	Kommunikationskanal der Materialverfügbarkeit	64
4.1.4	Kommunikationskanal der Störfälle und des Montageabschnittsstatus	65
4.1.5	Effizienzsteigerung manueller Kommunikationstätigkeiten (Meetings) und Elimination lokalen Dokumente	67
4.2	Soll-Konzept des optimierten Prozessablaufs unter Berücksichtigung der vorgestellten Maßnahmen	68
4.2.1	Umsetzung der Kommunikationskanäle (Material Communicator)	68
4.2.2	Prozessablauf Subteilnehmer mittels der vorgestellten Maßnahmen	74
5	Realisierung des Soll-Konzepts	84
5.1	Softwareentwicklung der Kommunikationseinheit (Material Communicator)	84
5.1.1	Analyse der Schnittstellen zu anderen Systemen	84
5.1.2	Technische Umsetzung	87
5.1.3	Vorstellung der realisierten Kommunikationseinheit	87
5.1.4	Vorstellung des realisierten Dashboards	91
5.2	Umsetzung und Einführung des Soll-Prozesskonzepts	94
5.2.1	Prozessimplementierung	94
5.2.2	Laufender Betrieb und Ausblick	95
5.2.3	Herausforderungen bei der Einführung	95
6	Validierung des Artefakts	97
6.1	Messung der Prozessperformance	97
6.1.1	Erhebung des Taktverzugs im „alten“ operativen Fertigungsmanagement	97
6.1.2	Erhebung des Taktverzugs im „neuen“ operativen Fertigungsmanagement	99
6.2	Quantitativer Prozessvergleich	99
6.3	Qualitativer Prozessvergleich	102
7	Resümee	104
7.1	Beantwortung der Forschungsfrage und Beurteilung des Artefakts	104
7.2	Weiterführende Forschung	105

8	Anhang.....	107
9	Literaturverzeichnis	110
10	Abbildungsverzeichnis	112
11	Formelverzeichnis.....	114
12	Tabellenverzeichnis	115
13	Abkürzungsverzeichnis.....	116

1 Einleitung

Im Unternehmen der Siemens Mobility werden Schienenfahrzeuge in Serienfertigung hergestellt. Eine Industrie, deren Charakteristikum in der variantenreichen und äußerst komplexen Kleinserienfertigung liegt (Besonderheiten von Fertigungsprozessen der Schienenfahrzeugindustrie im Kapitel 1.3 angeführt). Oftmals sehr lang andauernde Projekte erlauben und bedürfen einer umfassenden methodischen Arbeitsablaufplanung, um ausreichend effizient (und somit konkurrenzfähig) fertigen zu können.

1.1 Problemstellung und Forschungsansatz

In der Vergangenheit traten im Wertschöpfungsprozess der betrachteten Fertigung einige Abweichungen vom Terminplan auf. So konnte der vorgegebene Takt der Produktion nicht eingehalten werden (nicht oder unzureichend erfüllte *Takttreue*). In einer ersten Beobachtung zeigten sich Verzögerungen an den Fertigungsaufträgen aufgrund nicht vorhandenen Materials bei gleichzeitiger Überlastung des Teilprozesses der Materialisierung. Eine aktuell vorhandene Wertstromanalyse bestätigt allerdings das Auslangen der Kapazitäten in der Fertigung und der Materialisierung. Der Bedarf an Material wird von der tatsächlichen Anlieferung also nur unzureichend erfüllt, wodurch eine Abweichung, im Sinne einer Verzögerung, vom vorgegebenen Terminplan resultiert (fehlende *Takttreue*). Zusätzlich konnte eine Intransparenz im operativen Fertigungsmanagement ausfindig gemacht werden. Die Fertigungsplanung weicht von der in der Realität angesehenen Vorgabe ab und wird allgemein nur als grobe Richtlinie angesehen.

In den Monaten März, April und Mai des Jahres 2022 wurde (bereits im Zuge dieser Arbeit) der Prozess der Montage von Wagenkästen mit allen zugehörigen unterstützenden Prozessen aufgenommen. Die sich darstellenden Subprozesse sowie deren gesamtheitliches Zusammenspiel wurden einer umfassenden Analyse unterzogen. Ausschlaggebend hierbei waren die Vorgaben eines Fertigungsmanagementsystems nach VDI5600 oder Kletti (2015). Aus der Analyse der Prozesslandschaft und dessen Dynamiken im Wertschöpfungsprozess ergibt sich die Erkenntnis, dass eine Systematik nach den Vorgaben eines Fertigungsmanagementsystem (MES) nicht vorhanden, nur unzureichend vorhanden oder nicht nutzbar ist. Der Prozess muss besser feingesteuert und die Transparenz im operativen Fertigungsmanagement hergestellt werden. Durch die nicht eingehaltenen Vorgaben eines Fertigungsmanagementsystem resultiert die Forschungsfrage: „Auf welcher Art und Weise ist es für den betrachteten Anwendungsfall mit den gegebenen Randbedingungen (Charakteristika der Fertigung der Schienenfahrzeugindustrie, geforderte Liefertreue, Transparenz und Feinsteuerung) möglich, ein transparentes

Fertigungsmanagementsystem aufzusetzen, um den aufgezeichneten Problemen, Notwendigkeiten und Bedürfnissen zu begegnen?“ Es soll die bewährte Methodik eines Fertigungsmanagementsystems auf die Praxistauglichkeit für ein neuartiges Problem (Produktion von Schienenfahrzeugen) angewendet und auf dessen Wirksamkeit geprüft werden.

Hin zur Untersuchung dieser Haupt-Forschungsfrage werden weitere Sub-Forschungsfragen zu beantworten sein. So müssen nach Vorgaben einer Betriebsdatenerfassung Möglichkeiten getestet werden, um die *Takttreue* und *Durchlaufzeit* der Arbeitsschritte teilautomatisiert bis automatisiert messen zu können. Diese Messungen müssen reproduzierbar und universal sein, um Aussagen bezüglich der Wirksamkeit des Systems zu treffen. Weiters wird das Zusammenspiel der einzelnen Teilprozesse aufzunehmen, zu analysieren und zu dokumentieren sein.

1.2 Vorgehensweise

Die Durchführung dieser Arbeit orientiert sich am Modell der *Design Science Research* Methodologie *DSRM* nach Hevner (2008). Im Zuge dieser sollen die Aspekte eines Fertigungsmanagementsystems auf die Wirksamkeit in einem Fertigungsprozess der Schienenfahrzeugindustrie überprüft werden. Die *DSRM* ist eine Vorgehensweise, bei der ein technologischer Lösungsansatz (nach Terminologie *DSRM* **Artefakt** genannt) hingehend auf die Wirksamkeit zur Lösung eines strukturellen Problems überprüft wird. Die Forschung wird in drei Zyklen, also iterativen Prozessen, realisiert (Übersicht siehe Abbildung 1-1).

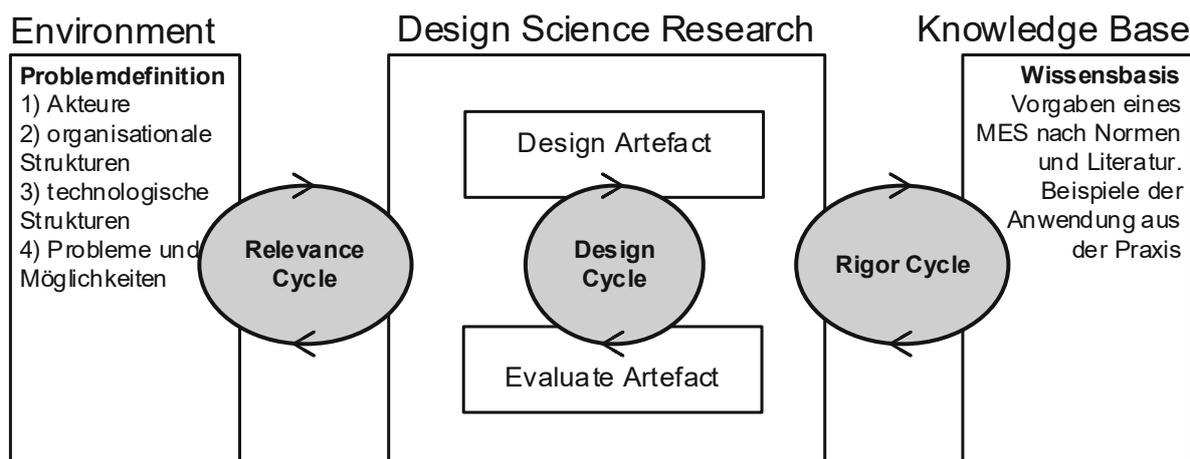


Abbildung 1-1 Framework des DSRM nach Hevner¹

Der „Relevance Cycle“ beschreibt den iterativen Prozess, basierend auf den Randbedingungen des *Environments*, welches die Anforderungen an das Artefakt, Kriterien festlegt, die das Artefakt als erfolgreich charakterisiert und den

¹ vgl. Hevner, 2008, S.16

Anwendungskontext festlegt. Im Zuge der Festlegung des *Environments* soll das vorliegende Problem definiert und die mitwirkenden *Akteure* analysiert werden. Dieses stellt die Basis für die folgenden Forschungsaufgaben.

Im Zuge des „Rigor Cycle“ soll basierend auf der *Knowledge-Base* der Prozess des Erzeugens des *Artefakts* beeinflusst werden. So soll das Artefakt auf einer im Vorfeld recherchierten Wissensbasis beruhen. Diese Wissensbasis wird nach Abschluss der Forschung um die Erkenntnisse dieses Projekts erweitert.

Der „Design Cycle“ ist der iterative Prozess des Anpassens des Artefakts zwischen dem Konstruieren (*design Artefact*) und dem Evaluieren (*evaluate Artefact*) nach der ursprünglichen Problemstellung. Dieser Prozess ist als der Kernpunkt der Methodologie anzusehen. So werden die gewonnenen Erkenntnisse aus dem Praxistest und dem Abgleich zu den gezeichneten Vorgaben des *Environments* und der *Knowledge-Base* zur Weiterentwicklung der Konstruktion herangezogen.

Nach Vorgaben *DSRM* müssen zu Beginn dieser Arbeit Untersuchungen bezüglich des *Environments* und der *Knowledge-Base* angestellt werden. Es ist somit notwendig eine umfassende Literaturrecherche der **Literatur an Fertigungsmanagementsystemen** durchzuführen und aufzufassen. Weitere für die Arbeit notwendige Methoden, wie unter anderem Möglichkeiten zur Messung der Prozessperformance, werden ebenfalls im Zuge dieses Schrittes erledigt. Der Schritt ist in Kapitel 2 dokumentiert.

Die nächsten Basisuntersuchungen müssen das Environment festsetzen. Um Fragen beantworten zu können wie:

- welche Akteure sind beteiligt
- wie sehen die organisationalen Strukturen aus
- wie stellen sich die technologischen Strukturen dar
- welche Problematiken und Möglichkeiten können resultieren

Dafür muss eine umfassende **Aufnahme** des **Fertigungsprozesses** mit allen beteiligten **Subprozessen** durchgeführt werden. Es muss das Zusammenwirken sowie der grundlegende Ablauf festgehalten sein. Da ein Fertigungsmanagementsystem direkt in die **informatischen Systeme des Prozesses** eingreift, diese ergänzt oder erweitert müssen auch diese mit **allen Aspekten** und **deren Zusammenwirken aufgenommen** werden. Die **Arbeitsorganisation** ist ein Teil des Fertigungsmanagementsystems, weshalb auch die derzeitige Form dieser analysiert und aufgezeichnet werden muss. Auf den **physischen Aufbau der Fertigung** muss ein Augenmerk gelegt werden, da auch daraus Grenzen der technologischen Struktur resultieren. Basierend darauf soll der umfassend aufgenommene Prozess mit allen umgebenden Aspekten mit den in der *Knowledge-*

Base festgehaltenen **Vorgaben** eines **Fertigungsmanagementsystems geprüft werden**. Im Zuge dieser **Gap Analyse** sollen Potentiale und Lücken aufgezeigt werden, in wie fern das Artefakt in folgenden Schritten angepasst und eingesetzt werden muss. Diese Schritte sind im Kapitel 3 dokumentiert.

Um eine Basis der objektiven Beurteilung des im Zuge dieser Arbeit zu untersuchendem Artefakt zu schaffen, muss der **Prozess** im ursprünglichen Zustand einer **Performance-Messung** unterzogen werden. Die Messung schafft außerdem Möglichkeiten zur *Evaluierung* als Teil des Design-Cycle. Die in der Vergangenheit aufgetretenen Schwierigkeiten im Prozess selbst oder dem näheren Umfeld sollen gesammelt und mittels einer **Ishikawa-Analyse (Teil der Q7-Qualitätswerkzeuge)**² strukturiert und auf **Folgen** sowie **Ursachen analysiert** werden. Dieser Schritt ist ebenfalls dem Kapitel 3 zu entnehmen.

Als Basis des definierten *Environments* und der *Knowledge-Base* soll ein erster Durchlauf des *Relevance-* bzw. des *Rigor Cycle* durchgeführt werden. Ermittelte Differenzen zu den Vorgaben eines MES der Gap-Analyse werden untersucht und ein **Konzept notwendiger Maßnahmen** erstellt. Durch das Anpassen bzw. Erstellen des Artefakts eines Fertigungsmanagementsystems sollen die aufgenommenen Schwierigkeiten einer theoretischen Beurteilung zur Lösung dieser unterzogen werden. Die definierten Maßnahmen sollen im Zuge eines **allumfassenden Prozessdesigns** im **Zusammenwirken** mit allen **Subteilnehmern** (siehe Kapitel 2.4.2) **dargestellt** und **beurteilt** werden. Es muss die Frage, wie sich das Konzept auf den Prozessablauf auswirkt, Beantwortung finden. Die angeführten Schritte sind dem Kapitel 4 zu entnehmen.

Die praktische Umsetzung des ausformulierten Konzepts soll anschließend angeführt werden. Es soll zu Zwecken der Dokumentation ein Fokus einerseits auf **technische** Herausforderungen und andererseits auf Herausforderungen **menschlicher** Natur, im Prozess des Einführens eines neuen Systems gelegt werden (beobachtbarer **Widerstand** etc.). Außerdem sollen etwaig zu realisierender Informatik nachvollziehbar mit verwendeten Schnittstellen und technischen Grundgerüst dokumentiert werden. Diese Schritte sind im Kapitel 5 angeführt.

Abschluss der Forschung bildet eine **Evaluierung der gesetzten Maßnahmen**. Der Prozess soll hinsichtlich der neu zu **messenden Prozessperformance**, der u.U. **neu auftretenden Problemen**, der im Konzept **gesehenen Potentiale** und des **Grades der Eliminierung alter Schwierigkeiten** hinsichtlich der Zielführung des gesetzten Artefakts beurteilt werden. Evaluierungen werden im Kapitel 6 formuliert.

Die neu gewonnenen Kenntnisse werden der Knowledge-Base hinzugeführt. Durch den Vergleich des vorgefundenen Prozess mit dem durch das Artefakt beeinflussten

² vgl. Brunner, (2017), Abschnitt 2.2

neuen Prozess soll ein **abschließendes Urteil** über die **Wirksamkeit des Artefakts** bezüglich der Erfüllung des **vorgegebenen Zwecks** gebildet werden. Diese Punkte sind im Kapitel 7 angeführt.

In der Abbildung 1-2 sind die angeführten Punkte, zum Zwecke des Überblicks, zusammengefasst angeführt.

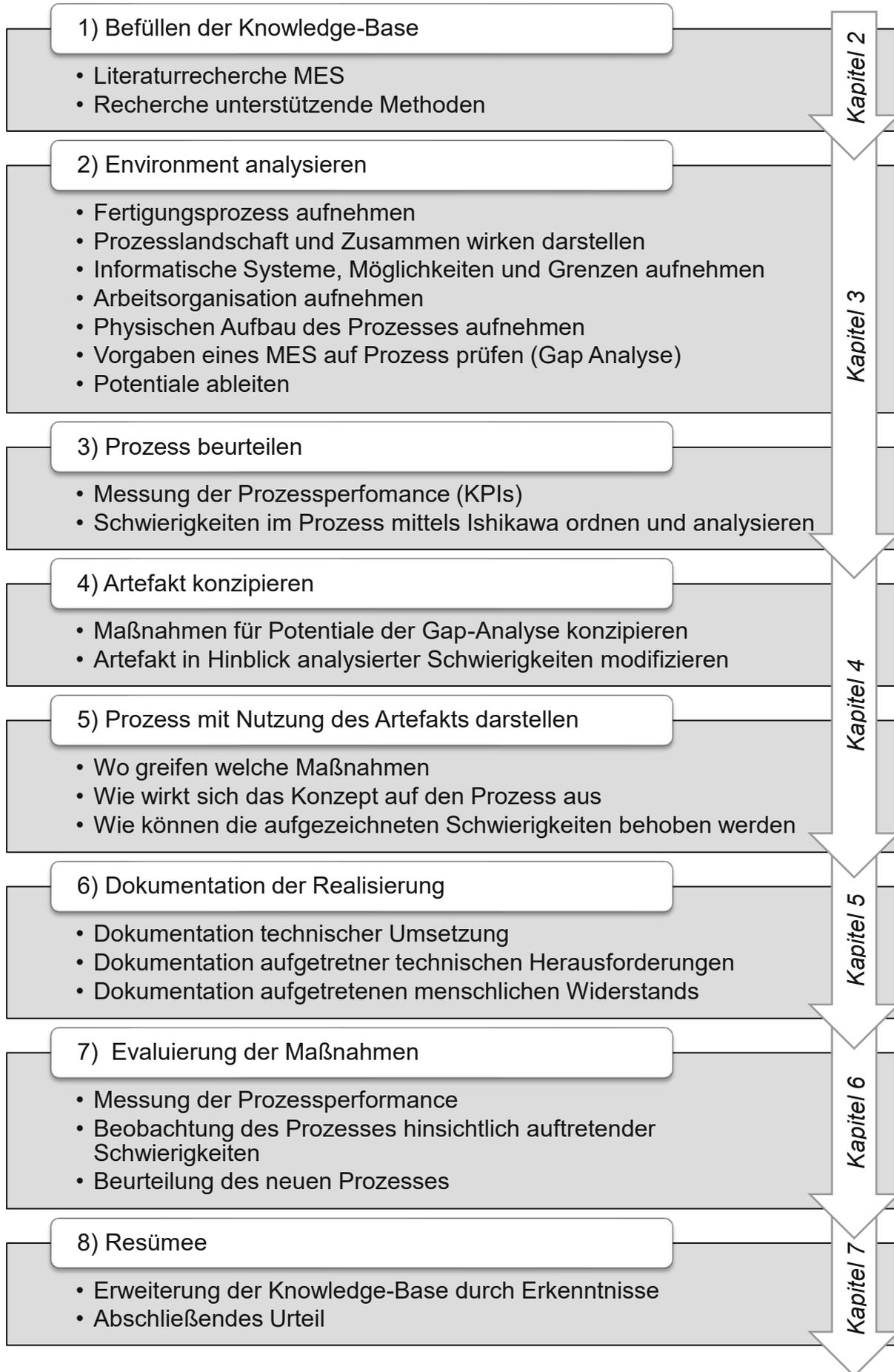


Abbildung 1-2 Überblick über den geplanten Aufbau der Forschungsarbeit

1.3 Spezifika Fertigungsprozesse der Schienenfahrzeugindustrie

Die Besonderheiten der Schienenfahrzeugindustrie, welcher ein zu berücksichtigender Faktor in dieser Arbeit darstellt, sollen hier formuliert werden.

Projekte der Schienenfahrzeugindustrie werden im Sinne des „engineering to order“ Prinzip abgewickelt. Die Produkte, also die produzierten *Wagenkästen*, sind individuell auf die Bedürfnisse des Kunden maßgeschneidert und werden in Kleinserien hergestellt. Die komplexen Produktionsstrukturen enthalten eine Vielzahl von Komponenten, die in vielen Stufen des Montageprozesses umgesetzt bzw. eingebaut werden müssen. Komponenten werden dabei in sehr geringen, andere wiederum in großen Stückzahlen benötigt.³ Eine *Stückliste* eines U-Bahn Wagenkasten hat durchschnittlich 42.000 Einträge. Darunter sind alle Hilfs- und Rohmaterialien zu verstehen, die benötigt werden, um einen Wagenkasten herstellen zu können. Durchschnittlich fallen davon dreiviertel der Materialien im Bereich der Montage, der Rest in vor- und nachgelagerten Prozessen an (siehe auch Abbildung 3-1). Der Prozess der Materialisierung der Montage muss also recht umfangreiche Mengen an Material umsetzen. Bei geplanter Taktung der Fließfertigung ist der Zeitpunkt des Einbaus exakt vorgegeben, in welchem auch die Materialisierung der einzubauenden Baugruppe stattfinden muss (siehe auch Kapitel 3.1.2).

Eine Kleinserienfertigung in der Charakteristik des „engineering to order“ bedarf eines großen planerischen Aufwands vorab. Während der Serienfertigung ist ein umfangreiches operatives Fertigungsmanagementsystem notwendig, um die Komplexität, welche sich aus den oben genannten Gründen ergibt, zu beherrschen⁴. Dazu zählen die Funktionalitäten eines *MES* (siehe Kapitel 2.1.1), wie die termingerechte Bereitstellung von Ressourcen, die Feinsteuerung und Feinplanung der Fertigung und das Informationsmanagement, welches die Entscheidungsgrundlagen im Zuge der Prozesssteuerung liefert.

³ vgl. Hicks/McGovern/Earl, 2000, Abschnitt 2.2

⁴ vgl. Böhl, 2001, Abschnitt 2.4

2 Theoretische Grundlagen

Um die *Knowledge-Base*⁵ für die Forschung dieser Arbeit zu befüllen, wird eine Recherche bezüglich

- Vorgaben und Möglichkeiten von Fertigungsmanagementsystemen (Manufacturing Execution Systems MES)
- Grundlegende Formen von Verschwendungen in Fertigungsprozessen
- Methoden zur übersichtlichen Dokumentation und Darstellung von Prozessen und dem Zusammenwirken mit Subprozessen, Informations- und Warenflüssen (qualitative Prozessanalyse)
- Methoden bzw. Werkzeuge zur Messung oder Beurteilung der Prozessperformance (quantitative Prozessanalyse)

durchgeführt.

2.1 Grundlagen Fertigungsmanagementsystem MES

Die Möglichkeiten, Bedeutungen für Fertigungsprozesse und Wirkungsweise eines Fertigungsmanagementsystems (Manufacturing Execution Systems MES) soll an Hand der Norm VDI5600 einführend erläutert werden.

2.1.1 Aufgaben und Wirkungsweise

Gemäß der Richtlinie nach VDI5600 wird das „Systemverständnis“ eines Fertigungsmanagementsystem (MES) wie folgt dargelegt:

Ein Fertigungsmanagementsystem soll alle, zur unmittelbaren Produktionsdurchführung notwendigen, Informationen bereitstellen. Dazu zählen Informationen zu den Produktionszielen, zur Ressourcenverfügbarkeit (Mensch, Maschine, Material), genaue Liefertermine und -mengen, die genaue Zusammensetzung des Produktes sowie notwendige Zusatzinformationen (z.B. Dokumente und Richtlinien). Aus diesen aufgenommenen Informationen lassen sich Reaktionen generieren, die im MES vorgeschlagen werden und den Produktionsablauf beeinflussen. Das Ziel dabei ist es, die ständige Vergleichbarkeit zwischen einem definierten Soll-Zustand und dem aufgenommenen Ist-Zustand herzustellen und Reaktionen zur Erreichung des „Soll-Ziels“ aufzuzeigen⁶.

⁵ vgl. Hevner, 2008

⁶ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 3.1

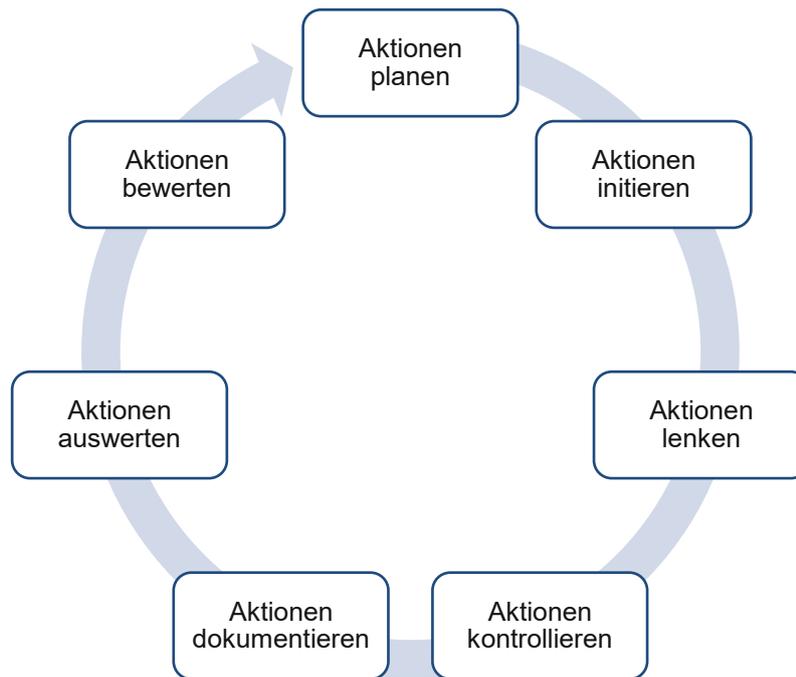


Abbildung 2-1 Wirkungskreislauf, realisiert und unterstützt durch MES⁷

Die Organisation und die Unterstützung aller erforderlichen Aktivitäten im Produktionsprozess ist die zentrale Aufgabe eines MES. Der Prozess des Einwirkens der definierten „Reaktionen zur Erreichung des Soll-Ziels“ ist nach dem Wirkungskreislauf (siehe Abbildung 2-1) definiert. Dabei sollen die Reaktionen „hier Aktionen genannt“ gezielt geplant, eingesetzt und deren Zielwirkung abschließend bewertet werden. Die im Produktionsprozess aufgenommenen Informationen sollen mit der Umgebung ausgetauscht werden um betriebsunterstützende Systeme und Fertigungsprozesse zu beeinflussen⁸.

⁷ VDI5600-1, 2016, Bild 1

⁸ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 3.2

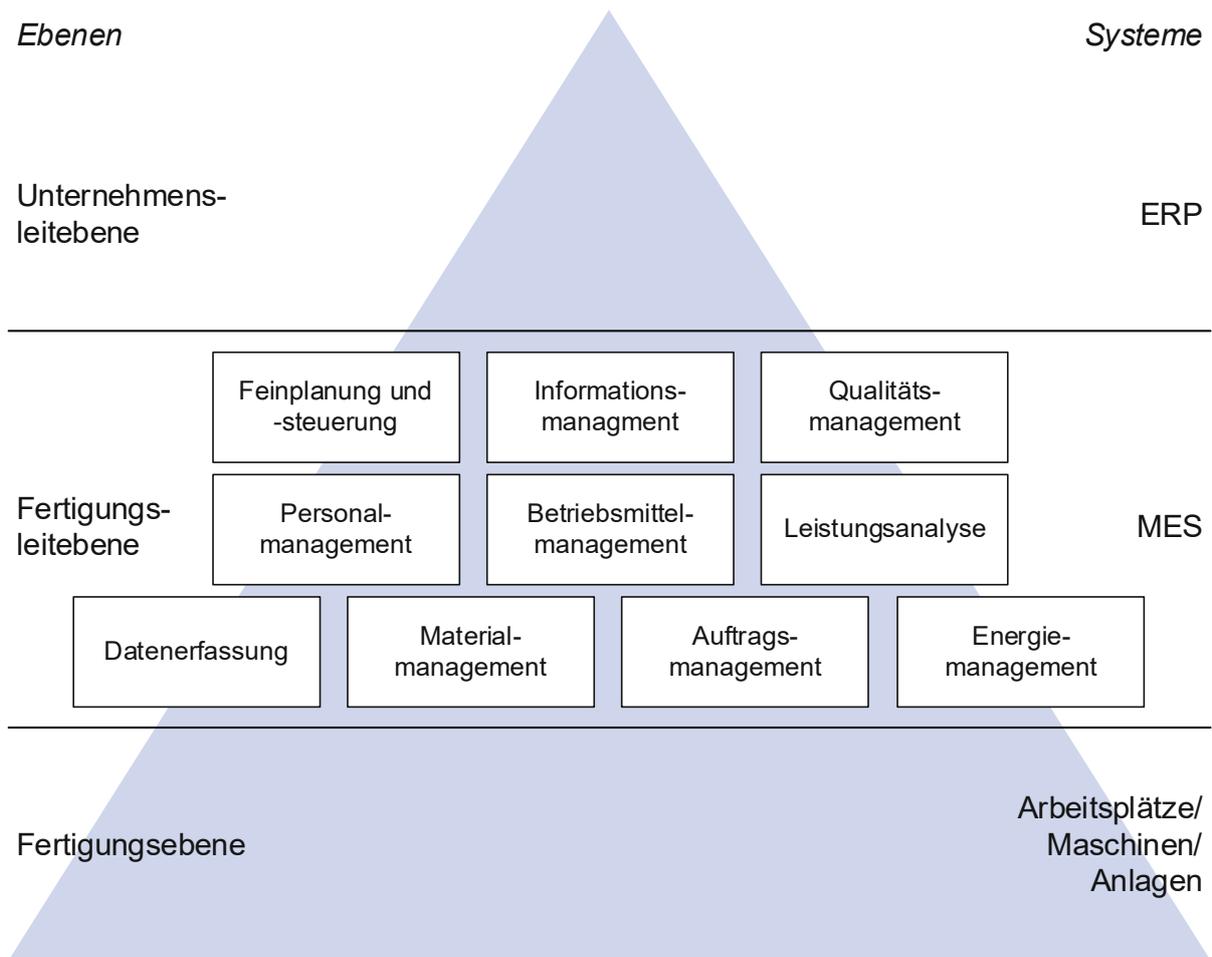


Abbildung 2-2 MES in den Leitebenen eines Unternehmens⁹

Ein Fertigungsmanagementsystem soll zehn grundsätzliche Aufgaben bewältigen, deren Zusammenspiel die umfassende Beeinflussung/Unterstützung des Produktionsprozesses erlaubt. Der Anwender entscheidet dabei, welche Aufgaben in der jeweiligen Anwendung von Interesse sind und berücksichtigt werden. Die Abbildung 2-2 zeigt einen Überblick über die Systemlandschaft in einem Unternehmen sowie die Einordnung der zehn Aufgaben eines MES darin. Das MES nimmt in der Fertigungsleitenebene eine unterstützende Rolle mit seinen zehn Aufgaben ein. Basierend auf der Fertigungsebene, die den Prozessablauf bewältigt, werden Informationen gesammelt, Prozesse gesteuert und die Abläufe geplant. Für die Unternehmensleitenebene werden Informationen vom MES bereitgestellt, die als Grundlage für unternehmensbeeinflussende Entscheidungen dienen.^{10,11}

⁹ VDI5600-1, 2016, Bild 2

¹⁰ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 3.2

¹¹ vgl. Kletti/Deisenroth, 2019, Abschnitt 1

Folgend sollen die zehn Aufgaben kurz vorgestellt werden:

1. Auftragsmanagement¹²

Sämtliche Informationen eines Auftrags sollen effizient verarbeitet bzw. verwaltet, mit weiteren notwendigen Informationen ergänzt und den dementsprechenden Stellen zur Verfügung gestellt werden. Ein Auftrag wird dabei automatisiert mit Arbeitsplänen, Materialvorrat, augenscheinlicher Fertigungssituationen, etc. ergänzt. Eine für diese Aufgabe wichtige Eingangsinformation ist der *Status* über den Fertigungsprozess (Störungen, Alarmer, Personal), den Auftrag (Änderungen, Stornierungen) und Rückmeldungen (Fertiggestellte Aufträge). Die Verarbeitung und Bereitstellung dieser Informationen in Echtzeit erlaubt das sofortige Einsteuern und Angleichen des Fertigungsablaufs. Diese Aufgabe stellt die Grundlage für die Feinplanung und Feinsteuerung (Aufgabe 2) und zum Teil weiterer Aufgaben eines MES dar.

2. Feinplanung und Feinsteuerung¹³

Die Abarbeitung des im *Auftragsmanagement* vorgegebenen Arbeitsvorrat soll geplant und nach den in Echtzeit auftretenden Informationen gesteuert werden. Durch ständig neu aufgenommene Informationen (z.B. Störungen im Fertigungsprozess, Mitarbeiterausfälle, etc.) muss die Fähigkeit gegeben sein, auf diese unerwarteten Ereignisse eingehen zu können. Laufende Modifikationen werden gemäß eines Regelkreises in den Produktionsablauf eingeflochten (vgl. Wirkungskreislauf Abbildung 2-1). Auftretende unerwartete Ereignisse oder nicht zu erreichende Auftragsziele werden gemäß VDI5600-1 als *Konflikte* bezeichnet. Unter Berücksichtigung vielzähliger Eingangsinformationen aus dem Auftrags- und Betriebsmittelmanagement sollen Konfliktlösungen *in Echtzeit* erarbeitet und eingesteuert werden.

3. Betriebsmittelmanagement¹⁴

Die Aufgabe des Betriebsmittelmanagements umfasst die Sicherstellung der termin- und bedarfsgerechten Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit der Betriebsmittel. Dabei wird in drei Betriebsmittelkategorien unterschieden: Maschinen bzw. Anlagen, Betriebshilfsmittel und reproduzierbare immaterielle Hilfsmittel wie Software. Dieser Teilaspekt eines MES stellt die Informationen der Maschinenverfügbarkeit für die Teilaufgabe der Feinplanung und Feinsteuerung zur Verfügung, welche hier in Echtzeit abrufbar sind. Außerdem sollen durch

¹² vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.1

¹³ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.2

¹⁴ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.3

mittelfristige Planung der Wartungsarbeiten Stillstände so weit wie möglich reduziert werden.

4. Materialmanagement¹⁵

Das Materialmanagement umfasst die Aufgaben einer termin- und bedarfsgerechten Versorgung der Fertigung mit Material und das Führen von Umlaufbeständen (genannt Work-in-Process WiP). Um die Aufgaben zu bewältigen, sind Eingangsinformationen über die Qualitätseigenschaften des Materials, des aus der Feinplanung und -steuerung erstellten Belegungsplans und des Materialstatus während des Fertigungsprozesses, notwendig. Nach Belegungsplan und Materialstatus werden Materialtransporte initiiert und Transportsysteme mit den erforderlichen Informationen versorgt. Außerdem wird die Bildung von Materialchargen realisiert, um Transporte sowie Ladungsträger reduzieren zu können. Mittels der Planung *in Echtzeit* kann der Materialfluss dementsprechend optimiert werden, dass Umlaufbestände verringert werden, Chargen verfolgt werden, der Materialfluss als Einflussgröße der Fertigungssteuerung bereitgestellt wird und Materialinformationen automatisiert weitergegeben werden.

5. Personalmanagement¹⁶

Um neben Material und Betriebsmittel auch die personelle Ressource termingerecht in der geeigneten Qualifikation bereitzustellen, ist in der VDI5600 die Aufgabe des Personalmanagements definiert. Die grundlegenden Ziele bestehen darin, mit historischen Personaldaten (Aufzeichnungen) Personalzeitkonten zu führen, mit Daten der Echtzeit (angemeldete Mitarbeiter) die Aufgaben nach Qualifikation bestmöglich zu verteilen und mit Personalprognosedaten künftige Ressourcenverteilungen und Kapazitäten zu planen.

6. Datenerfassung¹⁷

Dieser Teilaspekt eines MES hat zum Ziel, alle anderen Aufgaben mit Daten aus dem Produktionsprozess zu versorgen. Zu den erfassten Daten zählen unter anderem Betriebsdaten (BDE), Maschinendaten (MDE), Prozessdaten, Qualitätsdaten und Personaldaten (PZE). Die Erfassung kann automatisch, halb-automatisch (z.B. automatische Ergänzung von manuell gescannten Codes mit gespeicherten Daten) oder manuell (z.B. manuelle Eingabe per Tastatur) erfolgen. Die erfassten Daten werden automatisiert einer *Plausibilitätsprüfung* unterzogen.

¹⁵ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.4

¹⁶ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.5

¹⁷ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.6

Zur ganzheitlichen Kompatibilität muss ein Augenmerk auf die notwendigen Datenschnittstellen gelegt werden.

7. Leistungsanalyse¹⁸

Einerseits sollen mittels KPI (key performance indicators) die Leistung des Prozesses *in Echtzeit* erhoben und andererseits Regelkreise mit unterschiedlichen Zykluszeiten zur Beeinflussung und Optimierung des Prozesses realisiert werden. Funktional soll diese Aufgabe einen operativen Soll-Ist-Vergleich ermöglichen, die Auswertung langfristiger Prozessdaten und die Bewertung und Analyse des Prozesses abdecken.

8. Qualitätsmanagement¹⁹

In der Aufgabe Qualitätsmanagement sind Tätigkeiten zusammengefasst, welche die systematische Sicherung und Verbesserung der Produkt- und Prozessqualität zum Ziel haben. Typische Teilaufgaben sind die Qualitätsvorausplanung (im Sinne einer FMEA), die Qualitätsplanung (im Sinne einer Maschinenfähigkeitsprüfung), die Qualitätsprüfung (z.B. Wareneingangs- und Ausgangsprüfung), das Prüfmittelmanagement und das Reklamationsmanagement. Diese Teilaufgaben können unmittelbare Prozessbeeinflussungen bzw. langfristige Planungen zur Folge haben oder auch einen prognostischen Ausblick erlauben.

9. Informationsmanagement²⁰

Das Ziel dieser Aufgabe ist es, sämtliche prozessbezogene Informationen zu verwalten, aus dessen Auswertung neue Informationen zu generieren und diese den anderen MES-Aufgaben und dem Bediener zur Verfügung zu stellen. Auf diese Weise sollen mehr Transparenz und eine bessere gesamtheitliche Reaktionsfähigkeit des Fertigungsprozesses erzeugt werden.

10. Energiemanagement²¹

Das Energiemanagement bezieht sich in diesem Zusammenhang auf den *Energieverbrauch des Fertigungsprozesses und allen damit* zusammenhängenden Prozessen. Durch optimierte Planung und hergestellter Transparenz soll Verschwendung vermieden, der Gesamtenergieverbrauch gesenkt und dadurch Kosten minimiert werden.

¹⁸ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.7

¹⁹ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.8

²⁰ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.9

²¹ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 5.10

In den folgenden Kapiteln, der Erzeugung des *Artefakts* wird sich auf die für diese Arbeit interessante Aufgaben beschränkt. Es wird außerdem angeführt, welche der Aufgaben wie erfüllt werden.

2.1.2 Bedeutung für Unternehmensprozesse

Die Aufgaben eines MES (siehe Kapitel 2.1.1) beeinflussen bzw. unterstützen bestimmte Unternehmensprozesse bedeutsam. Hier soll auf die für diese Arbeit interessanten Unternehmensbereiche eingegangen und die möglichen Auswirkungen gezeigt werden (für weitere Punkte siehe VDI5600-1 Abschnitt 6):

1. Bedeutung für den Prozess „Arbeitsvorbereitung“²²

Die Aufgaben eines Fertigungsmanagementsystems unterstützen die Tätigkeiten der Arbeitsvorbereitung umfassend. Die verfügbaren Daten über die *Leistungsanalyse* kann grundlegende Rahmenbedingungen für die Kapazitätsplanung, das *Betriebsmittel-*, das *Material- und Personalmanagement* sowie Daten für die Planung der Durchlaufzeiten etc. liefern.

2. Bedeutung für den Prozess „Produktion“²³

Sämtliche Aufgaben des MES haben direkten oder indirekten Einfluss auf die Produktion. So wird die Fertigungssteuerung von Aufträgen und die Belegungsplanung unterstützt. Durch die verfügbare Transparenz des Prozesses und die Bereitstellung der Prozessdaten *in Echtzeit* können unmittelbare Anpassungen durchgeführt werden. Verfügbare Daten zum Status von Aufträgen und Abarbeitungsstatus lassen eine Abweichung zum Soll-Plan erkennen und aufzeigen. Durch ein zentrales Auftragsmanagement werden Arbeitspläne etc. an jedem Arbeitsplatz abgerufen und angezeigt. Mittels des Qualitätsmanagements werden die Qualitätssicherung des Prozesses und der damit gefertigten Produkte sichergestellt.

3. Bedeutung für den Prozess „Transport“²⁴

Der Prozess Transport soll in diesem Zusammenhang die Planung, Steuerung und Verwaltung der Transporte von Materialien und Hilfsmitteln zwischen Lagerorten und Arbeitsplätzen umfassen. MES unterstützt diese Tätigkeiten durch die Feinplanung und Steuerung (Transportprozesse können im Rahmen der Feinplanung berücksichtigt werden), des Betriebsmittelmanagements (Transporte der Betriebsmittelbereitstellung), des Materialmanagements (liefert die notwendigen Quell- und Zielinformationen) und der Datenerfassung bzw.

²² vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.1

²³ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.2

²⁴ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.3

Leistungsanalyse (Rückmelden von disponierten Aufträgen, Leistungsanalyse des Transports).

4. Bedeutung für den Prozess „Materialwirtschaft“²⁵

Durch die „Feinplanung und Feinsteuerung“ mittels MES werden *Fehlteile* sowie Alternativen frühzeitig aufgezeigt. Die Reduktion von *Sicherheitsbeständen* ist durch stabile und transparente Prozesse im Zuge des MES machbar. Durch die Verknüpfung von Stücklisten, Bestandsinformationen und Aufträgen kann eine *zeitgenaue Disposition*, Bereitstellung von Material sowie *verursachergerechte Bestandsbuchung* in Echtzeit ermöglicht werden. Durch das verursacherorientierte Zuordnen von Material zu Produktionsaufträgen kann eine Transparenz des Bedarfs erzielt werden.

5. Bedeutung für die Prozesse „Qualitätssicherung“, „Personalwirtschaft“, Rückverfolgung“ und „Instandhaltung“²⁶

Die in „Echtzeit“ (siehe Kapitel 2.1.3) verfügbar gemachten Daten bei dem Einsetzen eines Fertigungsmanagementsystems unterstützen die Prozesse umfassend. Da die Prozesse im Zuge dieser Arbeit eine untergeordnete Bedeutung besitzen, werden diese hier nicht weiter ausformuliert.

6. Bedeutung für den Prozess „Kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP)“²⁷

Die beobachtbaren Prozesse können mit den Möglichkeiten eines *MES* kontinuierlich gemessen und die Performance in Zahlen (*KPI's*) beurteilt werden, um eine Grundlage für Verbesserungen sowie eine Überprüfung der Wirksamkeit der im Zuge des Verbesserungsprozesses gesetzten Maßnahmen zu realisieren.

7. Bedeutung für den Prozess „Controlling“²⁸

Die oben ausformulierte Datengrundlage für den Verbesserungsprozess „in Zahlen“ kann als ein Aspekt des Controllings angesehen werden. So kann die Prozessperformance *in Echtzeit* an einem Dashboard aufgezeigt werden und in der Vergangenheit aufgetretene Geschehnisse beurteilt werden. In gleicher Weise kann eine simultan laufende interne Kostenrechnung durch Rückmelden eines Materialverbrauchs bewerkstelligt werden.

²⁵ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.4

²⁶ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.5 bis 6.8

²⁷ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.9

²⁸ vgl. VDI5600-1, 2016, Abschnitt 6.10

2.1.3 Aspekte des Begriffs „in Echtzeit“ bzw. „echtzeitfähig“

Werden Fertigungsmanagementsysteme behandelt, kommt man im Zuge dessen mit dem Begriff „in Echtzeit“ in Berührung. Dabei gibt es je nach Anwendung Unterschiede in der praktischen Bedeutung. „In Echtzeit“ bedeutet in diesem Zusammenhang die Abbildung eines aufgezeichneten Status im Zuge der Betriebsdatenerfassung und dessen weitere Verarbeitung in hinreichend kleinem zeitlichem Abstand zur Realität. Nicht jede Messgröße muss *ad hoc* angezeigt werden. Es kann für die Anwendung ausreichend sein, diese in einem gewissen Rahmen aus der Vergangenheit anzuzeigen. Wie groß dieser Abstand sein darf, entscheidet die jeweilige praktische Anwendung und deren verlangte Datenbasis. Wird das zeitliche Delta begründet festgesetzt, kann diese Messung oder Anwendung als „echtzeitfähig“ für diesen Prozess betrachtet werden.²⁹

2.2 Aspekte der Verschwendungen in Fertigungsprozessen^{30 31}

Um Verschwendungen im Fertigungsprozess im Zuge der Prozessanalyse aufzudecken, sollen hier die fünf Lean Prinzipien nach Womack und Jones kurz erläutert und in Bezug auf Fertigungsprozesse eingeführt werden.

1. Wert

Der Wert einer jeden Teilaufgabe definiert sich aus der Sicht des Endkunden. Es sollen also nur jene Aktivitäten ausgeführt werden, die für den Endkunden einen Nutzen erzeugen und damit für das zu verkaufende Produkt eine Wertsteigerung liefern. Im Fertigungsprozess sollen nicht wertschöpfende Tätigkeiten identifiziert und im Zuge eines Soll-Systems eliminiert werden.

2. Wertstrom

Jeder Arbeitsschritt soll identifiziert und Schritte mit Verschwendung eliminiert werden. Dafür muss jeder Schritt aufgenommen und im Sinne einer Wertstromanalyse aufgezeichnet und beurteilt werden. Die Aneinanderreihung der Prozessschritte, die Transport- und die Lagerstufen zwischen den Schritten müssen Beachtung finden.

3. Fluss

Aus den wertschöpfenden Tätigkeiten soll ein unterbrechungsfreier Wertstromfluss erzeugt werden. Damit ist gemeint, das zu produzierende Gut in

²⁹ vgl. Kamhuber/Sobottka/Heinzl/Henjes/Sihn, 2020

³⁰ vgl. Womack/Jones, 2003

³¹ vgl. Sihn/Sunk/Nemeth/Kuhlgang/Matyas, 2016, Abschnitt 6

kontinuierlicher Bearbeitung oder Bewegung zwischen Produktionsschritten zu halten. Es sollen keine langen unnötigen Standzeiten zwischen den Schritten stattfinden und kein unnötig großer Bestand in den Puffern angehäuft werden.

4. Pull

Die Nachfrage des Kunden soll den Bearbeitungstakt bestimmen. Erst die Nachfrage soll also nach Supermarkt-Prinzip die vorliegenden Produktionsschritte anstoßen. Ein vorgelagerter Prozess soll nur so viel produzieren, wie der nachfolgende Prozess benötigt. Dieser Punkt soll ebenfalls zu einer Bestandsminimierung und Vermeidung von Kapitalbindung in der Produktion führen.

5. Perfektion

Durch kontinuierliche Verbesserung des Prozesses soll nach Perfektion gestrebt werden. Es soll also in kontinuierlichen Verbesserungskreisläufen die Kundenorientierung und die mögliche Erfüllung der fünf Lean-Prinzipien zum Ziel gesetzt werden.

2.3 Modell des Prozessmanagements anhand Business Process Management BPM³²

Da zur Untersuchung des Artefakts ein neuer Prozess eingeführt werden muss, sollen Modelle zur nachhaltigen Prozessimplementierung und Verbesserung recherchiert werden. „Business Process Management“ beinhaltet alle Aktivitäten, die von Unternehmen mit dem Ziel ausgeführt werden, ihre Prozesse zu optimieren und anzupassen. Um dies in einem veränderlichen Umfeld zu erreichen, ist der BPM-Prozess selbst ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess.“³³

BPM ist eine Management-Philosophie, die zum Ziel hat, die Leistung des Unternehmens durch das kontinuierliche Verbessern dessen Prozessen zu steigern. Alle Tätigkeiten zur kontinuierlichen Verbesserung eines Unternehmensprozesses werden in weiterer Folge zum „Business Process Management“ gezählt. Die zugehörigen Tätigkeiten können nach der Logik eines kontinuierlichen Verbesserungskreislauf organisiert werden (siehe Abbildung 2-3). Nach diesem Kreislauf werden die zu untersuchenden Prozesse **evaluiert, geplant, implementiert** und in der Praxis **betrieben**. Der letzte Schritt dieses Zyklus stellt wiederum die Basis für den Anfang, also der *Prozessevaluation*, für den kontinuierlichen Verbesserungskreislauf dar.

³² vgl. Schlund, 2020, Abschnitt 3

³³ Scheer/Jost, 2006

Aus jedem Teilschritt werden Informationen gewonnen, die als Planungsgrundlage für den jeweilig nächsten Schritt dienen. So werden bei der Ausführung eines Prozesses (**Prozessbetrieb**) Daten über den Prozessablauf (*Prozessdaten*) gewonnen. Diese *Prozessdaten* sind die Basis für die **Prozessevaluation**. Im Zuge dieser soll der Prozess analysiert und mit der Soll-Zielsetzung verglichen werden. Dieses Assessment liefert die Planungsgrundlage, die *Prozessinformationen*, für den folgenden Schritt. Das **Prozessdesign** soll den Prozess anhand der generierten Informationen dementsprechend modellieren, sodass der Prozess zielgerichtete Ergebnisse bringt. Daraus resultieren *Prozessbeschreibungen, Modelle und Rollenzuteilungen*, welche den recherchierten „Soll-Prozess“ definieren. Dieser Prozess soll in der angeschlossenen Tätigkeit der **Prozessimplementierung** realisiert werden. In der Umsetzung festgelegte *Werkzeuge und Organisationsregeln* legen die Art und Weise der Ausführung bzw. den **Prozessbetrieb** fest. Ein zusätzlicher Verbesserungskreislauf liegt zwischen dem Betrieb und der Evaluation des Prozesses. In diesem soll gesammeltes Feedback des Assessments iterativ in den Ablauf eingeflochten werden.

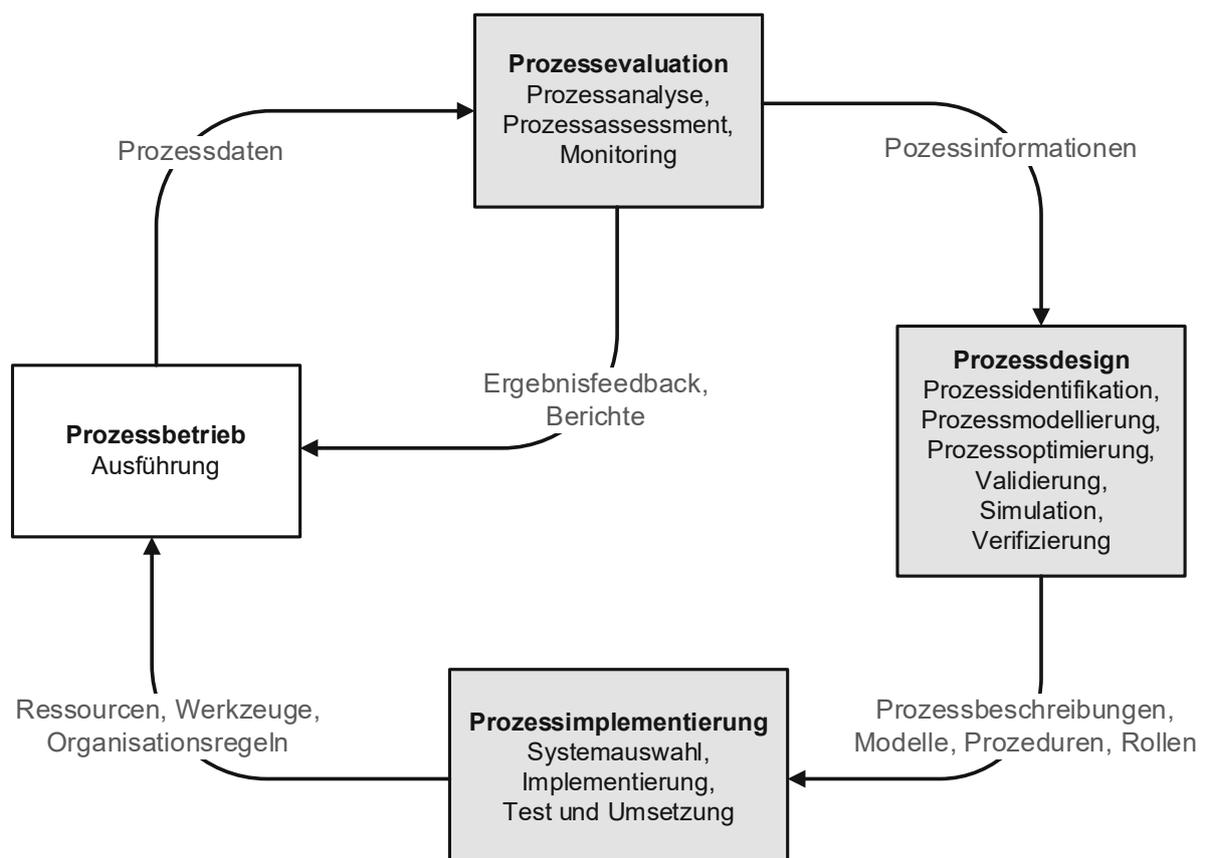


Abbildung 2-3 BPM als kontinuierlicher Verbesserungskreislauf³⁴

Der in dieser Arbeit untersuchte Prozess soll nach den Vorgaben des Managementinstruments bzw. der Managementphilosophie BPM untersucht, geplant

³⁴ Schlund, 2020, Abschnitt1/Folie29

und eingeführt werden. Ein Augenmerk wird dabei auf die Gewinnung und Validierung der in jedem Schritt notwendigen Informationen gelegt.

2.4 Methoden und Werkzeuge zur qualitativen Prozessanalyse

Um die Zusammenhänge zwischen den Schritten, den Informations- und den Materialfluss des untersuchten Prozesses darzustellen, müssen Methoden und Werkzeuge zur Visualisierung und Analyse recherchiert und nach Anwendung gewählt werden.

2.4.1 Überblick über die Methodenvielfalt

Zur qualitativen Prozessanalyse stehen zahlreiche Methoden zur Verfügung, die zum Ziel haben, den Prozess und damit verbundene Ressourcen und Aktivitäten zu untersuchen. Es soll die Möglichkeit gegeben werden, ein Prozessverständnis aufzubauen und das subjektive (zwischenmenschliche) Wissen bzw. Perspektiven über den Prozess zu dokumentieren. Beispielhafte Methoden sind Experteninterviews (Befragungen), Gruppenworkshops, Analyse von Prozessbeschreibungen wie erstellter Prozess-Steckbriefen und Prozessvisualisierungen wie Value-Chain-Mapping-Notation (VCN) und Business-Process-Modell-(and)Notation (BPMN). Die verschiedenen Darstellungen unterscheiden sich in deren Detailgrad und der daraus resultierenden Möglichkeit, verschiedene Ebenen des Prozesses und der Prozessumgebung zu beleuchten.

Folgend sollen die Methoden, die in der Arbeit Anwendung finden, genauer ausformuliert werden.

2.4.2 Business Process Model and Notation BPMN³⁵

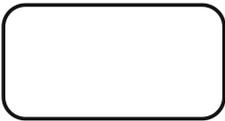
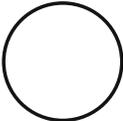
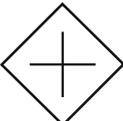
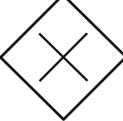
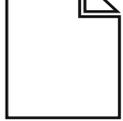
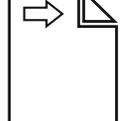
Business Process Model and Notation ist eine genormte Form Prozessabläufe darzustellen. Dabei wird der Prozess in Flusslogik (Ablauflogik) mit den jeweiligen *Aktivitäten* sowie Entscheidungsstellen (*Gateways*) dargestellt. Der Beginn des Prozesses ist die Folge eines *Startereignisses* und das Ende triggert ein *Endereignis*, welches wiederum weitere Prozesse anstoßen kann. Verbunden werden die *Aktivitäten*, *Ereignisse* und *Gateways* mittels eines *Sequenzflusses*, eine mit Richtungsangabe versehene Verbindung, die den Prozessablauf zeigt. Neben den *Aktivitäten* und *Ereignissen* werden auch *Objekte* visualisiert, die als Output einer Aktivität resultieren bzw. als Input einer Aktivität dienen. Der Inhalt dieser Objekte sind Daten (Informationen) bzw. Material. In der Konvention BPMN ist darauf aufbauend die Visualisierung des Informationsflusses festgelegt. Äquivalent kann der

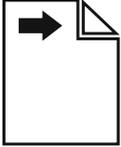
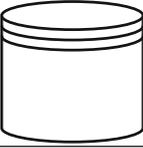
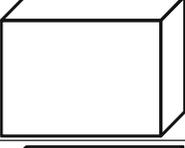
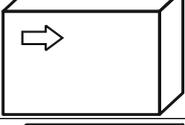
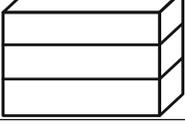
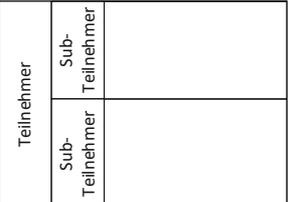
³⁵ vgl. Chinosi/Trombetta, 2011, Abschnitt 3.2

Materialfluss visualisiert werden. Dieser wird in der Konvention allerdings nicht mehr dezidiert ausformuliert.

Ein Prozess wird einer sogenannten *Bahn* zugeordnet. Innerhalb dieser wird der Ablauf des „Sub-prozesses“ mit den genannten Vorgaben visualisiert. Mehrere Bahnen (also Subprozesse) werden einem *Pool* zugeordnet. Dieser *Pool* soll eine Übersicht über das Zusammenwirken der Subprozesse zueinander visualisieren. Ein *Pool* sowie eine *Bahn* sind als sog. *Teilnehmer* definiert. Ein *Teilnehmer* kann ein Unternehmen, eine Maschine, ein technisches System oder eine Person sein. Dieser Teilnehmer ist zuständig für die Prozessausführung bzw. dessen Überwachung und Kontrolle.

Folgend soll zur Beschreibung der in dieser Arbeit erzeugten Abläufe noch die Semantik der BPMN aufgelistet werden (siehe Tabelle 2-1).

Symbol	Bedeutung
	Aktivität Wird genutzt, um einen Hauptprozess, eine Aktivität, Operation oder eine Aufgabe einer Organisation zu beschreiben.
	Startereignis Ein im Ablauf des Unternehmensprozesses getriggertes Ereignis, welches zur Folge diesen (Teil-)Prozess startet (Auswirkung)
	Endereignis Ein im visualisierten (Teil-)Prozess getriggertes Ereignis, welches diesen Prozess beendet und u.U. weitere Prozesse anstößt. (startet)
	Paralleles Gateway Wird verwendet, um im Sequenzfluss parallel ablaufende Aktivitäten zu modellieren.
	Exklusives OR Gateway Wird verwendet, um im Sequenzfluss eine Abfrage zu modellieren. (nach Bedingung „A oder B“)
	Inklusives OR Gateway Wird verwendet, um im Sequenzfluss eine Abfrage zu modellieren. (nach Bedingung „A oder B oder A&B“)
	Datenobjekt Stellt ein im Aktivitätenfluss anfallendes Informationsobjekt dar, mit welchem der Informationsfluss im Prozess beschreiben wird.
	Dateninput Visualisiert den Dateninput (Informationsinput) für eine Aktivität.

	Datenoutput Visualisiert den Datenoutput (Informationsoutput) als (Teil-) Resultat einer Aktivität.
	Datenspeicher Visualisiert die Speichermöglichkeit für Datenobjekte auch über die Prozesslaufzeit hinaus.
	Materialobjekt Stellt ein im Aktivitätenfluss anfallendes Materialobjekt dar, mit welchem der Materialfluss im Prozess beschreiben werden kann.
	Materialinput Visualisiert den Materialinput für eine Aktivität.
	Materialoutput Visualisiert den Materialoutput als (Teil-)Resultat einer Aktivität.
	Materialspeicher Visualisiert die Speichermöglichkeit für Materialobjekte auch über die Prozesslaufzeit hinaus.
	Nachricht Visualisiert im Prozess anfallende Information, die für Teilnehmer in der Umgebung des Prozesses einen Nachrichtencharakter besitzt und Ereignisse triggern kann.
	Pool Lässt den Teilnehmer im interorganisationalen Prozess visualisieren (z.B. Unternehmen X). Innerhalb des Pools wird das Zusammenwirken der Subprozesse visualisiert.
	Bahn Lässt den Subteilnehmer eines interorganisationalen Prozesses visualisieren. (z.B. ein Subprozess im Unternehmensablauf). Eine Bahn wird einem Pool zugeordnet. Innerhalb der Bahn wird der Subprozess visualisiert.
	Sequenzfluss (Aktivitätenfolge) Zeigt die logische bzw. zeitliche Abfolge der Aktivitäten im Prozessfluss.
	Interner Datenfluss Zeigt die Input-/Output Beziehung zwischen Aktivitäten und Datenobjekten innerhalb des (Teil-)Prozess.
	Externer Datenfluss Zeigt die Input-/Output Beziehung zwischen Aktivitäten und Datenobjekten zwischen unterschiedlichen (Teil-)Prozessen.

	<p>Interner Materialfluss Zeigt die Input-/Output Beziehung zwischen Aktivitäten und Materialobjekten innerhalb des (Teil-)Prozess.</p>
	<p>Externer Materialfluss Zeigt die Input-/Output Beziehung zwischen Aktivitäten und Materialobjekten zwischen unterschiedlichen (Teil-)Prozessen.</p>

Tabelle 2-1 Semantik der BPMN³⁶

2.4.3 Befragungen von Domänenexperten³⁷

Bei dieser Methode werden gezielte Befragungen von im Prozess beteiligten Personen möglichst vielzähliger Abteilungen durchgeführt. Je nach Umfang des Prozesses sollen verschieden viele Personen befragt werden. Werden mehrere Personen befragt, orientieren sich die Interviews an einem Leitfaden, der im Vorhinein ausgearbeitet werden muss. Der iterative Prozess der Identifizierung von Befragten, Durchführung des Interviews und das Auswerten der Interviews wird so lange wiederholt, bis genügend Informationen vorliegen. Beim Interview muss darauf geachtet werden, dass offene Fragen gestellt werden und vom Interviewpartner auch intuitiv Informationen vermittelt werden.

2.5 Methoden und Werkzeuge zur quantitativen Prozessanalyse

2.5.1 Überblick über die Methodenvielfalt

Bei der quantitativen Prozessanalyse soll der Prozess in verschiedenen definierten Dimensionen konkret gemessen/ beurteilt werden. Dadurch soll eine Grundlage zur Beurteilung der Prozesseffektivität und Prozesseffizienz geschaffen werden. Beispiele für Dimensionen, welche beurteilt werden können, sind Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität. Die Indikatoren zur Beurteilung der Dimensionen sind beispielsweise Kennzahlen (*Key-Performance-Indicators KPI's*), welche im Geschäftsprozess aufgenommen werden. Das Messen dieser Kennzahlen kann automatisiert oder teilautomatisiert auch im Zuge der Nutzung eines Fertigungsmanagementsystems realisiert werden³⁸

³⁶ vgl. Chinosi/Trombetta, 2011, Fig.4

³⁷ vgl. Schlund, 2020, Abschnitt 5-4

³⁸ vgl. Schlund, 2020, Abschnitt 6-5

2.5.2 Ausgewählte Prozesskennzahlen

Zur quantitativen Prozessanalyse werden bestimmte Kennzahlen eingesetzt, um den Zustand bzw. die Effektivität des Prozesses objektiv zu beurteilen sowie eine Vergleichbarkeit herzustellen. Zur Beurteilung des Fertigungsprozesses sollen Produktionskennzahlen verwendet werden, wie die **Durchlaufzeit (DLZ)** und die **Overall Equipment Effectiveness (OEE)**. Da ein großes Augenmerk auf die Materialbereitstellung gelegt wird, werden außerdem einige Kennzahlen der Beschaffung herangezogen, wie die **Lieferzuverlässigkeit (LZ)** und die **Quote der Eilbestellungen (QEB)**. Folgend wird die Berechnung dieser beschrieben:

Definition 2.1: Durchlaufzeit DLZ:³⁹

Die Durchlaufzeit ist die Dauer vom Beginn des Prozesses (Prozessschritt) bis zum Ende des Prozesses (Prozessschritt) s. I. die Zeitspanne, die für die Bearbeitung eines Objektes von der Auftragsannahme bis zur Fertigstellung notwendig ist. Allgemein setzt sich diese aus der Rüstzeit, Bearbeitungszeit und Liegezeit zusammen.

$$DLZ = t_{Auslieferung} - t_{Auftragsannahme}$$

Zur Ermittlung der *DLZ* werden also die Zeitpunkte zu Auftragsannahme und Auslieferung aufgezeichnet werden.

Definition 2.2: Overall Equipment Effectiveness OEE, Nutzungsgrad NG, Leistungsgrad LG und Qualitätsgrad QG:⁴⁰

Die OEE bewertet die tatsächliche Leistung eines Prozesses/ einer Maschine. Diese setzt sich aus dem Produkt des Nutzungsgrad (Anlagenverfügbarkeit), dem Leistungsgrad (Anlagenleistung) und dem Qualitätsgrad zusammen. Die *OEE* ist ein Grad für die Nutzung der verfügbaren Produktionskapazität im Verhältnis zur tatsächlich wertschöpfenden Tätigkeit. Da beim Nutzungsgrad in einen Brutto- und Netto-Nutzungsgrad unterschieden wird, existiert äquivalent ein Brutto- und Netto-OEE.

$$OEE_{Brutto} = NG_{Brutto} \cdot LG \cdot QG$$

$$OEE_{Netto} = NG_{Netto} \cdot LG \cdot QG$$

Zur Berechnung der *OEE* müssen im Produktionsprozess bestimmte Zeiten (A bis F) ermittelt werden (siehe Abbildung 2-4). Startend bei der für diesen Prozess *physikalisch möglichen Zeit (A)* (z.B. für eine Woche 7d bzw. 168h) werden die Ruhezeiten abgezogen (**Betriebsruhe**), um die *Arbeitszeit (B)* zu erhalten. Von dieser werden die sog. **geplanten Stillstände** abgezogen, um die *verfügbare*

³⁹ vgl. Hennig, 2008, Abschnitt 4-2

⁴⁰ vgl. Matyas 2021, Seite 119

Betriebsmittelzeit (C) zu erhalten. Die während der Produktion auftretenden **ungeplanten Stillstände** reduzieren die verfügbare Betriebsmittelzeit zur *Netto-Betriebsmittelzeit (D)*. Weitere Ineffizienz wird zu den **Geschwindigkeitsverlusten** gezählt, welche die *Nutzbare Betriebsmittelzeit (E)* herleitet. Produzierter Ausschuss wird zu den **Qualitätsverlusten** gezählt. Dieser ergibt schlussendlich die *wertschöpfende Betriebsmittelzeit (F)*.

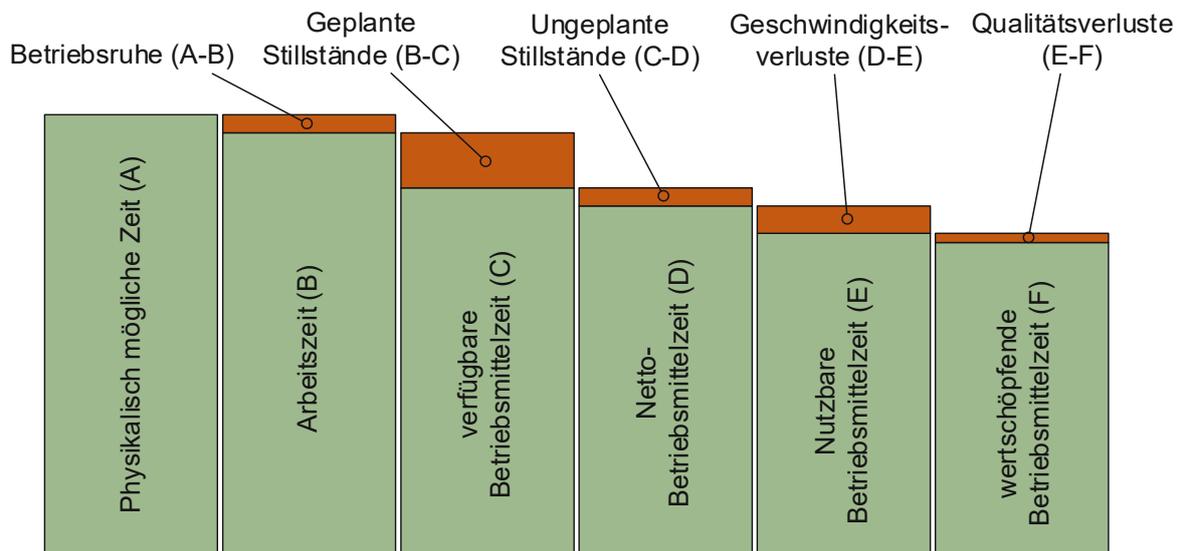


Abbildung 2-4 Produktionszeiten OEE⁴¹

Verlustzeit	Beispiele
Betriebsruhe (A-B)	Zeiten, an denen die Produktion planmäßig geschlossen ist (z.B. Wochenenden, Feiertage; außerhalb der geplanten Regelschicht).
geplante Stillstände (B-C)	geplante Instandhaltungstätigkeiten, Pausen, Gruppenbesprechungen, Schulungen, etc.
ungeplante Stillstände (C-D)	Betriebsmittelausfälle, kein Material, kein Personal, kein Auftrag, ungeplantes Umrüsten, etc.
Geschwindigkeitsverluste (D-E)	verringerte Taktgeschwindigkeit, Anfahrverluste, Blockierung von Werkstücken, Leerlauf und Kurzzeitstillstände, etc.
Qualitätsverluste (E-F)	Zeit, in der Ausschuss produziert wurde, notwendige Nacharbeiten, Einstellteile.

Tabelle 2-2 Beschreibung der Verlustzeiten

Der **Nutzungsgrad (NG)** ist ein Maß für die Anlagenverfügbarkeit. Es wird wie beschrieben in einen Brutto- und Netto-Nutzungsgrad unterschieden. Der Brutto-

⁴¹ vgl. Matyas, 2020, Seite 117

Nutzungsgrad berücksichtigt geplante und ungeplante Stillstände, der Netto-Nutzungsgrad nur Ungeplante.

$$NG_{Brutto} = \frac{\text{netto Betriebsmittelzeit (D)}}{\text{Arbeitszeit (B)}}$$

$$NG_{Netto} = \frac{\text{netto Betriebsmittelzeit (D)}}{\text{verfuegbare Betriebsmittelzeit (C)}}$$

Der **Leistungsgrad LG** ist ein Maß für die Leistung des Prozesses/der Anlage. Es wird die Auswirkung der Geschwindigkeitsverluste aufgezeigt.

$$LG = \frac{\text{nubare Betriebsmittelzeit (E)}}{\text{netto Betriebsmittelzeit (D)}}$$

Der **Qualitätsgrad QG** ist ein Maß für die Fähigkeit wertschöpfende Produkte herzustellen. Es wird die Auswirkung der Qualitätsverluste aufgezeigt.

$$QG = \frac{\text{wertschöpfende Betriebsmittelzeit (F)}}{\text{nubare Betriebsmittelzeit (E)}}$$

Zur Ermittlung der angeführten Kennzahlen müssen als die Zeiten, wie in Tabelle 2-2 bzw. Abbildung 2-4 angeführt, in hinreichender Genauigkeit gemessen und aufgezeichnet werden.

Definition 2.3: Lieferzuverlässigkeit LZ:⁴²

Die Lieferzuverlässigkeit setzt sämtliche durchgeführte Materialanlieferungen mit den fehlerhaft durchgeführten Anlieferungen ins Verhältnis. Ist ein Maß für die Zuverlässigkeit des Materialbeschaffungsprozess aus Sicht der Produktion

$$LZ = \frac{\text{Anzahl fehlerhafter Lieferungen}}{\text{Anzahl Lieferungen}}$$

Für die Messbarkeit dieser Kennzahl muss die Anzahl der fehlerhaften Lieferungen gezählt werden.

⁴² vgl. Bichler, 2007, Abschnitt 3-2

Definition 2.4: Mean time between failures MTBF:⁴³

Die MTBF ist die mittlere Prozesszeit zwischen dem Auftreten zweier Störungsfälle (MTBF ist ein statistischer Durchschnittswert für die ununterbrochene störungsfreie Prozessdauer) und damit ein Maß für die Prozessfähigkeit bzw. Zuverlässigkeit, welche sich im Zuge der Arbeit auf Prozessstörungen bezieht.

$$MTBF = \frac{\text{Summe Betriebszeit ohne Ausfälle}}{\text{Anzahl der Anlagenausfälle}}$$

Definition 2.5: Quote Eilbestellungen QEB:⁴⁴

Gibt den Anteil der Eilbestellungen (Priorisierungen) im Verhältnis zu sämtlich durchgeführten Bestellungen an. Wird im Zusammenhang dieser Arbeit ein Maß für das Nachbessern des Beschaffungsprozess sein.

$$QEB = \frac{\text{Anzahl Eilbestellungen}}{\text{Gesamtanzahl Bestellungen}}$$

⁴³ vgl. Bauer, 2009, Abschnitt 2-5

⁴⁴ vgl. Bichler, 2007, Abschnitt 2-7

3 Ist-Analyse des operativen Fertigungsmanagements

Zur Analyse des Environments soll die Ist-Situation des derzeitigen Fertigungsprozesses der Montage qualitativ und quantitativ, wie im Kapitel 2 einführend beschrieben, aufgenommen werden. Es soll der Montageprozess selbst mit umgebenden Subprozessen betrachtet werden.

Weiterführend sollen im Zuge einer Gap-Analyse Differenzen zu den Vorgaben eines Fertigungsmanagementsystems aufgezeigt werden. In Experteninterviews aufgezeichnete und vom Prozess resultierende Schwierigkeiten werden in einer Ishikawa-Darstellung in Fehlerfolgen und Fehlerursachen analysiert.

3.1 Überblick über den Montage- und zugehörigen Materialisierungsprozess

Im Zuge dieser Arbeit wird der Prozess der Montage von Wagenkästen untersucht. Zu diesem Prozess zählen alle Tätigkeiten, um ausgehend vom Grundgerüst des Stahlbaus (fertig lackierte Wagenkästen) einen fertigen Wagen herzustellen. Beispiele für Tätigkeiten hierfür sind: Klebetätigkeiten, das Setzen von Kabelkanälen, Montage von Modulen (Einbau der Fahrgastsitze, der Türen, des Fahrerstands, etc.) sowie das Aufsetzen des Wagenkastens an die Drehgestelle. Nachgelagerte Tätigkeiten des Prozesses sind das Zusammensetzen der Wagone zu einer Zugeinheit und die interne sowie externe Abnahme (Übersicht siehe Abbildung 3-1, in Rot die in dieser Arbeit betrachteten Teilprozesse).

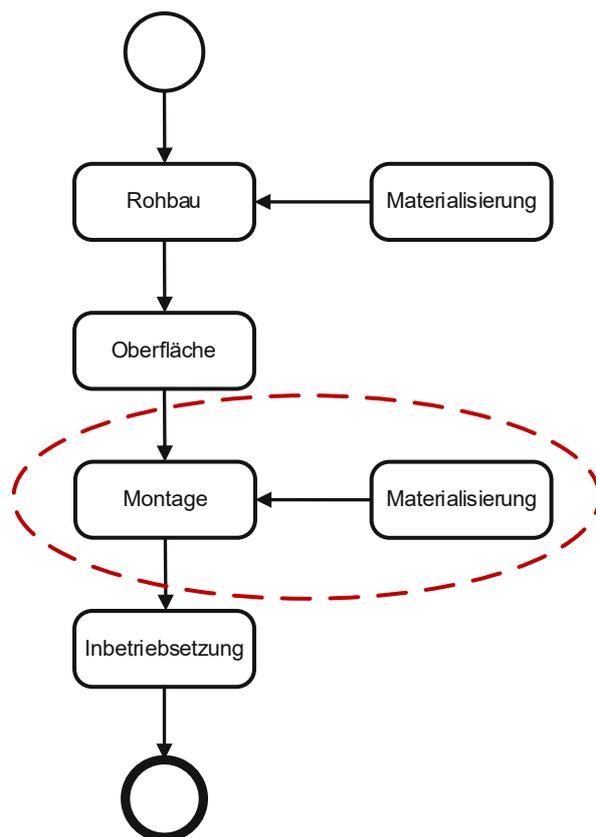


Abbildung 3-1 Überblick über den Fertigungsprozess eines Wagenkastens

3.1.1 Physischer Aufbau der Montagelinie

Im Betrieb der Siemens Mobility existieren mehrere parallel ablaufende Montageprozesse. Die Teilung existiert aufgrund des unterschiedlichen Charakters der gefertigten Wagentypen. Dabei ergeben sich aufgrund einerseits des beschränkten Platzes in der Montagehalle und andererseits aufgrund der je nach Wagentyp zum Teil unterschiedlichen durchzuführenden Tätigkeiten verschiedene physische Produktions- und Arbeitsplatzgestaltungen. Das Fertigungsprinzip ist an jeder Montagelinie eine Fließfertigung mit feststehenden Arbeitsplätzen⁴⁵.

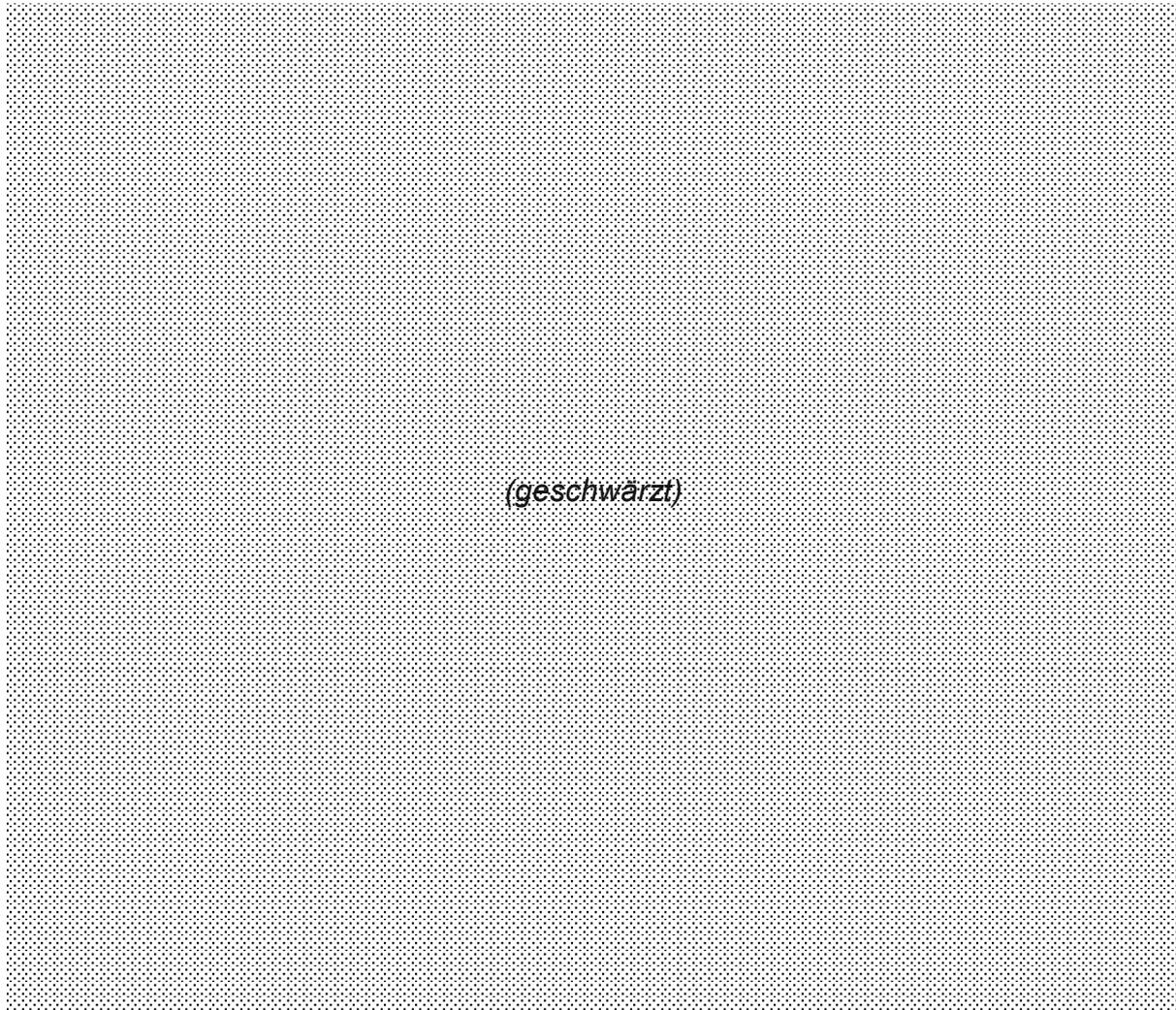


Abbildung 3-2 Werkslayout der Montagehalle

In dieser Arbeit wird sich exemplarisch auf die Fertigungslinie der U-Bahn Fertigung beschränkt (siehe Abbildung 3-2 roter Rahmen). Diese Linie besteht aus 10 feststehenden Arbeitsplätzen (im Zuge dieser Arbeit auch Stellplätze oder Montageabschnitte genannt) zu welchen das zu bearbeitende Gut (Wagenkästen) in Linienfluss bereitgestellt wird (siehe Abbildung 3-3). Es kann also an zehn Wagenkästen parallel gearbeitet werden. Das Fertigungsprinzip der Montage ist eine

⁴⁵ vgl. Sihn/Sunk/Nemeth/Kuhlgang/Matyas, 2016, Abschnitt 2.3.2.2

taktmäßige Fließfertigung, an denen der langsamste Abschnitt die Taktgeschwindigkeit vorgibt⁴⁶. Sind die Tätigkeiten an allen Teilabschnitten abgeschlossen, werden die Wagenkästen zum jeweils nächsten Stellplatz versetzt.

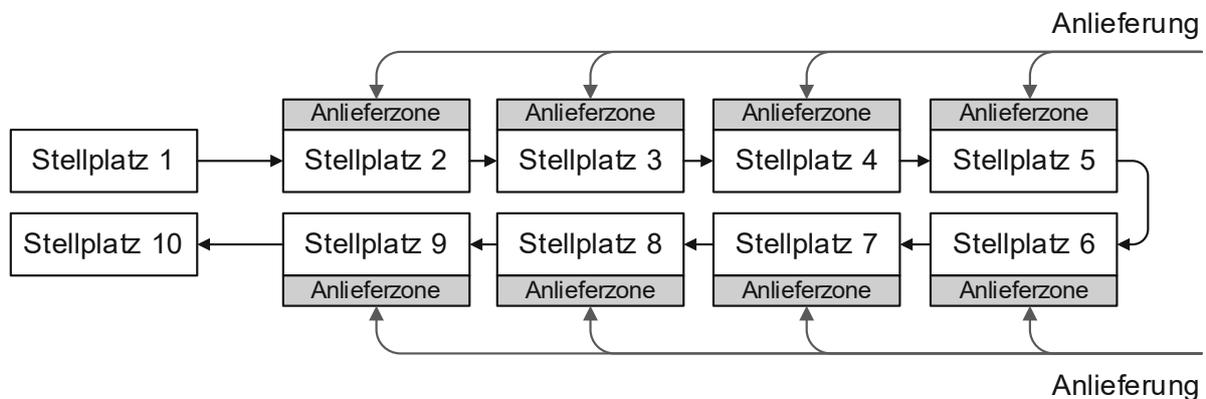


Abbildung 3-3 Physisches Schema des Montageprozesses

Stellplatz 2 bis 9 haben jeweils an der Montagelinie selbst Anlieferzonen, die auch alles benötigte Hilfsmaterial beinhalten. Material jedes an diesem Montageabschnitt durchzuführender Arbeitsschritt wird hier zur Verfügung gestellt. Materialanlieferungen finden gestückelt über Einzeltransporte von *Ladungsträgern* statt. Die Ladungsträger haben eine genormte Größe und werden an eindeutig vordefinierten *Anlieferplätzen* in einer *Anlieferzone* bereitgestellt. Der Materialisierung und der Montage sind die einem Arbeitsschritt zugeordneten Anlieferplätze bekannt.

Die Montagelinie besteht über die gesamte Länge (Ausnahmen Stellplatz 1 und 10 siehe unten) aus fest montierten Arbeitsbühnen. Diese erlauben das simultane Arbeiten in zwei Ebenen. So werden im unteren Geschoß Arbeiten unter dem Fahrzeug durchgeführt und im oberen Geschoß hauptsächlich Arbeiten im Fahrgastraum durchgeführt. Die sogenannte zweite Ebene (oberes Geschoß an den Arbeitsbühnen) beinhalten außerdem eigene Flächen von Anlieferzonen. Das Material kann zum größten Teil im passenden Stock angeliefert werden.

Der Arbeitsplatz 10 stellt in dieser Fließfertigung einen Sonderfall dar. An diesem existieren keine Anlieferzonen sowie Arbeitsbühnen, da hier ausschließlich das Aufsetzen, also das Verbinden der Wagenkästen mit den Fahrwerken, durchgeführt wird.

Der Stellplatz 1 ist als Lager- und Aufsetzplatz zu verstehen. An diesem werden keine Montagearbeitsschritte durchgeführt, sondern der Wagenkasten für die Fließfertigung vorbereitet. Dazu zählt das Aufbocken auf die Trägerfahrgestelle, mit welchen der Wagenkasten entlang der Fertigung bewegt werden kann.

⁴⁶ vgl. Sihn/Sunk/Nemeth/Kuhlgang/Matyas, 2016, Abschnitt 2.3.2.2

3.1.2 Ist-Zustand der Fertigungsstruktur und der Verknüpfung zu den Materialstammdaten

Da die Organisation der Arbeitsvorbereitung im weiteren Verlauf der Arbeit einen Einfluss auf die Prozessperformance sowie deren Messung hegt, soll folgend eine Übersicht über die Gruppierung der Arbeitsschritte (genannt Vorgänge) und die digitale Verknüpfung mit dessen dafür notwendigen Material eingegangen werden:

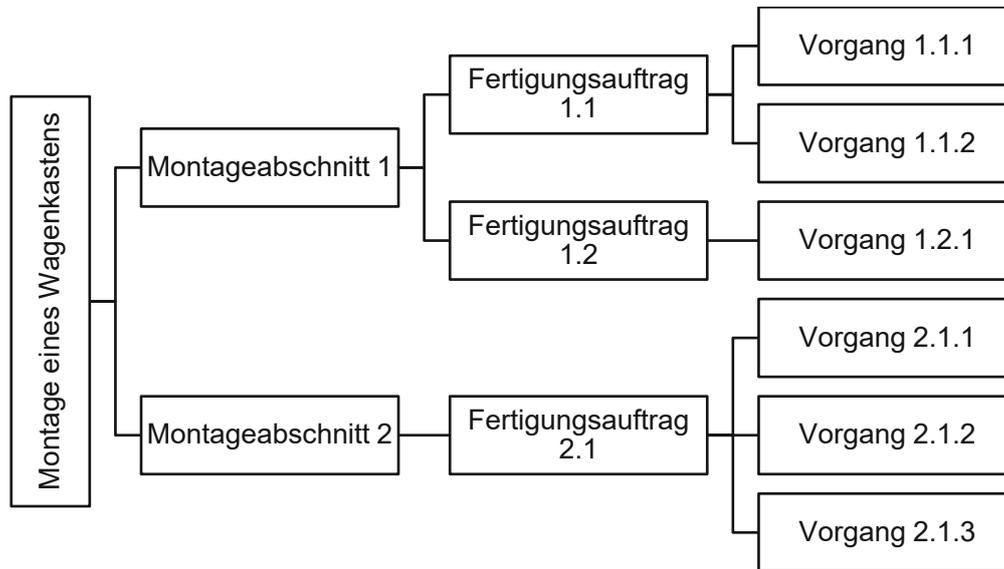


Abbildung 3-4 Schematische Darstellung der Organisation der Arbeitspakete

Die in der Arbeitsvorbereitung geplanten und festgelegten Arbeitsschritte (**Vorgänge**) sind unter sogenannten **Fertigungsaufträgen (FAUF)** gebündelt. Beispiele für Vorgänge zugehörig zum Fertigungsauftrag „Vorarbeiten für das Einsetzen der Wagentür“ sind das Einkleben der Dichtleisten, das Verlegen der Türelektronik sowie das Montieren der Trittleisten im Türbereich. Ein Fertigungsauftrag enthält also mindestens einen oder mehrere Vorgänge. Arbeitsschritte eines Vorgangs können nach der logischen Abfolge parallel abgearbeitet werden, Fertigungsaufträge zum gewissen Teil parallel oder zwangsweise hintereinander. Eine weitere Einteilung wird in **Montageabschnitte (MOAB)** vorgenommen. Einem Montageabschnitt werden mehrere Fertigungsaufträge zugeordnet, deren Vorgänge nach der Abarbeitungsfolge sinnvoll zum größten Teil parallel abgearbeitet werden können bzw. arbeitsorganisatorisch einen ähnlichen Charakter haben (z.B. Verlegen der Kabelkanäle unter dem Fußboden und das Verlegen der Türelektronik). Ein Wagenkasten wird somit nach der Abarbeitungsfolge der Montageabschnitte organisiert, welche schlussendlich die Fertigungsaufträge bzw. Vorgänge liefern (siehe Abbildung 3-4). Das Ende eines Montageabschnitts stellt einen Meilenstein dar, welcher erreicht wird, sobald alle Fertigungsaufträge eines MOABs abgeschlossen wurden. Die erwähnten Daten Montageabschnitt, Fertigungsauftrag und Vorgänge werden unter der SAP Datenbank angelegt und digital abrufbar auf einem Server des

Unternehmens abgelegt (siehe Kapitel 3.1.4). Die Gruppierung in Montageabschnitte wird durchgeführt, um Arbeitspakete den Stellplätzen der Montage zuzuweisen.

Die Vorgänge bearbeiten eine bestimmte *Baugruppe*, welche im Zuge dieses Arbeitsschritts verbaut wird. Die Baugruppe enthält Informationen einer *Stückliste* über das benötigte Material. Verknüpft man die Baugruppen mit den Vorgängen und mit dem zugeordneten Fertigungsauftrag, ergibt sich eine Stückliste für das Material dieses Auftrags (siehe Abbildung 3-5). Ein Fertigungsauftrag „Vorarbeiten für das Einsetzen der Türen“ enthält also eine Stückliste mit sämtlichem dafür notwendigem Material. Summiert man die Stücklisten aller Fertigungsaufträge eines Montageabschnitts, ergibt sich eine Liste über das benötigte Material eines Produktionsabschnitts. Dieses wird bei Bedarf im weiteren Verlauf vom *Disponenten* in Form von *Anlieferaufträgen* angefordert (siehe Kapitel 3.1.5).

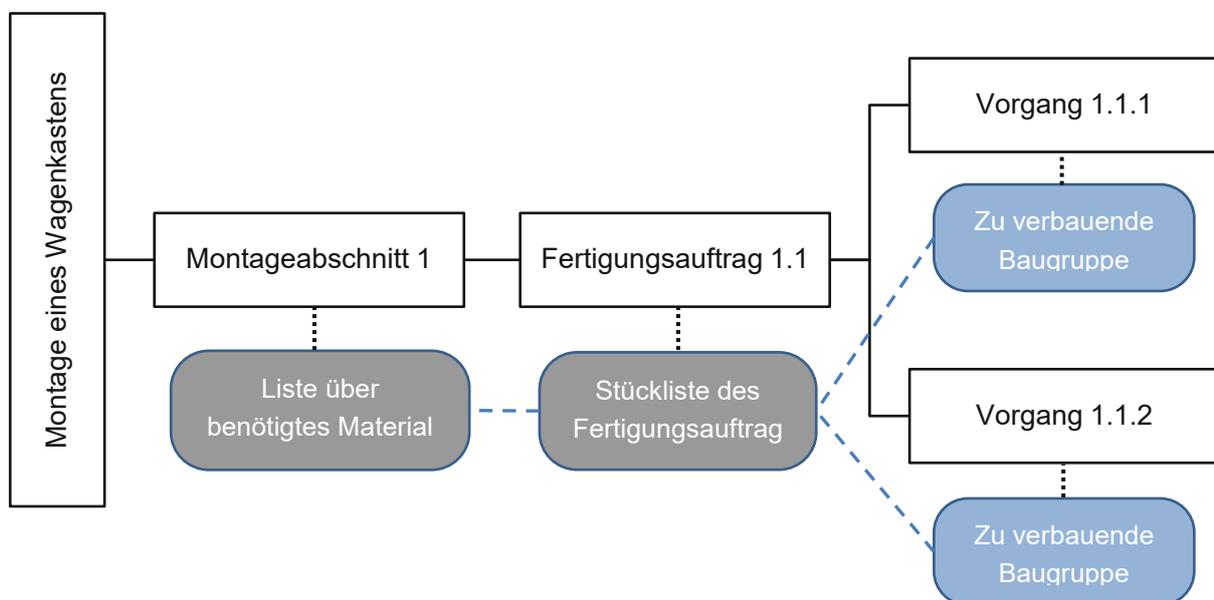


Abbildung 3-5 Überblick des mit der Arbeitsorganisation verknüpftem Material

3.1.3 Ist-Zustand der Fertigungsterminplanung

Die Montageabschnitte, in weiterer Folge die Stellplätze, haben fixe vorgegebene Arbeitspakete vorgesehen, welche in der Einheit eines Vorgangs vorgegebene Abarbeitungsdauern haben. Diese sind ein empirisch ermittelter Anhaltspunkt, wie lange eine Person im Schnitt mit diesem Vorgang beschäftigt wäre. Mit Hilfe dieser Information sowie der vorhandenen Mitarbeiterkapazität kann die theoretisch erreichbare Durchlaufzeit ermittelt werden. Ist andererseits nach *Pull-Prinzip*⁴⁷ der Wagenkastenbedarf ermittelt (z.B. alle zwei Werktage ein fertiger Wagenkasten) kann mit Ergänzung der Schichtdauer der Mitarbeiterbedarf pro MOAB ermittelt werden. Bei der Erstellung dieser Arbeit wurde am beobachteten Prozess an einem MOAB in jeweils vier Schichten zu acht Stunden gearbeitet. Somit war die Taktdauer mit vier

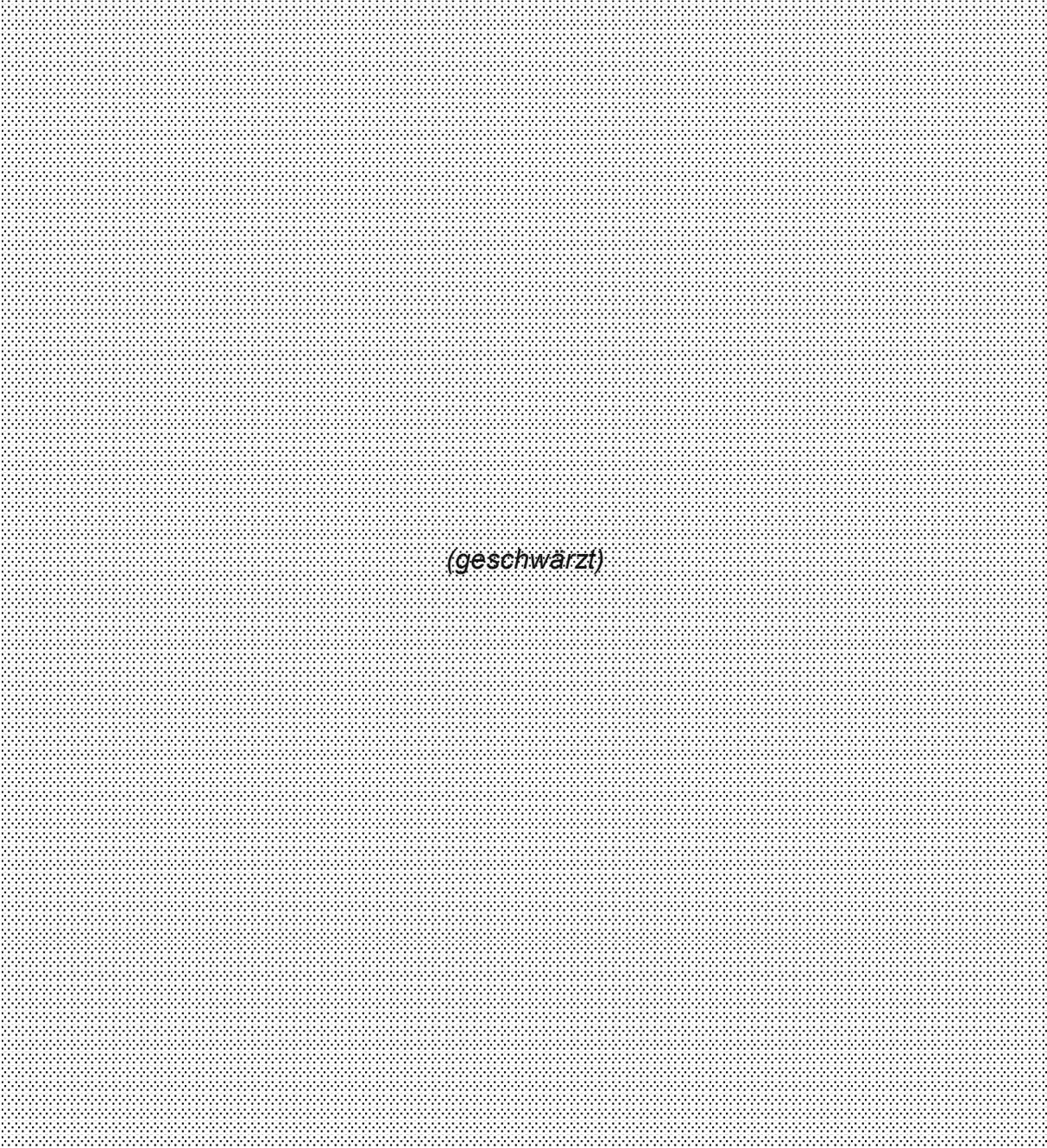
⁴⁷ vgl. Sihn/Sunk/Nemeth/Kuhlgang/Matyas, 2016, Abschnitt 4.7.1.2

Schichten fix vorgegeben und die Personalressourcen dementsprechend verteilt bzw. geplant. Dieser festgelegte *Soll-Zeitplan* wird im EDV-System Primavera (siehe Kapitel 3.1.4) festgehalten. Mit festgesetzten Meilensteinen (das Beenden aller Fertigungsaufträge eines Montageabschnitts) kann das geplante Versetzen der Wagenkästen zwischen den Stellplätzen organisiert werden.

3.1.4 Qualitative Beschreibung der Informationssysteme

Vor der Erläuterung des Prozessablaufs mit dessen Informations- und Materialflüsse müssen einführend die beteiligten und mitwirkenden Informationssysteme vorgestellt werden. Durch das historische Wachsen des Unternehmens und die voranschreitende Digitalisierung sind in verschiedenen Abteilungen zahlreiche parallel wirkende Systeme integriert worden, welche in der Gesamtheit des Zusammenwirkens zum Ziel haben, ein System mit MES Fähigkeiten zu betreiben.

In der Abbildung 3-6 wird ein Überblick über die Systemlandschaft, sowie das Zusammenwirken der Systeme gegeben. Zentral dargestellt sei der Prozess der Montage und wie dieser mit seinen umgebenden Teilsystemen interagiert. Dabei wird noch kein Urteil über die Art und Weise des Zusammenwirkens gefällt, sondern nur die Systematik dargelegt.



(geschwärzt)

Abbildung 3-6 Überblick über die Systemlandschaft und das Zusammenwirken

Folgend sollen nun die einzelnen Systeme genauer beschrieben werden.

SAP:

Industrielles Informationssystem, welches Informationen der Arbeitsvorbereitung (Vorgänge, Fertigungsaufträge, Montageabschnitte, Wagenkastennummern, Baugruppen, Stücklisten, Materialnummern, Vorgabestunden), der Materialverfügbarkeit (Materialnummern, Bestandsliste, Liefertermine), des engineering (Baugruppenpläne, Zeichnungen) und der Buchhaltung (Rückmeldungen bzw. Fertigmeldungen, Kostenstellen, Lagerplätze, Kunden, Lieferanten) bereitstellt, zentral abrufbar macht und miteinander verknüpft. Die Daten der Fertigungsaufträge

mit Vorgabestunden erlauben eine Personalbedarfsplanung, die Vorgänge geben auf Basis der Baugruppenpläne die Arbeitsweise vor, die Stücklisten erlauben eine bedarfsgerechte Materialbereitstellung, die Materialverfügbarkeit geben das Anlegen einer Bestellung beim jeweiligen Lieferanten mit der jeweiligen Materialnummer vor und das Fertigmelden von Aufträgen mit aufgezeichneter Dauer lässt eine interne Kostenrechnung zu. Die Daten, welche hier verwaltet werden, stellen das Grundgerüst für Informationen des Montageprozess dar und haben einen planerischen Charakter.⁴⁸

Prodlog:

In diesem System werden *Anlieferaufträge* (siehe Kapitel 3.1.5, Abschnitt Materialisierung) vom Disponenten gebucht und Verpackungsfortschritten der Lieferungen und die Layouts von *Schüttgutkoffern* definiert. Prodlog ist innerbetrieblich gesehen ein Informationssystem, welches die Nachfrage nach Materialbedarf der Montage generiert.

LOGOS:

Das Informationssystem *LOGOS* ist ein Lagerkommissionierungssystem mit Bestandsführung in enger Zusammenarbeit mit *Prodlog* (siehe oben). In diesem System werden *Anlieferungsaufträge* angestoßen, *Zielplätze* (siehe Kapitel 3.1.5, Abschnitt Materialisierung) hinterlegt, Materialbestände gebucht und bei Bedarf *Nachlieferungsaufträge* (siehe unten) erzeugt. Ausgehend von den in Prodlog gebuchten Anlieferaufträgen werden die benötigten Materialien mit dem Lagerbestand abgeglichen. Für die vorhandenen Materialien wird die Kommissionierung angestoßen und das Material einem *Ladungsträgerplatz* zugewiesen. Bei jeder physischen Materialbewegung werden die Materialströme mittels eines Scans der Entnahme und Aufgabe aufgezeichnet, so dass zu jedem Zeitpunkt der Kommissionierungsgrad des Auftrags bekannt ist. Nicht vorhandene Materialien werden einem Nachlieferungsauftrag zugeordnet, welcher vom System bei Wareneingang der fehlenden Teile automatisch angestoßen wird. Bei Abschluss der Kommissionierung wird der Transport vom Ladungsträger- zum hinterlegten *Zielplatz* in der Montagehalle angestoßen. Wird bei der Anlieferung abschließend vom Mitarbeiter der Zielplatz gescannt, ist der Materialfluss aus Sicht dieses Systems erfolgreich abgeschlossen und die gelieferten Teile aus dem Bestand gestrichen. Die Bestandsführung des Materiallagers triggert durch hinterlegter *Minimalbestände* automatisch Nachbestellungen bei externen und internen Lieferanten.

Als „Orientierungs-Kennzahl“ von Lieferaufträgen innerhalb dieses Systems wurde der *LOGOS-Status* eingeführt. Dieser gibt Auskunft über den Abarbeitungsgrad des jeweiligen Lieferauftrags:

⁴⁸ vgl. Balla/Layer, 2010

- Zustand 0: Der Auftrag ist im System erfasst und der Prozess der Kommissionierung angestoßen
- Zustand 0,5: Die Kommissionierung ist erfolgreich abgeschlossen. Der Ladungsträger befindet sich am Auslieferungsplatz, bereit für den Transport zum Montageprozess
- Zustand 1: Der Ladungsträger wurde am Zielplatz abgestellt. Der Auftrag ist aus Sicht dieses Systems abgeschlossen.

Primavera:

Primavera ist eine Software, die einen Terminplan durch gegenseitige Abhängigkeiten, Durchlaufzeiten und Kapazitäten in Vorwärts- und Rückwärtsterminierung erstellt. Im Zuge eines laufenden Controllings kann eine Gegenüberstellung zwischen Soll- und Ist-Plan hergestellt werden. Beginnend mit dem *Rollout-Termin* (dem Bedarfstermin des Kunden) wird ein Projektplan aus Sicht der Produktion mit allen in SAP hinterlegten Montageabschnitten, verfügbaren Schichten mit Personalkapazität rückwärtsterminiert. Ist der Zeitplan für ein Projekt (i.e. einen Wagenkasten) freigegeben, werden alle Vorarbeiten anhand dieses Zeitplans ausgerichtet. Im wöchentlichen Rhythmus wird der aktuelle Fortschritt aufgezeichnet und innerhalb der Software als „Ist-Terminplan“ aufgezeichnet.

eSFB:

Das System *eSFB* wurde als interne Softwareschnittstelle programmiert, welche zum Ziel hat Daten aus anderen Informationssystemen zusammenzuführen und in Echtzeit anzuzeigen. In der Datenbank *SAP* hinterlegte Produktionsdaten (Vorgänge, Fertigungsaufträge, Baugruppenstücklisten, etc. siehe Kapitel 3.1.2) werden mit den Status der Anlieferungen aus dem System *LOGOS* ergänzt. Mit den Termindaten aus *Primavera* und *Prodlog* werden die Produktionsdaten mit deren planmäßigen Einbautermin und Buchungstermin der Anlieferung ergänzt. Die Darstellung dient der Information der Abteilungen Montage und Logistik. So werden die wichtigsten Informationen eines Fertigungsauftrags mit dessen Baugruppe, geplanten und gebuchten Anliefertermin, zugehörigem Wagenkasten und Montageabschnitt sowie deren Anlieferungsstatus angezeigt. Als interaktive Funktion werden Anlieferungen über diese Schnittstelle mit einer Priorisierung manuell versehen.

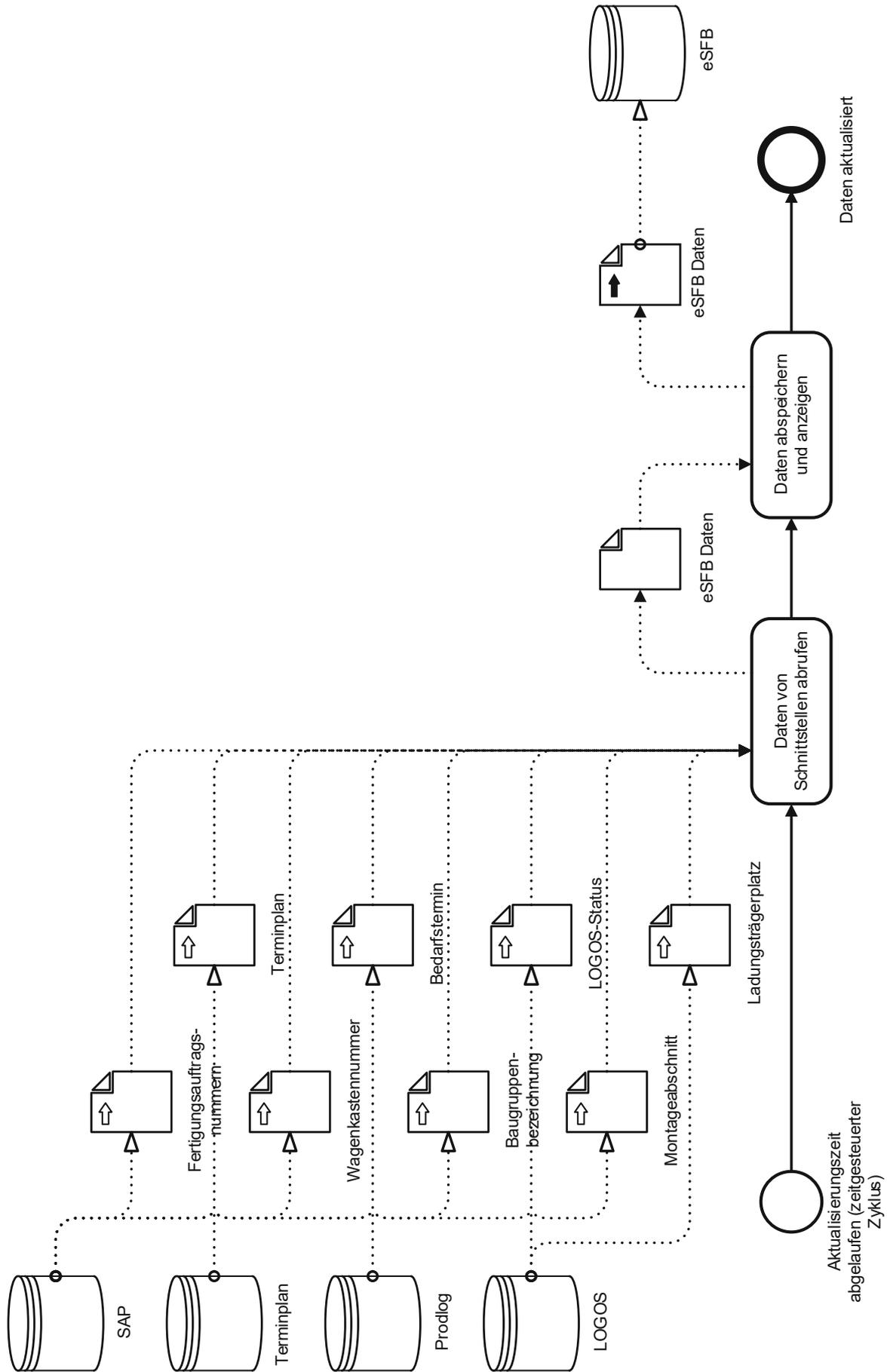


Abbildung 3-7 Datenfluss im System eSFB

Zentrale SQL-Datenbank „Vienna Plant“:

Diese Datenbank bietet die Möglichkeit für flexiblen Datenaustausch. Je nach Bedarf werden hier Daten über eine *SQL-Schnittstelle* eingespielt und abgerufen.

Weitere Dokumente:

Bei der Aufnahme des Prozesses wurden zahlreiche Dateien ermittelt, die ebenfalls dem unmittelbaren Informationsfluss dienen.

- Störliste (Auftragsübersicht):
- Eine *Microsoft Excel* Datei, in der, in der Montage aufgetretenen Störfälle, aufgezeichnet werden. Dient der Information über den Behebungsstatus der Störung und der dementsprechenden Abteilungen. Wird an einem *Microsoft* Server abgelegt, welcher von allen Teilnehmern des Netzwerks am Standort aufgerufen werden kann.
- Baugruppenliste:
- Eine Auflistung aller an einem Montageabschnitt und Wagenkasten abzuarbeitender Fertigungsaufträge. Es werden Spalten zum Eintrag der Beginn- und Fertigstellungszeit, des Anlieferstatus und der diesen Auftrag bearbeitenden Mitarbeiter vorgesehen. Ausgedruckt wird diese an jedem Wagenkasten bzw. Montageabschnitt ausgehängt und von den dementsprechenden Personen ausgefüllt. Dient der unmittelbaren Information der Abteilung der Montage über den Grad der Materialisierung, den Mitarbeiterereinsatz und den Fertigungsfortschritt. Wird als Quelle verwendet, um in zyklischen Zeiträumen Aufträge manuell im System *SAP* mit dem verbrauchten Pers Einsatz zurückzumelden.
- „Liste“ über Störungsinformationen:
- Gemeint sind lokale Aufzeichnungen über entdeckte Störfälle aus Sicht der Montage. Informationen hierbei halten sich an keinen genormten Ablauf und werden zum Teil mündlich an Teamleiter übertragen. Dient als Informationsquelle bei *Besprechungen* über Störteile (siehe Kapitel 3.1.5 Abschnitt Materialisierung)
- Versatzliste:
- Eine von der Abteilung der Arbeitsvorbereitung erstellte Quelle, zur Aufschlüsselung der Fertigungsaufträge durch Taktbezug zum geplanten Starttermin. Dient als Grundlage zur Erstellung des *Terminplans*
- Terminplan:
- Mittels des wöchentlich aktualisierten Status der Fertigung in der Terminplanungssoftware Primavera (Terminplan „2.Zeile“) und der Versatzliste („MOAB-Takt-Aufschlüsselung“) wird ein jedem Fertigungsauftrag ein geplanter Starttermin zugewiesen. Dient der Abteilung der Montage als Planungsgrundlage der Mitarbeiterkapazitäten.

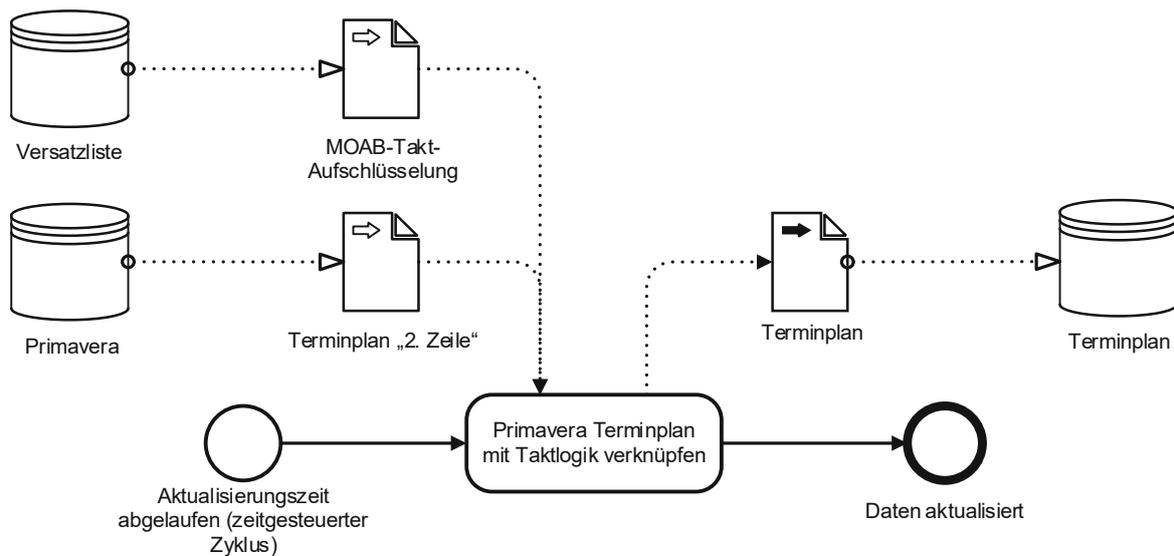


Abbildung 3-8 Datenfluss beim Erzeugen des Terminplans

3.1.5 Erläuterung der Subprozesse im Ist-Zustand

Um den komplexen Prozess mit allen notwendigen Informationsflüssen zu bewerkstelligen, sind neben mehreren Informationssystemen auch Abstimmungsrunden (Meetings) mit fix festgelegtem Ablauf zwischen den beteiligten Abteilungen notwendig. Folgend soll der Prozess mit der Darstellung in BPMN (siehe Kapitel 2.4.2) eingeführt werden. Die beteiligten Teilnehmer sowie Subteilnehmer wurden bei einer Prozessanalyse wie folgt identifiziert:

- Montage Wagenkästen
 - Fertigungsablauf
 - Materialbereitstellung
 - Meeting Morgenbesprechung (Teamleiter-Hearing)
 - Meeting Materialhandshake (Logistik Shopfloor)
 - Meeting Meister Shopfloor
 - Meeting 11Uhr Kaskade
- Datenverwaltung
 - Terminplan
 - eSFB
- Zugehörige Datenbanken

Folgend sollen die einzelnen Teilnehmer beschrieben werden.

Subteilnehmer Fertigungsablauf und Meeting Morgenbesprechung:

Im Fertigungsablauf sind sämtliche physische Tätigkeiten sowie deren direkter Informationsfluss, um diese durchzuführen, gebündelt und festgelegt. Der Prozess wird durch den Bedarf an durchzuführenden Fertigungsaufträgen an Wagenkasten angestoßen. Laut Terminplan festgelegte Fertigungsaufträge werden abgerufen und

in der Vergangenheit mit Störungen versehene auf deren Behebungsstatus geprüft. Eine sich daraus ergebende Liste mit Fertigungsaufträgen definiert das abzuarbeitende Tagesziel für die Montage. Der Prozessfluss erfordert das enge Zusammenspiel der beiden Teilprozesse *Fertigungsablauf* und *Meeting Morgenbesprechung*. Das vorerst abgerufene und festgelegte Tagesziel wird im Zuge der *Morgenbesprechung* nach der verfügbaren Mitarbeiterkapazität adaptiert zu dem entsprechenden Mitarbeiter kommuniziert. Das Tagesziel mit den jeweiligen zugeordneten Mitarbeitern wird in der *Baugruppenliste* vermerkt und damit dokumentiert. Durch verteilte und kommunizierte Tätigkeiten kann anschließend das eigentliche Abarbeiten der Aufträge im Zuge des *Fertigungsablauf* gestartet werden (*Zwischenereignis Abarbeiten der Fertigungsaufträge gestartet*). Die weiteren nach Prozessablauf festgelegten Tätigkeiten umfassen das Melden von abgeschlossenen Aufträgen und von Störungen. Hat ein Mitarbeiter einen Auftrag erfolgreich vollständig abgeschlossen, trägt er diesen mit einem Zeitstempel selbstständig in der *Baugruppenliste* ein und beginnt den nächsten Auftrag laut Tagesziel abzuarbeiten. Sind sämtliche Aufträge abgeschlossen, endet dieser Subprozessprozess mit dem Ereignis *Wagenkasten verlässt die Montage*. Ein weiteres Handling wird notwendig, wenn im Zuge der Abarbeitung ein *Störteil* (also ein fehlendes oder beschädigtes Teil) entdeckt wird. Entdeckt der Mitarbeiter ein solches Störteil gibt er die Bezeichnung (Benennung) dieses, die zugehörige Fertigungsauftragsnummer und die Art der Störung bekannt, indem er diese Informationen dem Teamleiter weitergibt. Kann trotz der Störung mit dem Auftrag fortgeführt werden, soll dieser so weit wie möglich abgearbeitet werden. Ansonsten bzw. im Anschluss soll (wenn möglich) die Arbeit des nächsten verfügbaren Fertigungsauftrags fortgesetzt werden. Wurde die Störung behoben, wird die Montage darüber informiert und der Auftrag wieder als verfügbar angesehen. Die Informationen der Störung werden lokal aufgezeichnet, um diese für kommende Meetings verfügbar zu machen.

Subteilnehmer Materialbereitstellung:

Der Prozess der Materialbereitstellung befasst sich mit dem Kommissionieren und Bereitstellen des den Fertigungsaufträgen zugeordneten Materials. Angestoßen wird der Prozess durch das Ereignis „eingehende Nachricht“ *46 Stunden vor Bedarfstermin* automatisiert ausgehend vom System *Prodlog*. Aus dem selbem System werden Informationen über den Fertigungsauftrag wie Materialmengen und Bedarfstermin abgerufen. Im System *LOGOS* wird die weitere Abarbeitung und Verwaltung des Fertigungsauftrags gesteuert. Durch einen Abgleich mit dem Lagerbestand, welcher im System hinterlegt ist, mit der Stückliste des Fertigungsauftrags wird ein **Auslagerungsauftrag** mit den vorhandenen Teilen erstellt. Gibt es zu dieser Stückliste Teile, welche nicht lagernd sind wird ein sogenannter **Nachlieferauftrag** erstellt. Der *Auslagerungsauftrag* stößt die Kommissionierung der gewünschten Materialien am im System *Prodlog* hinterlegten **Ladungsträger** an. Beim Anstoßen

der Kommissionierung wird außerdem der **LOGOS-Status** auf „0“ gesetzt, was die beginnende Bearbeitung des Auftrags symbolisiert. Bei jeder physischen Materialbewegung scannt der Mitarbeiter den Barcode des Lagerplatzes sowie den des Ladungsträgers. Demgemäß wird im System LOGOS eine Materialbewegung festgehalten und gebucht. In LOGOS gibt es aus diesem Umstand folgend zu jedem Zeitpunkt einen Status über den Abarbeitungsgrad des Auftrags. Wurde die Kommissionierung vollständig abgeschlossen, (aus Sicht des Systems alle erforderlichen Teile „gescannt“) wird der Ladungsträger am Ablieferplatz an einem durch das System **fix zugewiesenen Platz** angeliefert. Zu diesem Moment verfällt der **LOGOS-Status** zu „0,5“, was die vollständig abgeschlossene Kommissionierung signalisiert und den **Ladungsträgertransport** zur Montage anstößt. Der Ladungsträgertransport wird zwischen dem Ablieferplatz und dem zugewiesenen **Ladungsträgerplatz** in der Montagehalle durchgeführt. Wurde der Ladungsträger am zugewiesenen Ladungsträgerplatz abgestellt und dieser ebenfalls durch den Mitarbeiter „gescannt“, ist der Auftrag aus Sicht des Systems LOGOS abgeschlossen. Der Auftrag erhält den **LOGOS-Status** „1“. Der Prozess des Materialisierens endet mit dem Ereignis *Materialbedarf bedient*.

Ein weiterer Teilprozess im Zuge dieses Subteilnehmers ist das Beliefern der registrierten *Störteile* (siehe Subteilnehmer Materialhandshake *eSFB*). Dabei wird der Materialisierungsprozess nicht durch eine eingehende Nachricht des Systems *Prodlog* angestoßen, sondern manuell durch eine Nachricht des *Meeting-Materialhandshake* über einen gestörten Fertigungsauftrag. Die Störungen werden mittels der Priorisierung, hinterlegt im System *eSFB* gewichtet. Anschließend wird manuell ein *Auslagerungsauftrag* mit dem gewünschten Material erzeugt, welcher wieder denselben Prozess, wie oben beschrieben, anstößt. Wurde der Auslagerungsauftrag erfolgreich abgeschlossen endet der Teilprozess mit dem Ereignis bzw. der ausgehenden Nachricht *Fertigungsauftrag entstört*.

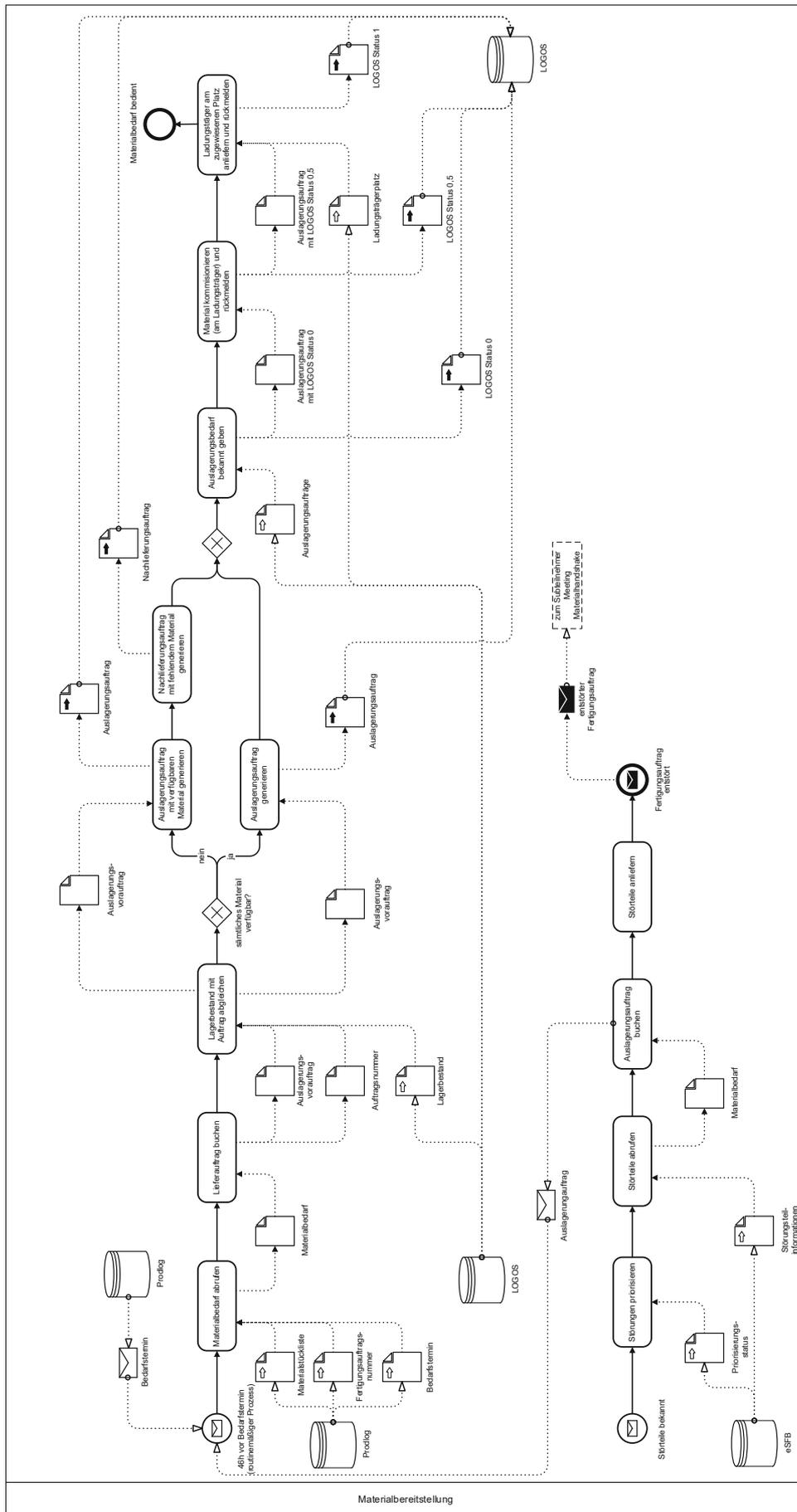


Abbildung 3-10 Prozessfluss BPMN des Subteilnehmers Materialbereitstellung

Subteilnehmer Meeting Materialhandshake (Logistik Shopfloor):

Im Zuge des Teilprozesses *Materialhandshake* werden die im *Fertigungsablauf* entdeckten Störungen behandelt und zur Behebung zuständigen Abteilungen kommuniziert. Mittels des Systems *eSFB* (siehe Kapitel 3.1.4) werden die vorhandenen Fertigungsaufträge abgerufen und chronologisch durchbesprochen. Die Daten werden Schritt für Schritt mit den lokal aufgezeichneten Störungsinformationen ergänzt und mit den Informationen des Systems abgeglichen. Hierbei gibt es drei verschiedene Prozessfolgen:

1. Es gab in der Vergangenheit zu diesem Prozess Störungsinformationen, welche bereits behoben wurden. Der Prozess der *Materialisierung* triggert den Teilprozess mit der eingehenden Nachricht *entstörter Fertigungsauftrag*. In diesem Fall muss innerhalb des Systems *eSFB* der Störungstatus bzw. die Störungsinformationen und wenn vorhanden die Priorisierung manuell entfernt werden.
2. Die Fertigung meldet eine zu diesem Auftrag entdeckte Störung und der zugehörige *LOGOS-Status* im System *eSFB* ist nicht gleich eins. Laut Terminplan sollte das Material des zugehörigen Fertigungsauftrags also bereits vorhanden sein, jedoch gibt es offensichtlich Verzögerungen im Prozess des *Materialisierens*. Der Prozess des *Fertigungsablauf* triggert diese Teilschritte mit der eingehenden Nachricht *gestörter Fertigungsauftrag* und dem Prüfen des *LOGOS-Status*. Aus den in *eSFB* vorhandenen und weiteren zwischenmenschlichen, nicht dokumentierten Informationen wird Auskunft über den zu erwartenden Nachlieferhorizont gegeben. Die Information des Nachlieferzeitpunkts wird lokal von der Montage gespeichert und die weiteren Schritte dementsprechend eingelenkt.
3. Die Fertigung meldet eine zu diesem Auftrag entdeckte Störung und der zugehörige *LOGOS-Status* im System *eSFB* ist gleich eins. Der Anlieferauftrag ist also aus Sicht des Systems *LOGOS* abgeschlossen, es wurden allerdings fehlende oder beschädigte Teile entdeckt. Die Gründe hierfür können einerseits ein automatisch in *LOGOS* erstellter und noch nicht gelieferter *Nachlieferauftrag*, ein im Anlieferprozess beschädigtes Teil, eine im Zuge der Eingangskontrolle übersehene Beschädigung des Teils, eine fehlerhafte Kommissionierung oder eine andere Art von Materialschwund sein. Je nach Grund des gestörten Auftrags müssen *Entstörungsmaßnahmen* angestoßen und der Nachlieferhorizont abgeschätzt werden oder der Nachlieferhorizont des Nachlieferauftrags kommuniziert werden. Der Teilprozessschritt wird durch die vom *Fertigungsablauf* eingehende Nachricht *Fertigungsauftrag gestört* und das Prüfen des *LOGOS-Status* angestoßen. Bei Bedarf kann innerhalb des Systems *eSFB* eine *Priorisierung* gesetzt werden, um den Auftrag zu bevorzugen.

Ein zweiter parallel dazu ablaufender Teilprozess ist das **manuelle Buchen** des Materials der künftigen Fertigungsaufträge. Durch Informationen des Terminplans und dem Abgleichen der aufgezeichneten, abgeschlossenen Fertigungsaufträge wird ein in **künftiger Materialbedarf** ermittelt, welcher in **96 Stunden** am Montageprozess benötigt wird. Durch das *Buchen* dieser künftigen Fertigungsaufträge im System *Prodlog* wird der Prozess der *Materialisierung* in weiterer Folge angestoßen. Beim Buchen der Fertigungsaufträge wird der sogenannte *Bedarfstermin* des Auftrags festgesetzt.

Subteilnehmer Meeting Meister-Shopfloor und Meeting 11Uhr Kaskade:

Die beiden routinemäßig durchgeführten Teilprozesse, welche zu definierten Uhrzeiten jeden Werktag stattfinden, (9 bzw. 11 Uhr) haben zum Zweck Störungen, welche mittels der den Teilnehmern jeweilig entsprechende Befugnis-Ebene nicht lösbar sind, auf die nächst höhere Hierarchie zu heben. So werden Störungen im Zuge des *Materialhandshakes* durch Teamleiter besprochen, beim *Meister-Shopfloor* von Meistern und bei der *11Uhr Kaskade* von Abteilungsleitern und dem Management. Ist eine Störung in der jeweils vorgegangenen Ebene nicht lösbar, wird sie auf die nächst höherer Hierarchie gehoben. Im Zuge des *Meister-Shopfloors* werden **alle** Störungsthemen, welche derzeit aktiv sind, nach den beteiligten Abteilungen (Logistik, Arbeitsvorbereitung, Montage mechanisch, Montage elektrisch) durchbesprochen. Informationen darüber werden von den Systemen *eSFB*, *LOGOS*, und den *lokalen Aufzeichnungen der Fertigung* bezogen. Pro Wagenkasten, der sich in der Montage befindet, werden die zugehörigen Störungen in die *Störliste (Auftragsübersicht)* eingetragen und nach deren Auswirkungen über eine Ampellogik beurteilt. Wurde eine alte Störung behoben, wird sie aus der Liste gestrichen, tritt eine neue Störung auf wird sie in der Liste ergänzt. Mitarbeiter auf Meisterebene der beteiligten Abteilungen informieren über den Behebungsstatus bzw. Behebungsfortschritt der Störung. Behobene Störungen werden dementsprechend an die beteiligten Mitarbeiter kommuniziert, noch nicht behobene bezüglich ihrer Lösbarkeit an dieser Ebene beurteilt. Ist die Störung auf Meisterebene behobbar besprechen die dabei beteiligten Abteilungen die notwendigen Schritte zur Lösung, die Auswirkung auf die Einhaltung des Takts, auf die Auswirkung künftiger Fertigungsaufträge bzw. auf die Frage ob des Termins eines Meilensteins gehalten werden kann. Die Schwere der Auswirkung bestimmt die Priorisierung der Lösungsschritte sowie den Status des Wagenkastens nach Ampellogik. Kann die Störung aufgrund der Befugnis oder der Schwere der Auswirkung nicht auf der Meisterebene gelöst werden, wird diese auf die nächst höhere Ebene (*11Uhr Kaskade*) eskaliert. Der Teilprozess endet mit dem Ereignis, des Kommunizierens der entstörten Aufträge und der neuen Störungen bzw. mit dem Kommunizieren der Störung auf die nächst höhere Ebene.

Beim routinemäßigen Prozess der *11Uhr Kaskade* werden die auf diese Ebene eskalierten Störfälle (kommuniziert vom vorangegangenen *Meister-Shopfloor*) vor der Werksleitung von den jeweiligen Abteilungsleitern präsentiert. Störungen auf dieser Ebene bedürfen das Zusammenarbeiten mehrerer Abteilungen auf Führungsebene und können zum Teil langfristige Verbesserungsprojekte mit sich ziehen. Um für die Störungen dieser Ebene eine Priorisierung vorzunehmen, werden auch diese beurteilt und die Abteilungen nach Ampellogik beurteilt. Diese werden über eine online-Software *Power-BI* dargestellt und dienen der Information über den derzeitigen Status bzw. der Leistungsfähigkeit des Werks.

Teilnehmer Montage Wagenkasten:

Alle in diesem Kapitel beschriebenen Subteilnehmer sind Teilprozesse im Prozess *Montage Wagenkasten*. Das enge Zusammenwirken der Subteilnehmer in diesem Prozess ist in einer Darstellung nach BPMN dem Anhang bzw. den oben angeführten Erläuterungen zu entnehmen.

Teilnehmer Datenverwaltung mit zugehörigen Subteilnehmern Terminplan und eSFB:

Der Ablauf der beiden Teilprozesse ist im Kapitel 3.1.4 erläutert, bzw. anhand Abbildung 3-7 und Abbildung 3-8 dargestellt. Das Zusammenwirken der Subteilnehmer und das Zusammenwirken mit dem Teilnehmer Montage Wagenkasten ist in einer Darstellung nach BPMN dem Anhang bzw. den oben angeführten Erläuterungen zu entnehmen.

3.2 Ist-Prozessanalyse

In diesem Abschnitt wird der Prozess in mehreren Aspekten analysiert und quantitativ dargestellt. Zuerst werden, von in *Experteninterviews* aufgenommenen Problematiken im Prozess, Fehlerfolgen aufgelistet und nach Fehlerursachen analysiert, anschließend der Prozess nach den zehn Aufgaben eines MES nach VDI5600-1 im Sinne einer *Gap-Analyse* diskutiert und abschließend die Messung der Prozessleistung/-effizienz dargelegt.

3.2.1 Auflistung und Beschreibung der beobachteten Problematiken

In einem Workshop (einer Befragung) mit Domäneexperten des Montageprozesses und dessen nähere Umgebung wurden in der Vergangenheit aufgetretene Problematiken des Montageprozesses aufgezeichnet und gruppiert. Unter direkt prozessbeteiligten Personen sind hier Mitarbeiter des Montageprozesses selbst und deren Vorgesetzte zu verstehen. Die ermittelten sogenannten *Fehlerbilder* (Problematiken im geordneten Prozessablauf) wurden anschließend einer *Ishikawa-Analyse* zugeführt, um mögliche Ursachen für das Entstehen dieser Fehlerbilder ausfindig zu machen.

In einer neuntägigen Beobachtung vom 31.05.2022 bis zum 10.06.2022 (nur an Werktagen) wurde die Häufigkeit des Auftretens der Unterproblempunkte im Montageprozess verfolgt, um eine Quantifizierung und daraus eine Gewichtung der Problematiken durchzuführen. Schwerer wiegende *Fehlerbilder* bedürfen einer verstärkt wirkenden Beobachtung und priorisierten Lösungsfindung. Die Fehlerbilder wurden an **drei Teamleiterstellen** des Montageprozesses quantifiziert und daraus anschließend die Summe gebildet. Folgend seien die gruppierten Problematiken mit der im Zuge der gesteuerten Ideenfindung (Ishikawa-Analyse) ausfindig gemachten möglichen Ursachen angeführt:

- Gruppierete Problematik: **Produktionsprozess unterbrochen, durch zur Gänze fehlendes Material** (siehe Abbildung 3-13)
 - I. Angeliefertes Material eines Fertigungsauftrags steht nicht am dafür vorgesehenen Anlieferplatz, ist laut System *eSFB* angeliefert und muss erst an der Linie gesucht werden (8x)
 - II. Liefertermine, welche im Zuge des Meetings *Materialhandshake* besprochen wurden werden nicht eingehalten. Die Information darüber war bei Schichtbeginn nicht verfügbar (0x)

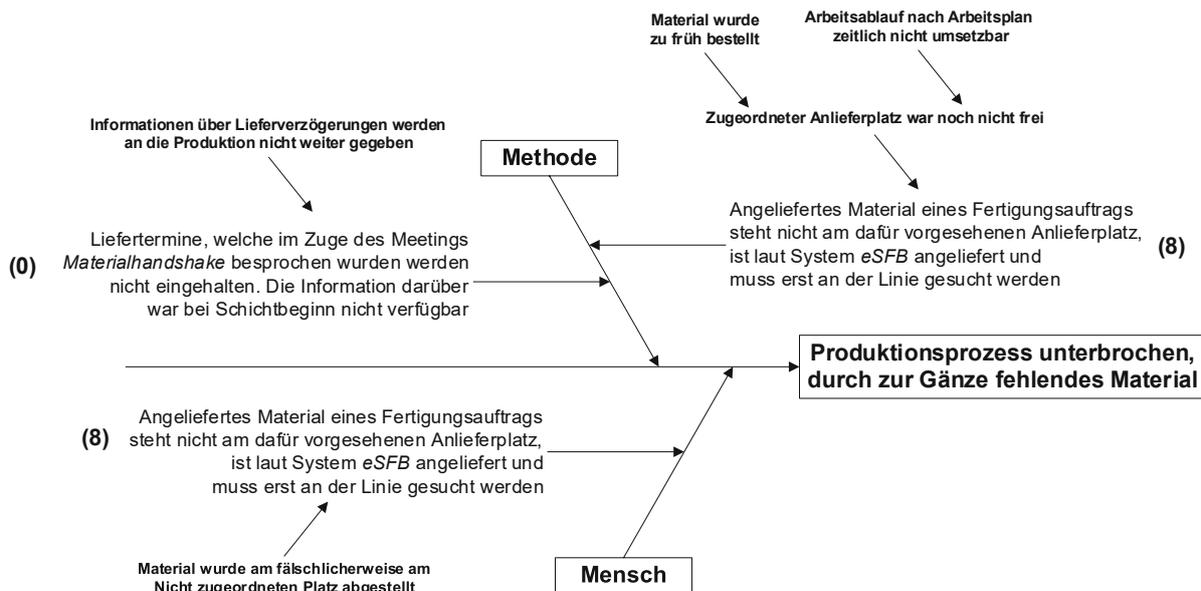


Abbildung 3-13 Ishikawa-Diagramm Problematik 1

Wie in der Abbildung 3-13 erkennbar, trat eine der Unterproblematiken acht Mal und eine in zumindest dieser Beobachtungsdauer gar nicht auf. Die analysierten möglichen Ursachen für das Entstehen dieses Problems sind angeführt. Nach Augenmerk eines *MES* ist durch die auftretende Problematik II die Aufgabe des *Informationsmanagements* offensichtlich nicht erfüllt. Die beteiligte Abteilung enthält nicht alle für den Montageprozess notwendigen Informationen, wodurch sich ein Fehlerbild bzw. eine Prozessstörung ergibt. Das Auftreten des Fehlerbilds I besitzt vielzählige Gründe, welche auf die Nichterfüllung der Aufgabe des *Materialmanagements* zurückzuführen ist (siehe Kapitel 3.2.22.1.1).

- Gruppierete Problematik: **Produktionsprozess durch Störteile behindert** (Produktionsprozess nicht zwangsweise unterbrochen aber durch fehlendes Material gefährdet) (siehe Abbildung 3-14)
 - I. Es wurden zu viel/zu wenig Teile eines Auftrags geliefert (Fehlkommissionierung) (5x)
 - II. Es wurden schadhafte Teile geliefert (qualitativ) (0x)
 - III. Fehlende Hilfsmittel. Zu Durchführung des Prozessschritt notwendige Hilfsmittel sind bei Beginn des Schritts nicht verfügbar und müssen erst angefragt werden. (24x)

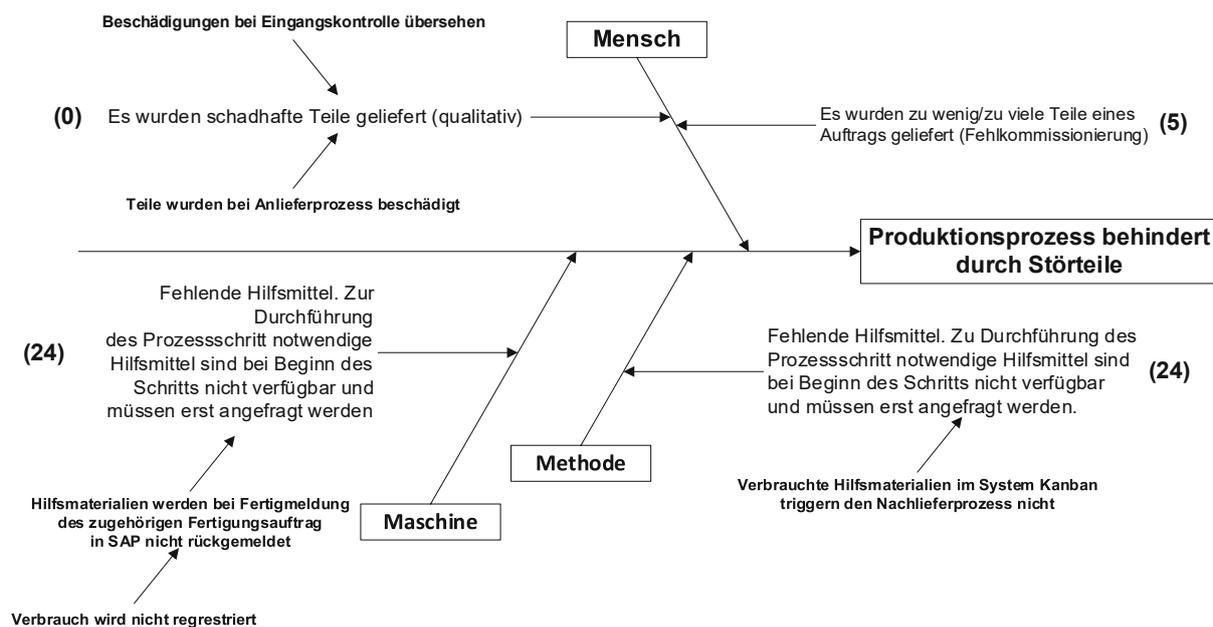


Abbildung 3-14 Ishikawa-Diagramm Problematik 2

Das Fehlen der notwendigen Hilfsmittel bei Start des Fertigungsauftrags, stellt das im Zuge der Beobachtungen, am häufigsten aufgetretene Fehlerbild dar. In 10 Werktagen trat die Problematik 24 Mal auf. Ein unzureichendes *Materialmanagement* in Kombination mit einem nicht funktionierenden *Informationsmanagement* sind hierfür die Ursachen. So werden aufgebrauchte Hilfsmaterialien nicht rückgemeldet und dadurch eine Nachlieferung nicht angestoßen (weitere Ursachen siehe Diagramm). Das in der Vergangenheit aufgetretene Liefern von schadhafte Teile wurde im Zuge dieser Beobachtung nicht festgestellt. Zur Vollständigkeit seien die möglichen Ursachen für dieses Auftreten angeführt. Das Liefern von fehlkommissionierten Aufträgen (Fehlerbild I) wurde im Zuge dieser Analyse ausschließlich auf menschliches Versagen zurückgeführt. Bei weiteren, häufigeren, Auftreten dieses Fehlerbilds in der Zukunft sollten weitere Beobachtungen erwogen werden.

- Gruppierete Problematik: **Planbarkeit nicht gegeben** (siehe Abbildung 3-15)
 - I. Es war bei Schichtbeginn nicht bekannt, ob die Anlieferungen vollständig sind oder bekannte Fehlteile beinhalten. (8x)
 - II. Wenn es zu einer Anlieferung bekannte Fehlteile gibt, war nicht bekannt, wann mit der zugeordneten *Nachlieferung* gerechnet werden kann. (8x)
 - III. Fehlende Mitarbeiter zur Abarbeitung von Arbeitsaufträgen (ungeplante Ausfälle) (3x)
 - IV. Liefertermine, welche im Zuge des Meetings *Materialhandshake* besprochen wurden, werden nicht eingehalten. Die Information darüber war bei Schichtbeginn nicht verfügbar (0x)

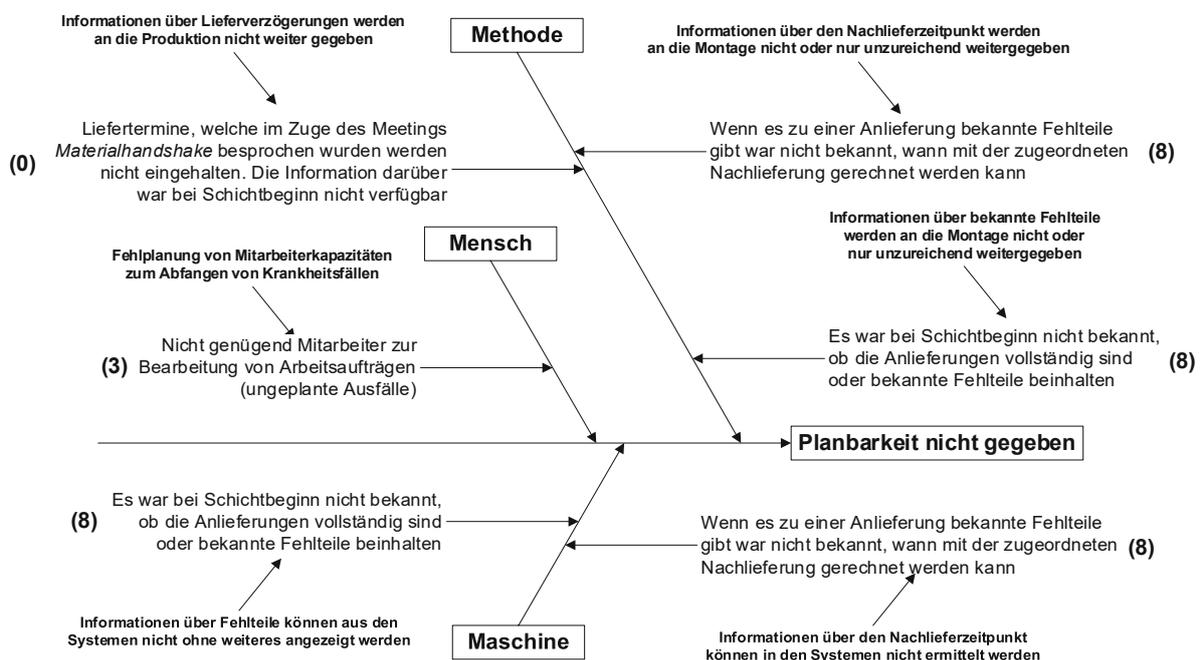


Abbildung 3-15 Ishikawa-Diagramm Problematik 3

Die Problematik der nicht realisierbaren Planbarkeit aus Sicht der Fertigung setzt sich aus vier Fehlerbildern unterschiedlicher Häufigkeiten zusammen. Das Fehlerbild IV wurde der Problematik 1 entnommen, da es auf die Planbarkeit ebenfalls Auswirkungen besitzt. Mögliche Ursachen methodischer Natur für die fehlende Information über den Vollständigkeitsgrad der Anlieferungen ist das nicht vorhandene Informationssystem (Maschine), mittels dessen die Fertigung über Nachlieferungen informiert werden kann. Aus dem gleichen Grund werden Informationen über Lieferverzögerungen nicht weitergegeben, was das Fehlerbild IV bewirkt. Informationen über den Nachlieferzeitpunkt sind derzeit nach der gelebten Methodik nicht verfügbar. Das kurzfristige Ausfallen von Mitarbeitern durch Krankenstände, welche nicht ausgeglichen werden können, dürfte ein menschliches Versagen im Zuge des *Personalmanagements* sein. Hier sollten in Zukunft unter Umständen mehr Mitarbeiter zum Abfangen von Krankenständen eingeplant werden.

- Gruppierte Problematik: **Kommunikation schwer durchführbar (Weitere Verschwendungsposten** durch schwer durchführbare aber notwendige Kommunikation mit zuständigen Stellen) (siehe Abbildung 3-16)
 - I. Rückmeldungen von Störteilen mit Problemen behaftet (Verzögerungen, Meeting nicht passend, etc.) (0x)
 - II. Notwendige Informationen für ein Meeting müssen mühsam zusammengetragen werden (0x)

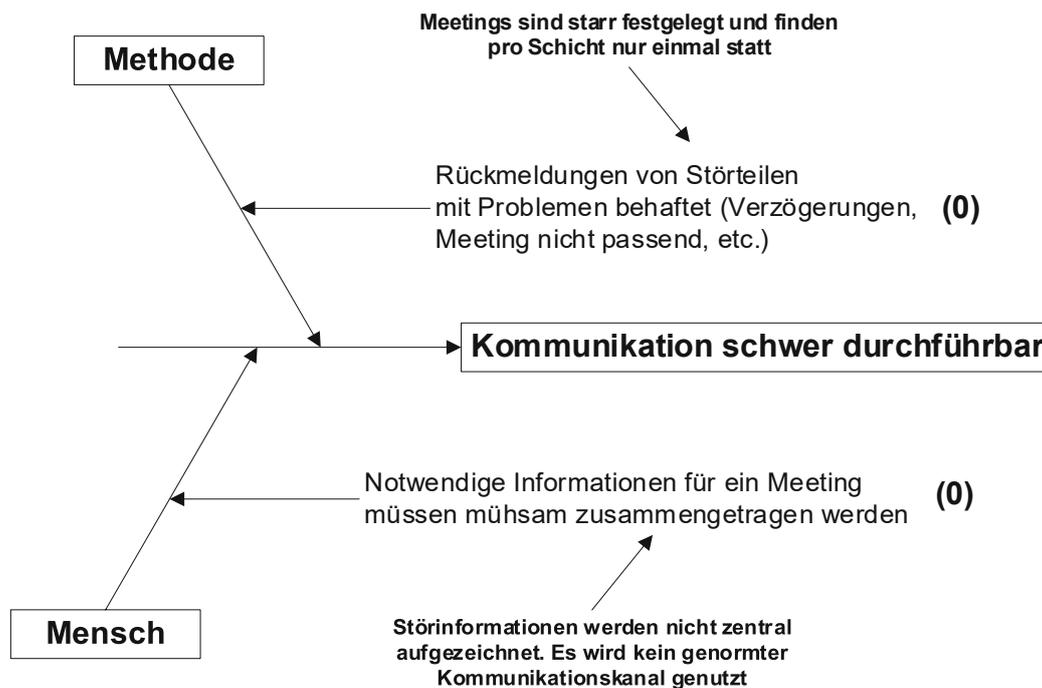


Abbildung 3-16 Ishikawa-Diagramm Problematik 4

Die zu dieser Problematik zugeordneten Fehlbilder konnten in der 9 tägigen Beobachtung nicht festgestellt werden. Ein möglicher Grund dafür könnte die Tatsache sein, dass das dafür notwendige Informationssystem nicht vorhanden ist bzw. der Montageprozess in seiner derzeitigen Form mit langen Kommunikationswegen über Meetings Akzeptanz aus Sicht der Fertigung gefunden hat. Aus den Gesichtspunkten eines MES-System nach VDI5600 könnten diese Fehlerbilder mit den recherchierten Ursachen mittels eines im Zuge eines funktionierenden *Informationsmanagements* realisierten Informationssystem gelöst werden.

3.2.2 Analyse nach Aufgaben lt. VDI5600-1

Aus dem augenscheinlichen sich darstellenden Prozessablauf soll folgend auf die nicht erfüllbaren MES-Aufgaben (nach Kapitel 2.1.1 bzw. VDI5600-1) des Zusammenspiels der Informationssysteme eingegangen werden. Da die vorgestellten Aspekte zum Teil Einfluss auf mehrere Aufgaben haben, sind diese u.U. an mehreren Aufgaben angeführt, erläutert werden diese im Detail nur einmal. Auch die Aufgaben ergänzen

sich untereinander, dennoch wurde hier versucht, möglichst nach den zehn Aufgaben zu gliedern.

1. Auftragsmanagement

Durch das ausschließliche „lokale“ Aufzeichnen des Fertigungsfortschritts (siehe Kapitel 3.1.5 Subteilnehmer Fertigungsablauf) wird dieser nicht allen Teilnehmern verfügbar gemacht. Damit ist eine Grundlage für die Erfüllung der Aufgabe *Auftragsmanagement* nicht gegeben.⁴⁹

2. Feinplanung und Feinsteuerung

Der nicht „in Echtzeit“ verfügbar gemachte Fertigungsfortschritt hat auch zur Folge, dass eine Voraussetzung zur Feinplanung nicht gegeben ist. (weiter Punkte unter anderen Aufgaben angeführt)

3. Betriebsmittelmanagement

Die Aufgabe des *Betriebsmittelmanagements* wird vom Subteilnehmer Fertigungsablauf sehr bedingt, bis kaum wahrgenommen. Es gibt keine *Datenerfassung* über die Funktionsfähigkeit der Betriebsmittel. Gleichzeitig werden Ausfälle oder Leistungsminderungen nicht im Zuge eines *Informationsmanagements* bzw. einer *Feinplanung und Feinsteuerung* berücksichtigt. Der sich ändernde Output bzw. der notwendige Materialbedarf wird den entsprechenden Teilnehmern mit einem zeitlichen Verzug frühestens im nächsten *Meeting* mitgeteilt (kein *Informationsmanagement* in Echtzeit und keine verfügbaren Daten durch eine nicht vorhandene *Feinplanung und Feinsteuerung*).

4. Materialmanagement⁵⁰

Im Zuge des Subteilnehmers *Materialisierung* wird bei Bedarf ein *Nachlieferungsauftrag* erstellt. Informationen über den Umstand der Erstellung dieser Nachlieferung selbst und der zugehörigen Fehlteile werden nicht in *Echtzeit* weitergegeben, sondern erreichen die entsprechenden Stellen erst im nächsten routinemäßig passenden Meeting. Die Aufgabe des *Materialmanagements* wird hier zum Teil nicht erfüllt. Eine weitere Tätigkeit im Zuge des *Materialmanagements* ist das termin- und bedarfsgerechte Versorgen der Fertigung mit Material. Durch den augenscheinlichen Prozessablauf kann der Materialbedarf der Fertigung nur bedingt und mit einer nicht vorhersehbaren Schwankung ermittelt werden. Da im Zuge des nicht erfüllten *Auftragsmanagement* und in weiterer Folge des *Informationsmanagement* der Fertigungsfortschritt nicht *in Echtzeit* an sämtlichen Abteilungen abzurufen ist, wird

⁴⁹ vgl. Kletti, 2007, Abschnitt 2.3.2

⁵⁰ vgl. Kletti, 2007, Abschnitt 2.8

eine zeitliche Abweichung vom Terminplan, welche u.U. einen Taktverzug hervorruft, vom Subteilnehmer der Materialisierung nur zum Teil registriert. Der Materialbedarf wird ausschließlich durch das Meeting Materialhandshake, was in diesem Gedankengang auf Informationen der Baugruppenliste (lokale handschriftliche Aufzeichnungen über den Fertigungsfortschritt) und dem Terminplan beruht, bestimmt. Die Schwierigkeiten hierbei beruhen in den unter Umständen nicht aktuellen Daten der lokalen Aufzeichnungen bzw. an sich einstellenden Störfällen (*Konflikten*), welche nicht in *Echtzeit* weitergegeben wurden. Das führt zur erwähnten, nicht vorhersehbaren Schwankung des tatsächlichen Bedarfs zum ermittelten Bedarf. Die Gründe liegen zusammengefasst in einer Kombination nicht erfüllter MES Aufgaben *Auftragsmanagement*, *Informationsmanagement*, *Datenerfassung* und *Materialmanagement*.

5. Personalmanagement

Das Personalmanagement findet im Zuge des Meetings Morgenbesprechung zum Teil Beachtung. Dabei werden die Fertigungsaufträge nach dem verfügbaren Personal und dessen Fähigkeiten bestmöglich verteilt.

6. Datenerfassung⁵¹

Die Aufgabe der *Datenerfassung* wird an verschiedenen Stellen in verschiedenen Arten und Weisen abgetan. So werden Daten über Störungen bzw. *Konflikten* aus Sicht des Subteilnehmers Fertigungsablauf ausschließlich lokal in unterschiedlichen Datentypen gespeichert. Beispiele auszugsweise hierfür sind Fotos, handschriftliche Aufzeichnungen und mündliche Überlieferungen. Der Nachteil dabei ist die nicht maschinell verarbeitbare Schnittstelle zur Informationsbereitstellung aller Teilnehmer in *Echtzeit* (Aufgabe *Informationsmanagement*).

7. Leistungsanalyse

Zur Analyse der Prozessleistung (Aufgabe Leistungsanalyse) ist im derzeitigen Prozessablauf keine Funktion verfügbar. Es gibt neben den aufgezeichneten Störfällen in der Störungsliste keine weitere Möglichkeit zur Interpretierung der vergangenen Prozessleistung.

8. Qualitätsmanagement

Das *Qualitätsmanagement* findet im Zuge dieser Arbeit keine Anwendung. Es sei zur Vollständigkeit erwähnt, dass es parallellaufende Prozesse zur

⁵¹ vgl. Kletti, 2007, Abschnitt 2.3.2

Qualitätssicherung, Qualitätsprüfung und Qualitätsvorausplanung gibt, welche im Sinne des Montageprozess aber keine direkte Einwirkung *in Echtzeit* besitzen.

9. Informationsmanagement⁵²

Die Funktionen der Teilaufgabe *Informationsmanagement* können durch unzureichende *Datenerfassung* in der gewünschten Effizienz nicht bereitgestellt werden.

Die im Montageprozess auftretenden Störfälle werden in den regelmäßig stattfindenden „genormten“ Meetings an die entsprechenden Stellen weitergegeben. Durch den Umstand, dass diese zu fix festgelegten Zeiten einmal pro Tag stattfinden, verhindert das Informieren der beteiligten Departements in *Echtzeit*. Die Aufgaben des *Informationsmanagements* und der *Feinplanung- und Feinsteuerung* können durch den Zeitverzug nicht erfüllt werden. Ebenso kann dadurch nicht simultan auf die auftretenden Ereignisse eingegangen werden, da der entsprechende *Regelkreis* im Prozessablauf fehlt. Die *Konflikte* können nicht ohne manuellen bzw. zusätzlichen, nicht im Prozess abgebildeten, Handlungen gelöst werden. Der Umstand, dass Informationen erst im Zuge eines Meetings (siehe Subteilnehmer Meeting Materialhandshake, Meeting Morgenbesprechung, Meeting Meister-Shopfloor bzw. Meeting 11 Uhr Kaskade) bereitgestellt werden zeigt also, dass die Effizienz der Informationsverarbeitung und -Verwaltung, nicht den Möglichkeiten eines MES-Systems erreicht und einen „manuellen“ Aufwand bedürfen. Das „Zusammentragen“ der Informationen widerspricht der Aufgabe des *Informationsmanagements*. Die gesamtheitliche Reaktionsfähigkeit des Montageprozess ist herabgesetzt oder bis zu einem *Meeting* komplett blockiert und die Transparenz des Prozesszustands ist nicht erkennbar.

10. Energiemanagement

Bezüglich des *Energiemanagements* konnten keine Teilaufgaben ausfindig gemacht werden.

In der Tabelle 3-1 sind zum Zwecke des besseren Überblicks die Analysen zusammengefasst angeführt. In der ersten Spalte wurde die Definition (siehe Kapitel 2.1.1), in der zweiten die Ergebnisse der oben durchgeführten *Gap-Analyse* und in der dritten die daraus abgeleiteten Maßnahmen zusammengefasst. Die Maßnahmen werden im Kapitel 4.1 detailliert ausgeführt.

⁵² vgl. Kletti, 2007, Abschnitt 2.8.2 und 2.8.3

Aufgaben	Vorgaben VDI5600-1	Gap-Analyse	Vorgeschlagene Maßnahmen
Auftragsmanagement	Auftrag verfolgen und mit Informationen ergänzen	Fertigungsfortschritt nur lokal aufgezeichnet	Informationssystem in den Prozessablauf integrieren; Fertigungsfortschritt aufzeichnen
Feinplanung und Feinsteuerung	Steuern des Arbeitsvorrats durch Echtzeitinformationen	Nicht machbar durch fehlende <i>Echtzeitinformationen</i>	Informationssystem in den Prozessablauf integrieren und Informationen interpretieren; Arbeitsplanung muss Schichtgenau erfolgen (Kap.4)
Betriebsmittelmanagement	Sicherstellung der Termin- und bedarfsgerechten Verfügbarkeit der Betriebsmittel	Ausfälle/ Störungen werden nicht aufgezeichnet und in Echtzeit verfügbar gemacht	Informationssystem in den Prozessablauf integrieren; Störungen aufzeichnen
Materialmanagement	Sicherstellung der Termin- und bedarfsgerechten materiellen Ressource	Bedingt erfüllt durch fehlende Informationen des Auftragsmanagements in Echtzeit	Informationssystem in den Prozess integrieren, welches einerseits den Auftragsstatus bereitstellt und über Materialisierungsgrad informiert
Personalmanagement	Sicherstellung der Termin- und bedarfsgerechten personellen Ressource	Für den beobachteten Prozess ausreichend erfüllt	keine
Datenerfassung	Andere Teilprozesse mit Informationen versorgen	Aufzeichnung erfolgt nur lokal, kein Informationsfluss in Echtzeit	Informationssystem integrieren und Schnittstellen zu anderen Teilsystemen bereitstellen
Leistungsanalyse	Leistung des Prozesses in Echtzeit aufnehmen und darstellen	Im augenscheinlichen Prozess keine Möglichkeit zur Leistungsanalyse in Echtzeit	Interpretation und Darstellung des in Echtzeit aufgezeichneten Fertigungsstatus
Qualitätsmanagement	Aufgaben zur systematischen Verbesserung der Produkt- und Prozessqualität	Wird im Zuge dieser Arbeit nicht betrachtet	Wird im Zuge dieser Arbeit nicht betrachtet

Informationsmanagement	Aus gewonnenen Informationen neue ableiten und anderen Teilnehmern zur Verfügung stellen	Unzureichende Datenerfassung in Echtzeit. Kein Inf.-M. möglich	Manuellen Aufwand des Informationsmanagement verringern durch einzuführendes Informationssystem
Energie-management	Energieverbrauch des Prozesses durch Planung optimieren	Keine Funktion verfügbar	Wird im Zuge dieser Arbeit nicht betrachtet

Tabelle 3-1 Zusammenfassung der Gap-Analyse und vorgeschlagener Maßnahmen

Aufgaben, welche im Sinne einer MES-Systematik erfüllt werden und vom augenscheinlichen Prozess bereits bedient werden, sollen folgend erwähnt werden. Dies soll sicherstellen, dass der zu planende Prozess die Stärken der augenscheinlichen Montage forciert und ergänzt, ohne diesen von Grund auf neu zu implementieren und Synergien zu nutzen bzw. Widerstände menschlicher Natur besser bewerkstelligen zu können.⁵³

So bedient das Lagerkommissionierungssystem *LOGOS* in Kombination mit dem Buchungssystem *Prodlog* die Aufgabe des *Materialmanagements* zum großen Teil. Liefert man diesem den tatsächlichen Materialbedarf *in Echtzeit* und gibt die Informationen eines *Nachlieferauftrags* automatisiert über eine noch zu entwickelnde Schnittstelle an den Montageprozess weiter, können die Aufgaben des *Materialmanagements* erfüllt werden.

Das Rückmelden der fertiggestellten Fertigungsaufträge an der *Baugruppenliste* ist ein Schritt zur Erfüllung des *Auftragsmanagements*. Das Problem hierbei ist das Informieren aller beteiligten Abteilungen über den Status des Abarbeitungsgrades, welches mit einer analog ausgefüllten Liste schwer zu realisieren ist. Es sollte hier ebenfalls eine Schnittstelle in Erwägung gezogen werden, die das *Informationsmanagement* wahrnehmen kann. Eine Problematik ergibt sich hierbei allerdings aus der Tatsache, dass Fertigungsaufträge zum Teil in der Dauer mehr als eine Schicht überschreiten. Im Sinne einer *Leistungsanalyse* und vor allem um die Grundlage des *Materialmanagements*, also den Abarbeitungsgrad und daraus den künftigen Materialbedarf, jeder Schicht zu ermitteln kann damit nicht bzw. nur in einem Graubereich durchgeführt werden.

Die Dokumente der „lokalen Ablage“ würden einen Charakter des *Informationsmanagements* besitzen, würde man diese *in Echtzeit* aktuell halten und zentral abrufbar machen. Unter anderem müssten Informationen über *Störfälle* augenblicklich an die entsprechenden Abteilungen weitergeleitet werden.

⁵³ vgl. Lang/Wagner, 2020, Abschnitt 2.3.5

Das Meeting des Materialhandshakes erfüllt notwendige Aufgaben des *Materialmanagements*, *Informationsmanagements* und des *Auftragsmanagements*. Der genormte Ablauf des physischen Zusammentreffens der beteiligten Personen kann mittels eines zu entwickelnden Informationssystems unterstützt bzw. in einem weiteren Schritt die Tätigkeiten dieses vollständig übernommen werden. Anstatt fertiggestellte Fertigungsaufträge nur lokal zu speichern, könnten diese in einem System hinterlegt und eingetragen werden, der Status des Montageprozesses erhoben und der künftige Materialbedarf ermittelt werden. Damit wäre die Grundlage des Meetings Materialhandshake gegeben und die Information dafür *in Echtzeit* verfügbar. Hinterlegt man außerdem zugehörige Störfälle, könnte die weiteren Tätigkeiten ebenfalls automatisiert werden. Weitere Ausführungen hierzu sind dem Kapitel 3.1.5 zu entnehmen.

3.2.3 Messung der Prozessperformance

Um den Prozess abschließend zu quantifizieren, wird die Prozessleistung an Hand von messbaren Größen festgemacht. In weiterer Folge liefert das die Grundlage zur Validierung des Artefakts. Zur besseren Darstellung ist dieser Teil der Dokumentation gemeinsam mit der Prozessperformance des „neuen Prozesskonzepts“ im Kapitel 6, „Validierung des Artefakts“, angeführt.

4 Soll-Konzept für das operative Fertigungsmanagement

Aus der aufgenommenen Ist-Situation des zu untersuchenden Prozesses soll nach den Augenmerkern eines MES-fähigen Prozessablaufs mit zugehörigem Informationssystem ein konzeptioneller Ablauf geplant werden, der die zehn Aufgaben nach VDI5600-1 bedienen und dementsprechend nutzen kann. Unter Betrachtung der in der Vergangenheit aufgetretenen Probleme und der Analyse im Kapitel 3.2 wird hier ein Prozess eingeführt, der die Möglichkeiten bietet diese Schwierigkeiten bzw. Problematiken und Fehlerbilder zu eliminieren oder dessen Auswirkungen unterstützend zu verringern.

4.1 Maßnahmen zur Erfüllung der Aufgaben nach VDI5600-1

Die im Kapitel 3.2.2 besprochen nicht erfüllten Aspekte der Aufgaben, welche sich aus der Interpretation des Prozessablauf und der Beobachtungen (Kapitel 3.2.1) ergeben, sollen hier zusammengefasst und dargelegt werden, wie diese ausgemerzt werden können. Darauffolgend werden Lösungen vorgeschlagen, die zur Erfüllung der Aufgaben eines MES nach VDI5600 beitragen sollen, die Effizienz des Prozesses steigern und eine verlässliche Performance sichern.⁵⁴

4.1.1 Arbeitsplanung und Materialisierung

Beim beobachteten Prozess kam es in der Interpretation sowie bei der Aufzeichnung der Problematiken zu Schwierigkeiten wie: „Anlieferungen stehen am falschen Anlieferplatz und müssen erst gesucht werden“; „Zu Anlieferungen zugeordneter Lagerplatz war bei Anlieferung nicht frei“, „Die Schichtleistung ist nicht messbar, da Fertigungsaufträge über mehrere Schichten gehen und nicht rückgemeldet werden können (Teilrückmeldungen)“ (der Problematik **Produktionsprozess unterbrochen, durch zur Gänze fehlendes Material** zugeordnet). Diese Umstände sind (zum Teil) auf die Arbeitsorganisation nach *Fertigungsaufträgen* zurückzuführen, welche sämtliches Material (Stückliste) zugeordnet haben und aufgrund des Umfangs in manchen Fällen über mehrere Schichten abgearbeitet werden (siehe Kapitel 3.1.2). Der Umstand, dass die gesamte Menge an Materialien bei Schichtbeginn des zugeordneten Fertigungsauftrags angeliefert wird aber zum Teil erst in den darauffolgenden Schichten eingebaut wird führt zu Lieferplatzblockaden. In der kommenden Schicht soll bereits das Material des nächsten gestarteten Fertigungsauftrags angeliefert werden, dessen zugeordneter Anlieferplatz ist allerdings durch das Materials des Vorauftrags blockiert. Da es nur einen zugeordneten Platz gibt wird in weiterer Folge das Material „in der näheren Umgebung“

⁵⁴ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 2

abgestellt. Da dies nicht genauer definiert werden kann und der Fertigung nicht mitgeteilt wird ergeben sich daraus die oben erwähnten Verschwendungen bzgl. dem fehlenden Material.

Ein weiterer Aspekt in diese Richtung ist das Verfeinern der Arbeitspakete auf die Dauer von maximal einer Schicht. Wenn Arbeitsaufträge (Fertigungsaufträge) länger als eine Schicht dauern kann im Sinne einer *Leistungsanalyse* (**Fortschrittscontrolling**) der Abarbeitungsfortschritt nur in einer groben Auflösung dargestellt und analysiert werden. Weiterführend resultiert in der internen Kostenrechnung eine Unschärfe, da sich die Mitarbeiterzuteilung ändert und der Stundenbezug über einen Verrechnungsschlüssel hergestellt werden muss (das Aufteilen der Stunden zwischen den beteiligten Mitarbeitern).

Nach den Augenmerkern des *Personalmanagements* dürfte eine Arbeitsorganisation auf schichtgenaue Pakete ebenfalls zu Synergieeffekten und einer genaueren Planungsgrundlage führen.

Um die dargelegte Schwachstelle zu lösen und die Aufgaben der Leistungsanalyse und des Materialmanagements besser zu verrichten muss ein System eingeführt werden, in Folge dessen Arbeitspakete maximal eine Schicht lang dauern und diesen das Material eindeutig zugeordnet ist. Ein Lösungsvorschlag hierfür wäre das Arbeiten und Materialisieren auf *Vorgangsebene*. Damit ist das Arbeiten, Rückmelden und Materialisieren mittels der bereits angelegten Vorgänge gemeint. Da Vorgänge maximal eine Schicht dauern und bereits angelegt sind wäre hier Organisatorisch kein unverhältnismäßig großer Aufwand von Nöten. Es müsste die Materialzuordnung von den Fertigungsaufträgen hin zu den Vorgängen umgestellt werden. Ein zweiter analysierter Lösungsvorschlag wäre das Verkleinern der Fertigungsaufträge auf die Dauer maximal einer Schicht. Da auch hier das Material mittels eines Schlüssels aufgeteilt werden müsste und diese neu angelegt werden müssten dürfte im Zuge dieser Lösung allerdings ein größerer Aufwand von Seiten der Arbeitsorganisation notwendig sein.

4.1.2 Transparenz über den Fertigungsstatus⁵⁵

Eine an mehreren Stellen der Prozessanalyse ausfindig gemachte Problematik war die nur über großen Aufwand realisierbare Kommunikation zwischen den Abteilungen der Fertigung und der Materialisierung. Gemeint damit ist der notwendige Informationsfluss zur Weitergabe des Fertigungsstatus und damit die laut Arbeits- und Terminplan in 96 Stunden abzuarbeitende Fertigungsaufträge bzw. Vorgänge (siehe Kapitel 3.1.5 Abschnitt Materialisierung). Aufwändige Abläufe (Meetings, beschrieben im Kapitel 3.1.5 Abschnitt Materialhandshake, Meister-Shopfloor und 11 Uhr Kaskade) zur Feststellung dieses Status erzeugen Verschwendung und Effizienzverluste

⁵⁵ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 4.1 und Abschnitt 4.1.7

(ausgeführt im Kapitel 2.2). Die Art und Weise, wie dieser Status ermittelt wird, erzeugt außerdem eine gewissen Unschärfe zum tatsächlichen Status (Analyse dazu im Kapitel 3). Der in 96 Stunden fällige Materialbedarf im Prozess der Fertigung triggert im System *Prodlog* den Materialisierungsprozess (siehe Kapitel 3.1.5 Subteilnehmer Meeting Materialhandshake). Aufgrund dieses Umstands ist es unabdingbar einen **transparenten Status über den Fertigungsfortschritt** allen Subteilnehmern über ein Informationssystem **in Echtzeit** verfügbar zu machen. Um die Aufgabe des *Informationsmanagements* auszubauen und die Grundlage für das Erfüllen der Aufgabe des *Auftragsmanagements* zu liefern ist es erforderlich ein Informationssystem zur Verfügung zu haben, indem einerseits vom der Subteilnehmer der Fertigung die Vorgänge rückgemeldet werden und andererseits der Subteilnehmer der Materialisierung über den Abarbeitungsgrad informiert wird, um den Materialbedarf im Sinne einer *Frozen-Zone* (siehe unten) für die nächsten 96 Stunden festzulegen und die Anlieferungsaufträge anzustoßen.

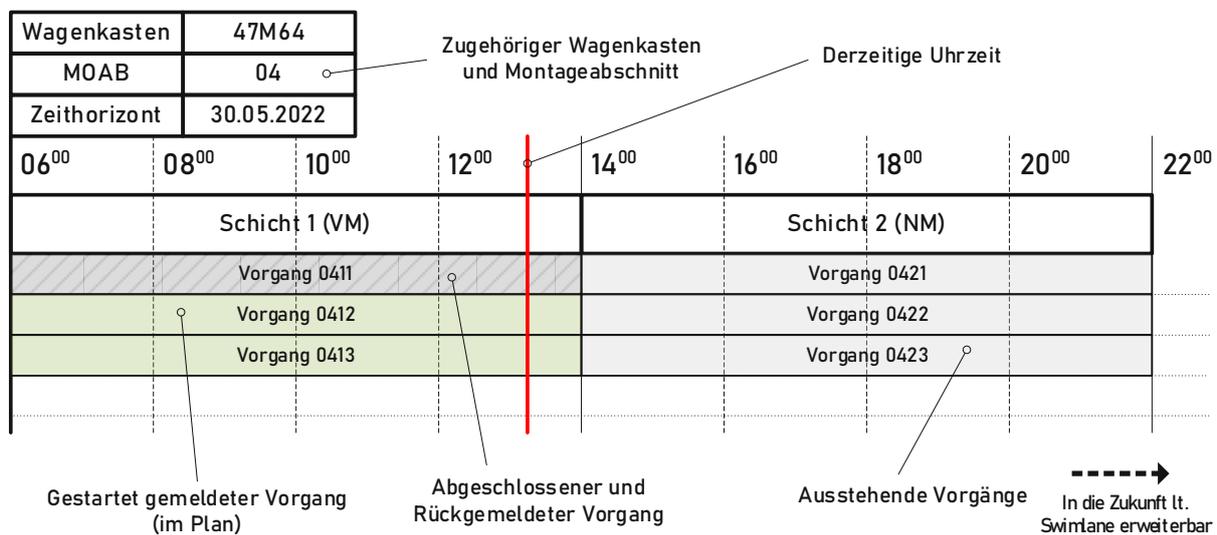


Abbildung 4-1 Verfügbare Informationen durch ein solches Rückmeldesystems (konzeptionell)

Es soll ein Informationstool geschaffen werden, welches die Vorgänge pro Wagenkasten und Stellplatz/Montageabschnitt laut Arbeitsplan anzeigt und mit den Zeitdaten des Terminplans ergänzt. Als Ergebnis resultiert ein Soll Beginn und Soll Ende eines jeden Vorgangs (Darstellung siehe Abbildung 4-1). Die Rückmeldedaten der Fertigung ergänzen darauf aufbauend einen Ist-Beginn und anschließend ein Ist-Ende. Durch Abgleich, ob der Abarbeitungsstatus noch innerhalb des Terminplans liegt (kein Verzug laut Terminplan vorliegt), kann mit einer darauffolgenden Analyse die sog. *Frozen-Zone*⁵⁶ erzeugt werden. Indem mit Schichtende der Fertigungsstatus abgerufen und überprüft wird, ob dieser dem Terminplan entspricht (Beispiel siehe Abbildung 4-2) oder sich ein Verzug einstellen wird (Terminverzug wie in Abbildung 4-3), wird der Materialbedarf für die 96 Stunden Zukunft generiert. Wurde der

⁵⁶ vgl. Klug, 2010, Abschnitt 9.6.2

Materialbedarf eindeutig festgelegt darf wird dieser nicht mehr beeinflusst. Damit ist die sog. *Frozen-Zone* gemeint (nach dem Vorbild der Produktionslogistik in der Automobilbranche).

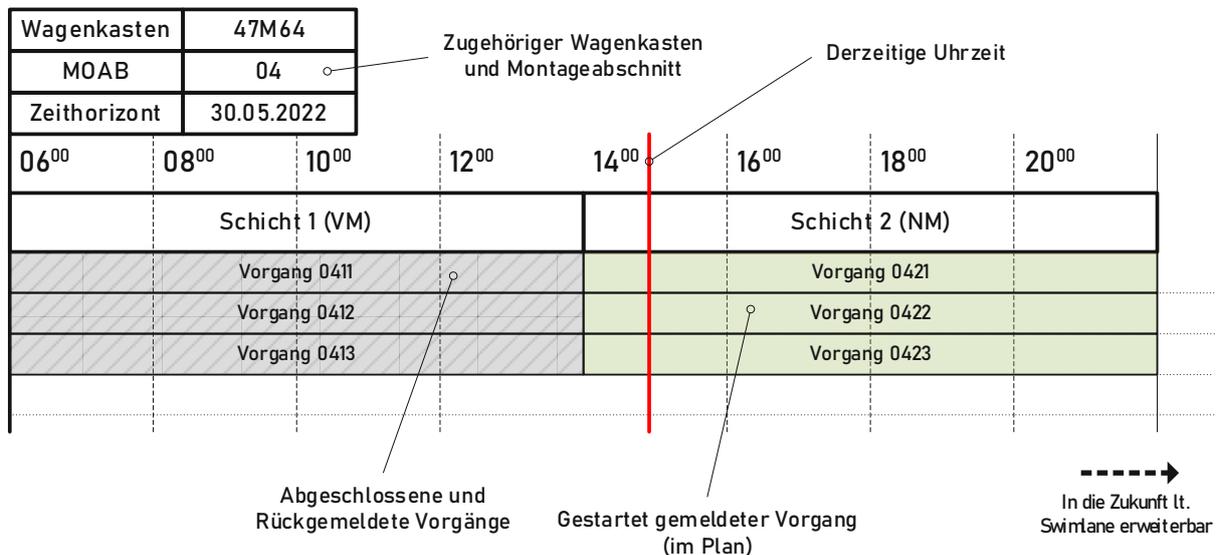


Abbildung 4-2 Beispiel für erfüllten Terminplan (Frozen Zone laut Terminplan)

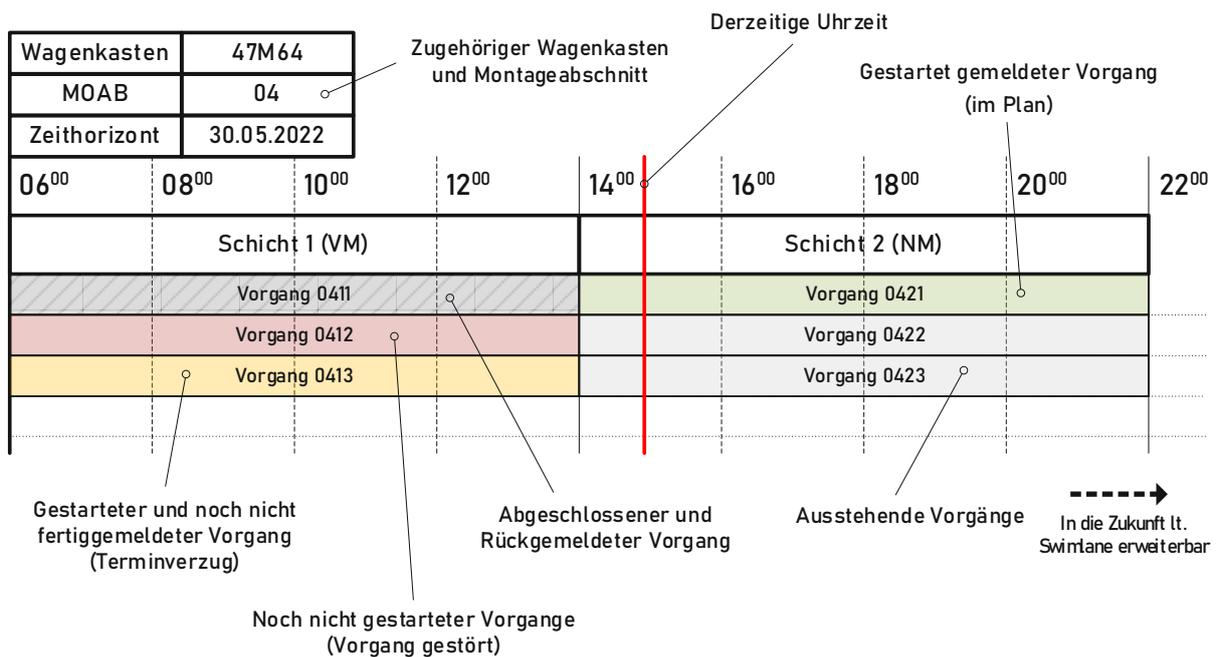


Abbildung 4-3 Beispiel für Terminverzug (Frozen Zone muss überdacht werden)

Mittels dieses Informationssystems wird ein **transparenter Status über den Abarbeitungsstatus** und **dem Einhalten des Terminplans** aufgezeichnet und allen Abteilungen *in Echtzeit* verfügbar gemacht. Der Subprozess des Meetings ist zum Teil ein Resultat des Fehlens der Information über eben diesen Status und kann mit Hilfe dieser Möglichkeiten effizienter gestaltet und zum Teil eliminiert werden. Die Vielfalt und der Umfang an **lokalen Aufzeichnungen** kann ebenfalls gesenkt und die Daten leichter *in Echtzeit* aktuell gehalten werden. Die Aufgabe des

Informationsmanagements, die Grundlage des *Auftragsmanagements* und zum Teil der *Feinplanung und Feinsteuerung* kann mit dieser Maßnahme besser wahrgenommen und genutzt werden. Ergänzend dazu werden durch die Aufzeichnung der Start- und Fertigmeldezeitpunkte, Aufgaben der *Leistungsanalyse* im Sinne eines **Fortschrittscontrolling** bzw. einer **Termin- und Takttreue Messung** realisiert.

Die Realisierung eines solchen Rückmeldetools wird im Kapitel 4.2.1 ausgeführt.

4.1.3 Kommunikationskanal der Materialverfügbarkeit⁵⁷

In diesem Abschnitt wird die Abhilfe der Problematik „**Planbarkeit nicht gegeben**“ behandelt. Die Wurzel der Schwierigkeiten der darin gelisteten Fehlerbilder liegt in der nicht ordnungsgemäß durchgeführten Kommunikation bzw. Weitergabe der Informationen zwischen den Subteilnehmern der Materialisierung und Fertigung. So ist es augenscheinlich erkenntlich, dass das System LOGOS Information über das Auftreten von Nachlieferungen eines Anlieferungsauftrag bereithält, diese aber nicht teilt. So wird aus Sicht des Teilnehmers Materialisierung ein Anlieferungsauftrag durchgeführt, erfolgreich rückgemeldet und damit abgeschlossen. Der Subteilnehmer der Fertigung wird nicht über potentielle Nachlieferungen informiert, sondern erhält die Information, dass der Anlieferauftrag erfolgreich abgeschlossen wurde. Es gibt also keinen **Status über die Vollständigkeit** der Anlieferungen. Erst im Zuge der Abarbeitung werden sogenannte Störteile entdeckt, welche im Zuge folgender Meetings besprochen werden müssen und eine Störung des Ablaufs mit sich bringen. Die Planbarkeit kann durch diese fehlende Information nicht gegeben sein, da sämtliche Anlieferungen in erster Linie als Vollständig angenommen und die volle Mitarbeiterkapazität zugeordnet werden.

Es soll zur Lösung eine Möglichkeit geschaffen werden, mit Hilfe dessen automatisiert Vollständigkeitsmeldungen über die Anlieferungen an den Subteilnehmer der Fertigung weitergeleitet werden. Beim Abrufen des nach Arbeitsplan für diese Schicht festgesetztes Arbeitsziel kann dieses mit den Daten der Materialverfügbarkeit ergänzt werden. Resultat ist ein tatsächlich bearbeitbares Arbeitsziel für diese Schicht. Sollten bestimmte Vorgänge nicht vollständig Materialisiert und mit Nachlieferaufträgen versehen sein, muss zur Erfüllung der Planbarkeit ein Zeithorizont der Nachlieferung angegeben werden (zur Klärung der Frage, ob dieser Vorgang noch in derselben Schicht bearbeitet werden kann oder nicht). Zu einer weiteren Verbesserung kommt es, wenn die Fehlteile zum jeweiligen Vorgang angezeigt werden. Fehlen beispielsweise untergeordnete Teile bzw. Materialien, die in der Arbeitsfolge des Vorgangs erst nach dem Nachlieferhorizont eingebaut werden, können auch diese im Zuge einer Arbeitseinteilung als vollständig angesehen werden und die Mitarbeiterkapazitäten dementsprechend verteilt werden.

⁵⁷ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 4.6.3 und Abschnitt 4.1.7

Die Entwicklung dieser Informationsschnittstelle führt weiters zur Erfüllung, Unterstützung und Nutzung der Teilaufgaben des *Materialmanagements*, der *Feinplanung und Feinsteuerung* und des *Personalmanagements*.

4.1.4 Kommunikationskanal der Störfälle und des Montageabschnittsstatus

Der Umstand, dreier notwendiger Meetings, zur Kommunikation der Störfälle zu den beteiligten Stellen, zeigt unter anderem das Fehlen eines Kommunikationskanal um die im Zuge dieser Subteilnehmer durchgeführten Tätigkeiten zu unterstützen und zum Teil zu automatisieren bzw. zu ersetzen.

Zur Bedienung der Teilaufgabe des *Informationsmanagements* im Sinne einer MES-Automatik muss eine Möglichkeit zur Meldung entdeckter Störfälle gefunden werden, die die notwendigen Abteilungen *in Echtzeit* erreicht, um Maßnahmen zur Entstörung einzuleiten. Störfälle werden vom Subteilnehmer der Fertigung entdeckt und folglich auch von diesem gemeldet. Werden Störungen entdeckt wird nach dem augenscheinlichen Prozessablauf beim nächsten Meeting *Materialhandshake* der Informationsfluss zur Meldung der Störung und Ergreifung der Entstörungsmaßnahmen eingeleitet. Kann das Problem auf der Ebene der beteiligten Mitarbeiter nicht gelöst werden, wird die Störung auf die höheren Ebenen schrittweise „eskaliert“ (siehe Kapitel 3.1.5 Subteilnehmer Meeting Meister-Shopfloor und 11Uhr Kaskade).⁵⁸

Ein System, welches Teile dieser Tätigkeiten automatisiert muss ohne manuellen Aufwand Informationen über die Vorgänge hinterlegt haben, über dessen Stücklisten Bescheid wissen und die Störfälle hinterlegen können. Wird ein Störfall gemeldet, soll der Bediener nicht über manuellen Aufwand das jeweilige Teil und den zugehörigen Vorgang recherchieren müssen, sondern „auf Knopfdruck“ den Störfall melden können. Wird ein *Störfall* zu einem Teil gemeldet soll ein dementsprechender Informationsfluss initiiert und die Entstörung eingeleitet werden (Konzept siehe Abbildung 4-4). Die Wahl des Störfalls bestimmt dabei den Ablauf des einzuleitenden Entstörungsprozess. Ein Störfall kann z.B. nach unzureichender Qualität des Teils oder dem gänzlichen Fehlen in der Anlieferung, gewählt werden.⁵⁹

⁵⁸ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 3.1.1 - Materialdisposition

⁵⁹ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 3.1.1 - Meister

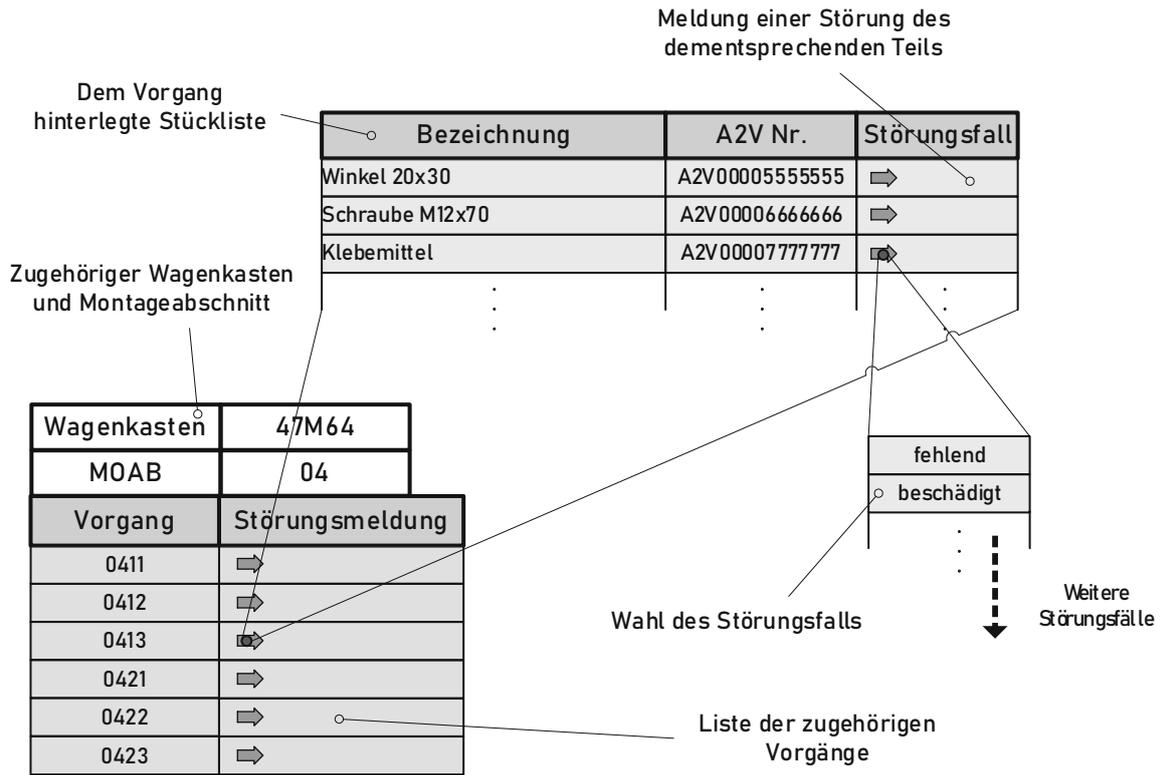


Abbildung 4-4 Konzept eines Informationstools zur Störungsmeldung

Im Sinne einer *Feinplanung und Feinsteuerung* sind grundlegende Voraussetzungen gegeben, um dem Wagenkasten bzw. einem Montageabschnitt/Stellplatz einen **Status der Störung** zuzuweisen. Ist ein oder sind mehrere Störungsfälle an einem Wagenkasten gemeldet worden verfällt der Status an diesem Abschnitt zu *Ablauf gestört*, bis die entsprechenden Entstörungsmaßnahmen abgeschlossen wurden. Wird kein Störfall gemeldet und die Vorgänge werden planmäßig abgearbeitet wird der Status „in Plan“ gesetzt (siehe Abbildung 4-5). Dazu ergänzend können die Informationen des Transparenz über den Fertigungsstatus genutzt werden, um die Status mit Termininformationen zu ergänzen. Kommt es zu einem verzögerten Beginn oder Abschluss des geplanten Vorgangs wird der Status „*Terminverzug*“ im Zuge der Statusinformationen gesetzt.

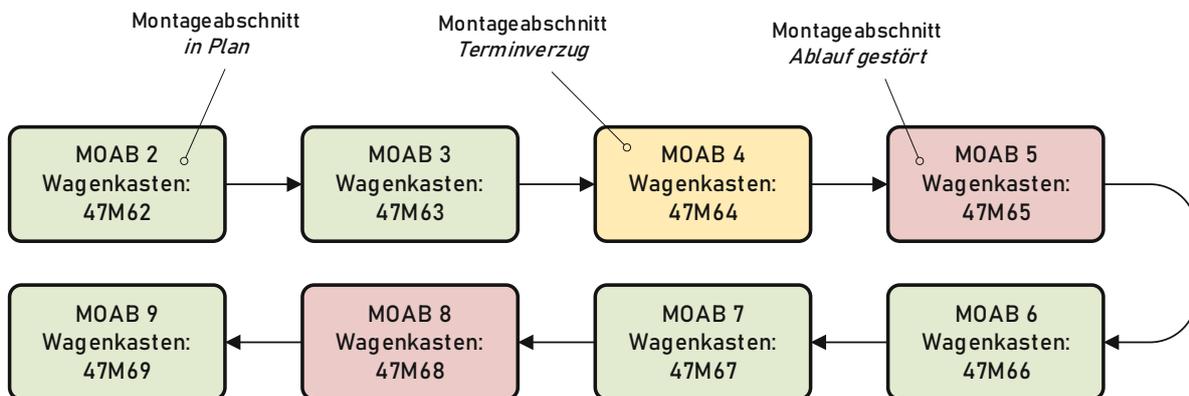


Abbildung 4-5 Konzept der Montageübersicht mit Statusinformationen

4.1.5 Effizienzsteigerung manueller Kommunikationstätigkeiten (Meetings) und Elimination lokalen Dokumente⁶⁰

Die vorgestellten Kommunikationskanäle zur **teilautomatisierten** Übermittlung und Aufzeichnung von Fertigungsfortschritt (Kapitel 4.1.2), Materialverfügbarkeit (Kapitel 4.1.3) und Störfällen (Kapitel 4.1.4) bergen Potential zur Effizienzsteigerung, Beschleunigung und Einsparung der routinemäßig stattfindenden Meetings. Aus demselben Grund würden lokal gespeicherte/abgelegte Dokumente durch eine effizientere, leichter *in Echtzeit* aktuell zu haltende Informationsspeichermöglichkeit ersetzt werden können.

Das Meeting *Morgenbesprechung* kann bessere Ergebnisse erzielen durch die *in Echtzeit* verfügbare Information über den Materialisierungsgrad der laut Terminplan abzuarbeitenden Vorgänge. Durch Abgleich der augenscheinlich verfügbaren Mitarbeiterkapazität können Personalressourcen in letzten Anpassungen bestmöglich eingesetzt werden. Durch die Aufzeichnung und Zuordnung des Personals zu Vorgängen können notwendige Faktoren der internen Kostenrechnung, wie in diesem Fall die Zuordnung der Ressource Personal zu den passenden Kostenträgern, realisiert werden. Die handschriftlichen lokalen Aufzeichnungen des Tagesziels mit zugeordneten Mitarbeitern im lokalen Dokument der **Baugruppenliste** kann eingespart werden.

Das Meeting *Materialhandshake* wird durch die vorgestellten Maßnahmen umfassend unterstützt. Einerseits ist zum Anstoßen der Materialbestellung, des Ermitteln des Materialbedarfs, der Fertigungsfortschritt „auf einem Blick“ abrufbar. Es ist nicht mehr von Nöten, zwischenmenschliche, handschriftliche oder sonstige lokale Aufzeichnungen zu führen. Jeder beteiligte kann den Fortschritt in Echtzeit einsehen, sodass auch kurzfristige Anpassungen, abseits dieses routinemäßigen Meetings, möglich sind. Andererseits können Störfälle jederzeit über den einzuführenden Kommunikationskanal gemeldet werden, wodurch weiterführende Maßnahmen sofort eingeleitet werden können. Der Ablauf zur Störungsklassifizierung und Beurteilung kann teilautomatisiert durchgeführt werden. Große Teilaspekte erfordern kein Meeting mehr, sondern werden simultan abgearbeitet werden können. Eine routinemäßige Besprechung der Störfälle ist nur bei Priorisierung untereinander oder der Eskalation auf die nächst höhere Befugnis-Ebene von Nöten. Diese Tätigkeiten könnten im Zuge des Meetings *Meister-Shopfloor* durchgeführt werden. Das lokale Dokument der **Störungsaufzeichnungen** kann im Zuge dieser Verbesserungsmaßnahme eingespart werden.

Die Meetings *Meister-Shopfloor* und *11Uhr Kaskade* können durch vorangegangene teilautomatisierte Informationsflüsse (wie oben beschrieben) und der Verfügbarkeit der

⁶⁰ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 4.1.7

Störungsinformationen *in Echtzeit* in ihrer Effizienz gesteigert werden. Im Zuge dieser Meetings sollen nur mehr Störfälle besprochen werden, deren Notwendigkeit dies erfordert.

4.2 Soll-Konzept des optimierten Prozessablaufs unter Berücksichtigung der vorgestellten Maßnahmen

Analog zur Vorstellung des Ist-Zustands des Prozesses an Hand der Teilnehmer wie im Kapitel 3.1.7, soll hier der konzeptionelle Prozessablauf mit den eingeführten Verbesserungsmaßnahmen nach den Augenmerkern eines MES-fähigen Informationssystem, ausgeführt werden. Die Kombination aus den vorgestellten Maßnahmen soll zu einem rentableren Prozess, einer schlankeren („lean“) Montage und schlussendlich zu konkurrenzfähigeren Produkten führen (siehe Kapitel 2.2). Das Zusammenwirken und die praktische Umsetzungsmöglichkeiten werden folgend erläutert.

4.2.1 Umsetzung der Kommunikationskanäle (Material Communicator)

Die in den Kapiteln 4.1.2 bis 4.1.5 eingeführten Vorschläge bedürfen in ihrer Ausführung einen Kommunikationskanal, der den notwendigen Informationsfluss teilautomatisiert an die beteiligten Stellen bewerkstelligt (Verbesserungsmaßnahme zur Erfüllung des *Informationsmanagements*). Die ausgeführten Informationsflüsse ergänzen sich in Ihrer Gesamtheit zu einer Informationsquelle der Fertigung in Bezug auf den Materialisierungsgrad (*Materialmanagement*), ergänzt mit Rückmeldedaten des Fertigungsgrads und entdeckter Störfälle. Zur Bedienungsfreundlichkeit und zur Verhinderung redundanter Systeme werden alle Funktionen in einer Kommunikationseinheit, genannt *Material Communicator*, realisiert. Die Einheit soll in einfacher Handhabung von Teilnehmern der Fertigung bedient werden können. Die „Teilnehmer der Fertigung“ sind nach dem „Anwendungsorientierten Informationsbedarf nach Kletti (2015)“ Werker und Meister⁶¹. Nach Vorgaben MES soll die gesamtheitliche Lösung

- der Anzeige des Materialisierungsgrads,
- der Ausgabe der zugeordneten Fehlteile,
- der Angabe des Nachlieferhorizonts,
- der Anzeige des Ladungsträgerplatzes,
- der Rückmeldung von *Störteilen*,
- der Meldung von Start- und Fertigstellungszeitpunkten,
- das Eintragen von zuständigen eingeteilten Mitarbeitern,

⁶¹ vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 3.1.1

- und das Setzen aus diesen Informationen resultierender *Status* des Vorgangs (siehe 4.1.2)

realisiert werden. Eine Darstellung der konzeptionellen Oberfläche des *Communicators* ist der Abbildung 4-6 zu entnehmen.

In einer Auswahl des Wagenkastens und des Montageabschnitts (automatisiert oder manuell) wird eine Liste der diesen Abschnitt zugeordneter Vorgänge geladen und angezeigt. Ergänzt mit weiteren Informationen über Fehlteile und des Logos-Status kann der Materialisierungsgrad des Vorgangs ermittelt werden. Ist der zugehörige *LOGOS-Status* auf "1" und dem Vorgang keine *Fehlteile* zugeordnet wird der Materialisierungsgrad „vollständig“ angezeigt. In allen anderen Fällen ist der Vorgang als „unvollständig“ materialisiert anzusehen. Zur Beurteilung der Auswirkung der *Fehlteile* können diese über eine hinterlegte Liste eingesehen werden. Das Zusammenführen und Ermitteln der Fehlteile kann über das System *eSFB* realisiert werden und wird im folgenden Abschnitt erläutert. Gibt es Fehlteile soll ein dazu gehöriger Nachlieferhorizont angezeigt werden. Dieser, als Faktor der *Feinplanung und Feinsteuerung*, bringt der Montage die Möglichkeit Arbeitspakete (Vorgänge) bestmöglich einzuplanen. Gibt es zu einem Vorgang Fehlteile aber der Nachlieferhorizont liegt zu einem absehbaren Zeitpunkt zum Beginn der Schicht kann in einer Analyse der Fehlteile die Abarbeitung des Vorgangs begonnen werden und bei Nachlieferung der Fehlteile der Vorgang abgeschlossen werden. Um alle Informationen an einem System anzuzeigen wird auch der Platz des *Landungsträgers* angezeigt. Alle diese Informationen können vom Informationssystem *eSFB* direkt bezogen werden. Das Beziehen dieser Informationen passiert automatisiert über einen Aktualisierungszyklus (siehe Abbildung 4-7).

Die Basisinformationen werden mit Rückmeldungen der Montage ergänzt. Eine **Störungsmeldung** (siehe Kapitel 4.1.4) wird über den material Communicator realisiert, indem die dem Vorgang hinterlegte Stückliste angezeigt und das betroffene Teil mit dem dementsprechenden Störfall gewählt werden kann (siehe Abbildung 4-6). Das Melden der Störfälle führt zu einem Nachrichtenfluss zum Teilnehmer der *Materialisierung*, welcher die Störungsinformationen erhält und mit der *Entstörung* des Vorgangs beauftragt wird. Der Teilprozess ist der Abbildung 4-7 bzw. dem Kapitel 4.2.2 zu entnehmen. Ein Störfall stellt ggf. ein fehlendes Teil dar, welches im Zuge einer Fehlkommissionierung übersehen wurde und einen Nachlieferauftrag auslöst. Eine weitere Option eines Störfalls kann ein beschädigtes Teil darstellen, welches je nach Art des Teils weitere Prozesse anstößt (Nachlieferauftrag oder Reparaturauftrag). Das Melden einer Störung hat Einfluss auf den **Status** des Vorgangs⁶². Ein Vorgang kann den Status

- „in Plan“ (Vorgang konnte zur vorgegebenen Zeit gestartet werden und wird noch in der Plan-Zeit abgearbeitet. Vorgang wurde noch nicht gestartet, Plan-Zeit für den Start liegt in der Zukunft)
- „abgeschlossen“ (Vorgang wurde erfolgreich abgeschlossen Rückgemeldet. Keine Analyse des möglichen zeitlichen Verzugs)

⁶² vgl. Kletti, 2015, Abschnitt 3.1.1 - Meister

- „gestört“ (am Vorgang wurde eine Störung gemeldet. An diesem kann gar nicht oder nicht vollständig weitergearbeitet werden)
- „verzögert“ (Der Vorgang wurde noch nicht abgeschlossen, die geplante Fertigstellungszeit liegt in der Vergangenheit. Der Vorgang wurde noch nicht gestartet, der geplante Zeitpunkt des Starts liegt in der Vergangenheit)

besitzen. Das Setzen eines Status vom System kann zusätzlich übersichtlich mit Farbcodierung dargestellt werden.

In der Folgenden Spalte wird über die Meldung „Start“ und „Fertig“ der Vorgang gestartet bzw. abgeschlossen gemeldet. Das Melden einer Arbeitsmeldung stößt einen Informationsfluss an und führt zu einem Statuswechsel des Prozesses. Ein daran angestelltes Fortschrittscontrolling kann als Teil der Aufgabe *Leistungsanalyse* gesehen werden und liefert Aussagen über die Takttreue des Prozesses.

Für ein folgendes *Personalmanagement* ist der Eintrag des für den Vorgang zuständigen Mitarbeiter vorgesehen. Eine daran angestellte interne Kostenrechnung ist mit aufgezeichneten Personalressourcen realisierbar.

Zu Zwecken der Dokumentation ist in der Abbildung 4-7 der Informationsfluss dargestellt. Darin sind im Detail Informationsquellen und Informationsflüsse angeführt.

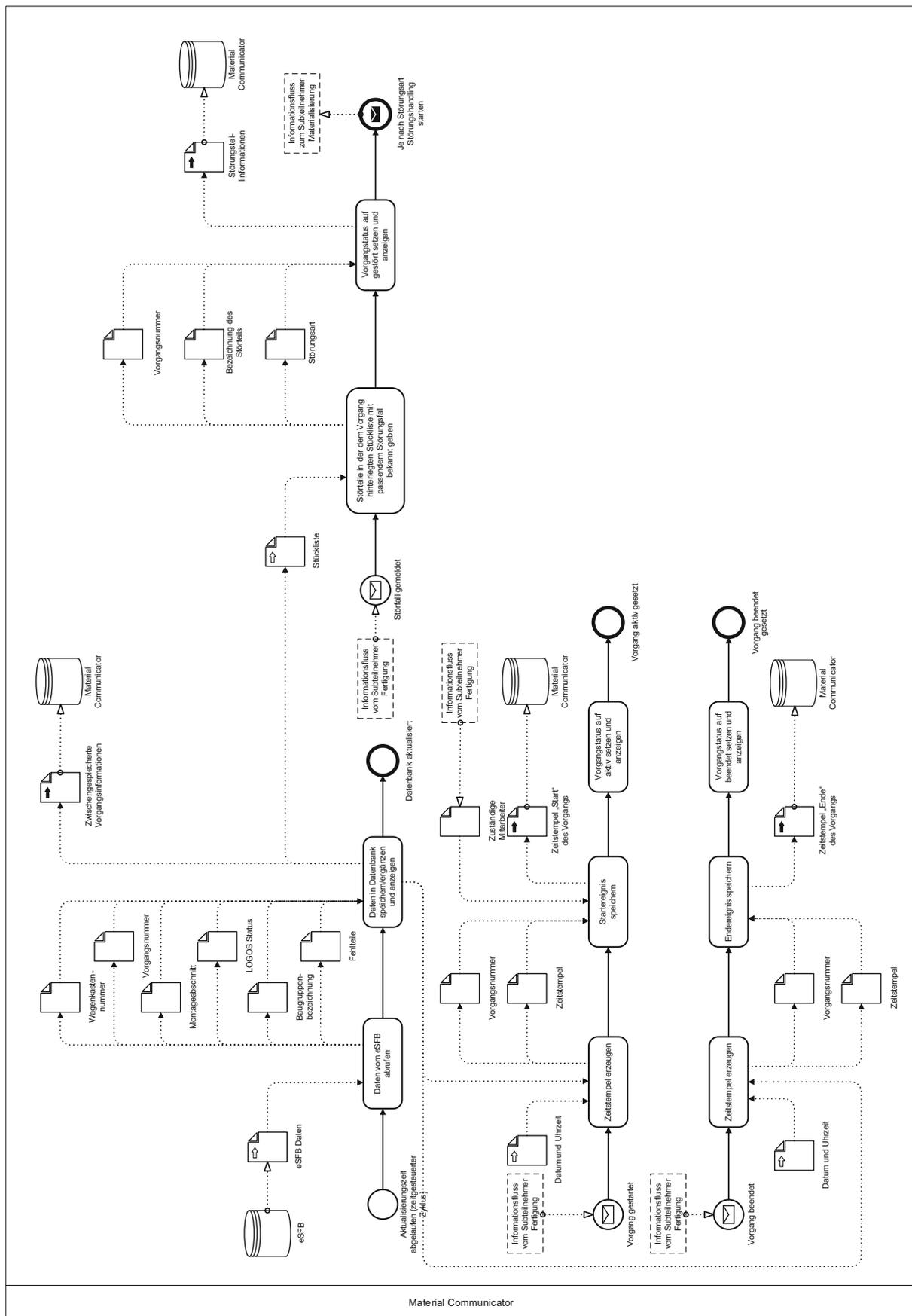


Abbildung 4-7 Informationsfluss am Material Communicator

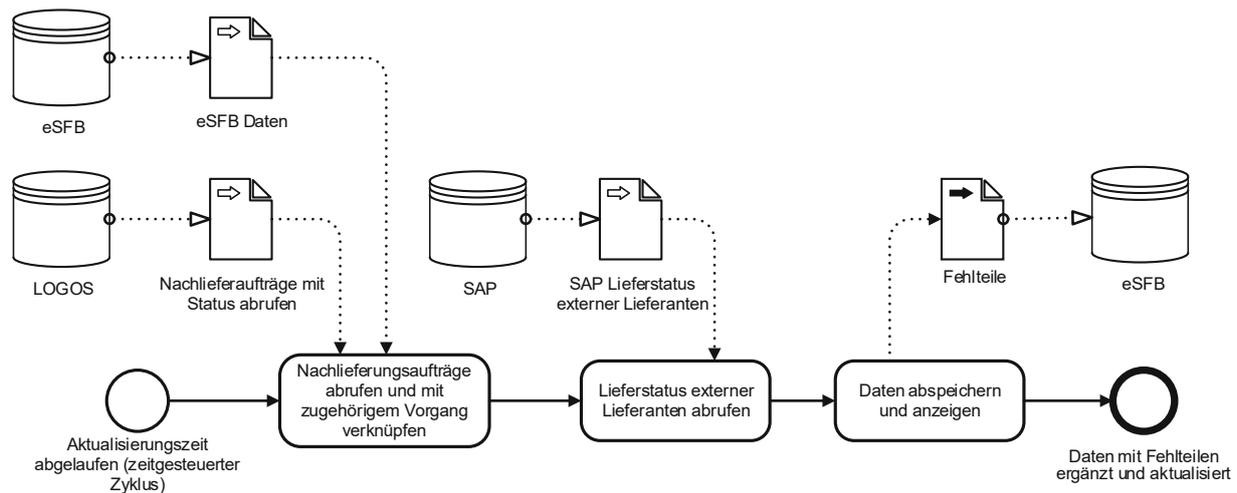


Abbildung 4-8 Informationsfluss der Fehlteilinformationen im System eSFB

In der Abbildung 4-8 ist der Informationsfluss zur Ermittlung der zu einem Vorgang zugehöriger Fehlteile angeführt. Die Daten des Systems eSFB werden abgerufen. Mittels der Vorgangsnummer kann im System LOGOS eine Abfrage der zugeordneten Anlieferaufträge durchgeführt werden. Daraus ergeben sich Informationen über nicht vollständig durchgeführte Anlieferungen und notwendige Nachlieferaufträge. Ergänzt werden diese Daten durch den Lieferstatus von externen Lieferanten, welche im System SAP hinterlegt sind. Zusammengesetzt ergeben diese Informationen die zu diesem Vorgang hinterlegten Fehlteile, welche im System eSFB abgespeichert werden.

4.2.2 Prozessablauf Subteilnehmer mittels der vorgestellten Maßnahmen

Der Montageablauf mit den Möglichkeiten des teilautomatisierten Informationsflusses mittels des Kommunikationstools Material Communicator soll die Aufgaben eines MES (in einem benötigten Grad) erfüllen und so die Effizienz steigern (weitere Auswirkungen bereits in vorangegangenen Kapiteln formuliert). Wie der Ablauf pro Subteilnehmer aussieht wird folgend pro Teilnehmer erläutert. Beleuchtet werden hier die Subteilnehmer, welche auch im Zuge der Prozessaufnahme betrachtet wurden. Da der Informationsfluss an allen Teilprozessen Einfluss nimmt müssen auch sämtliche Prozesse erläutert werden.

Subteilnehmer Fertigungsablauf und Meeting Morgenbesprechung:

Der physisch ausgeführte Prozess der Fertigung wird im Soll-Zustand in erster Linie durch die in der Morgenbesprechung festgelegten abzuarbeitende Vorgänge angestoßen. Dabei wird der **Fertigungsfortschritt**, welcher simultan aufgezeichnet wurde (siehe unten) am *Material Communicator* abgerufen. Verknüpft mit den Informationen über den **Materialisierungsgrad** und über den **Störungstatus** vorangegangener Vorgänge wird die Information über *nach Abarbeitungslogik*,

Materialisierung und Störungsstatus verfügbar abzuarbeitende Vorgänge generiert. (Teilerfüllung der Aufgabe *Feinplanung und Feinsteuerung* bzw. *Auftragsmanagement*). Verglichen mit dem augenscheinlich verfügbaren Personal können die Vorgänge im Zuge eines *Personalmanagements* zu einem **Tagesziel** festgesetzt werden. Jeder Mitarbeiter wird zu Beginn dieser Schicht einem Vorgang zugeordnet, welcher diesen, sollten keine Störfälle auftreten, bis zum Ende der Schicht erledigen kann. Die Mitarbeiter werden ebenfalls über das Kommunikationstool Material Communicator im zugeordneten Vorgang hinterlegt. Wurde ein Mitarbeiter für einen Vorgang eingeteilt „triggert“ dies den Subprozess des Fertigungsablaufs aus Sicht eben dieses Mitarbeiters.

Mit dem Anmelden des Bedarfs an Arbeitskräften für einen Vorgang wird der Prozess des Fertigungsablaufs angestoßen. Beginnt der zugeteilte Mitarbeiter diesen Vorgang abzuarbeiten, meldet er an der Kommunikationseinheit das „Starten des Vorgangs“. Der Vorgang wird auf aktiv gesetzt, der Mitarbeiter bearbeitet sein Tagesziel. Wird der Vorgang ohne Vorkommnisse (Störfällen) abgeschlossen, wird auch dieser Umstand über das „Beenden des Vorgangs“ am Material Communicator gemeldet. Der Vorgang wird als erfolgreich abgeschlossen angesehen, folgende können aus Abarbeitungslogik als verfügbar angesehen werden (Informationsfluss an der Kommunikationseinheit). Wird während des Abarbeitens allerdings ein Störteil entdeckt, soll dieses über die Kommunikationseinheit gemeldet werden. In Folge dessen wird das betreffende Teil am Tool mit dem entsprechenden Störfall hinterlegt. Der Vorgang verfällt in den Status „gestört“, weitere Entstörungsmaßnahmen werden im Zuge des Informationsflusses simultan angestoßen (siehe Kapitel 4.2.1). Bis der Vorgang entstört wurde soll der Mitarbeiter die Arbeit mit anderen ihm zugeordneten Vorgängen weiterführen. Wurde der Vorgang entstört, wird die weitere Abarbeitung mit dem Zwischenereignis „Störung wurde behoben“ fortgesetzt.

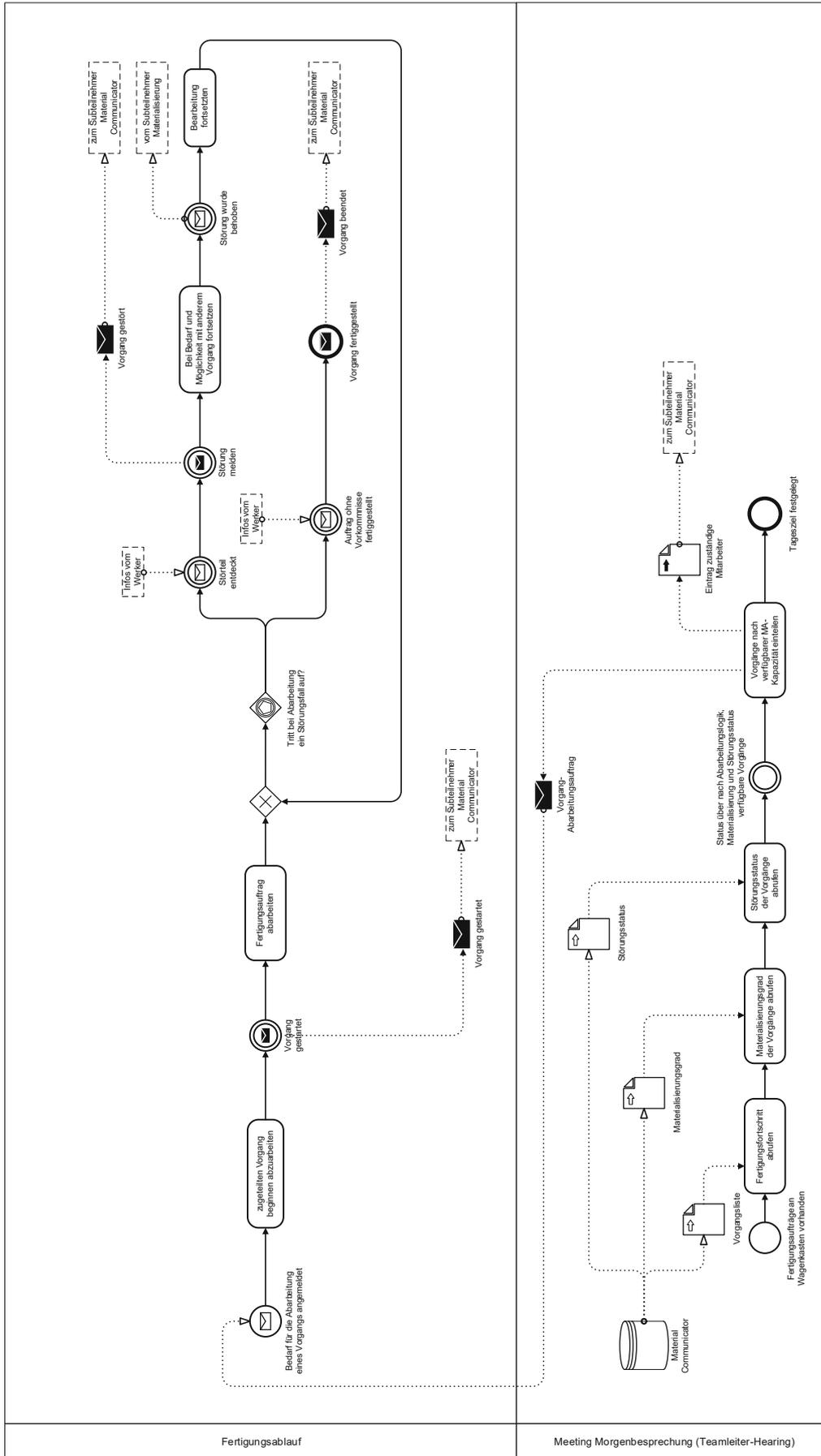


Abbildung 4-9 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Fertigungsablauf und Meeting Morgenbesprechung im Soll Zustand

Subteilnehmer der Materialbereitstellung:

Auch im Soll-Prozess wird der Subteilnehmer der Materialbereitstellung durch das System *Prodlog* 46 Stunden vor Bedarfstermin angestoßen. Der Materialbedarf wird abgerufen und daraus automatisiert im System *LOGOS* ein sogenannter **Auslagerungsauftrag** definiert. Alle weiteren Schritte werden wie im augenscheinlichen Ist-Zustand durchgeführt. Die Art und Weise der Materialbereitstellung wird durch einen MES-fähigen Prozess bedeutend unterstützt aber in seiner ursprünglichen Form nicht abgeändert. Das Anstoßen der Materialbereitstellung wird durch Materialbedarf, hinterlegt im System *Prodlog* realisiert. Der Materialbedarf wiederum wird im *Meeting Materialhandshake* festgelegt und basiert im Soll-Prozess auf den Daten der im Fertigungsablauf produzierten Rückmeldungen. Das Festlegen des Materialbedarfs könnte vollautomatisiert an Hand der Daten des Rückmeldetools realisiert werden. (weitere Informationen dazu siehe Subteilnehmer *Materialhandshake*). Die Teilprozesse im Soll und Ist-Zustand unterscheiden sich dadurch, dass die Materialbereitstellung nun Vorgänge zur Basis hat. Die Stücklistenumfänge sind geringer, die Auftragsmenge aber größer. Durch den teilautomatisierten Dokumentationsprozess mit Hilfe des Systems *LOGOS* gibt es keine Anzeichen dafür, dass der Subteilnehmer mit großen Mengen an Mehraufwand beschäftigt ist.

Der Prozess zur Entstörung der Vorgänge kann simultan zu jeder Zeit vom Rückmeldetool *Material Communicator*, durch den Informationseingang mit den entsprechenden Störungsdaten, angestoßen werden. Der Materialbedarf sowie die weiteren Störungsinformationen des Vorgangs werden vom Tool selbst abgerufen, die möglichen Priorisierungen vom System *eSFB* (siehe Subteilnehmer *Meeting Materialhandshake*). Das Verarbeiten der Störungsinformationen und des Materialbedarfs stößt in weiterer Folge den oben beschriebenen Prozess der Materialbereitstellung an. Wurden die Störteile angeliefert, der Vorgang sozusagen entstört, muss mittels eines weiteren Informationsflusses der Subteilnehmer des Fertigungsablauf darüber informiert werden. Das stellt hierbei das Endereignis des Teilprozesses dar.

Subteilnehmer Meeting Materialhandshake (Logistik Shopfloor):

Das Meeting des *Materialhandshakes* im ursprünglich vorgestellten Prozesszustand war ein Resultat nicht realisierter Kommunikationskanäle bzw. unvollständigem *Informationsmanagement*. Ein Prozess, welcher die Aufgaben eines *MES* erfüllt, kann die Aufgaben dieses Subteilnehmers zur Gänze in anderen Teilprozessen adaptieren bzw. teilautomatisieren. Das größte Augenmerk, wie das Melden von Störfällen ist im alten Prozessschema nur einmal pro Schicht, im Zuge dieses Teilprozesses, möglich. Mit den vorgestellten Kommunikationsmöglichkeiten des *Material Communicator* kann diese Tätigkeit vollständig übernommen werden. Wird ein sog. Störteil entdeckt, wird dieses augenscheinlich über diese Kommunikationseinheit den dementsprechenden Stellen mitgeteilt. Ein zusätzliches *Meeting* zu diesem Zweck ist nicht mehr erforderlich.

Das Meeting des *Materialhandshakes* erfüllt in seiner ursprünglichen zusätzlich die Funktion zur Priorisierung der Störfälle untereinander. Die Notwendigkeit der Priorisierung liegt in der Auswirkung auf den Prozessfortschritt bzw. in der Vielzahl an Störfällen. Da zur Priorisierung beide beteiligten Abteilungen Informationen teilen müssen, wurde eine Möglichkeit dafür im *Material Communicator* in dieser Version noch nicht vorgesehen. Deshalb wird auch in diesem Soll-Zustand ein Meeting *Materialhandshake* notwendig sein, das diesen Aspekt bedient. Ein weiterer positiver Aspekt könnte die Akzeptanz der Mitarbeiter durch das Implementieren eines neuen Prozesses, der auch gewohnte Teilprozesse zulässt und nicht eine Umstellung von Grund auf erfordert. Die gewohnten Teilschritte werden in einem ersten Schritt deutlich unterstützt und können effizienter gestaltet werden ohne diese komplett durch neue Praktiken zu Ersetzen. Durch das simultane Melden der Störfälle werden die Prozesse zur Entstörung unter Umständen in besser bewältigbaren Abständen angestoßen, sodass eine Priorisierung gar nicht von Nöten ist. Die Beobachtung dieses Umstandes im Zuge der Einführung muss Beachtung geschenkt werden. Ein aus den erwähnten Gründen ebenfalls nicht rationalisierter Prozessschritt ist der des Buchens des zu den Vorgängen zugeordneten Materials.

Durch die Verwendung der Kommunikationseinheit und dem Rückmelden des Fertigungsfortschritts wäre die Grundlage gegeben diesen Schritt vollständig zu automatisieren (in der Abbildung 4-11 der graue Bereich). Der Fertigungsfortschritt liefert die Grundlage für die Buchung der künftig abzuarbeitenden Vorgänge. Muss dieser nicht erst durch lokale, nicht simultan gepflegte, Aufzeichnungen ermittelt werden, wird dieser Prozessschritt effizienter gestaltet. Es ist für den Disponenten auf einen Blick ersichtlich, in welchem Zustand sich die künftig zu materialisierende Fertigungseinheit befindet. Ergänzt mit Informationen des Subteilnehmers der Fertigung über *Personalmanagement* etc. können die Anlieferungsaufträge in einer besseren Treffsicherheit gebucht werden. Um die Akzeptanz der beteiligten Personen

in Bezug auf diese neue Systematik zu erhöhen und möglicherweise nach wie vor unentdeckte Informationsquellen der Fertigung in Bezug auf Materialbedarf auszuschließen wird auch dieser Prozessschritt in einem ersten Schritt von der beschriebenen Kommunikationseinheit stark unterstützt und effizienter gestaltet, sowie Teilaspekte rationalisiert aber nicht komplett eliminiert.

Subteilnehmer Meeting Meister-Shopfloor und Meeting 11Uhr Kaskade:

Die beiden Subteilnehmer der Meetings Meister-Shopfloor und 11Uhr Kaskade beschäftigen sich mit den im Montageprozess aufgetretenen *Störfällen*. Der grundsätzliche Ablauf des Ist-Prozesses ändert sich auch mit den Maßnahmen der MES-Methodiken nicht, wird aber umfassend durch die gewonnenen Informationen des MES-fähigen Montageprozesses unterstützt. Die Datengrundlage der Störungsinformationen sind nicht mehr lokale, nicht *in Echtzeit* aktuelle Dokumente, sondern die im Rückmeldetool generierten und gemeldeten Daten über etwaige Störfälle. Diese beinhalten alle notwendigen Informationen sowie deren Behebungsgrad und die möglichen Auswirkungen auf folgende Prozessschritte, welche für die Beurteilung ausschlaggebend sind. Das Dokument der *Störungsliste* wird nicht mehr als Datenquelle benötigt. Eine Auswertung der Störungsfälle über einen *Export* der Rückmeldedaten bzw. das Anzeigen der Störfälle über ein aktuell gehaltenes *Dashboard* (siehe Kapitel 5) kann die verlangten Informationsflüsse übernehmen. Generell können Störungsinformationen bzw. Vorgangstatus in diesem MES-fähigen Prozess in Echtzeit jederzeit abgelesen werden. Zur Einhaltung der üblichen Routine wurde dieses Meeting wieder täglich um 9Uhr angesetzt. Kann ein Störfall über den üblichen Entstörungsprozess der Materialbereitstellung nicht bewältigt werden muss dieser an Hand dieses Meetings besprochen und darauffolgende Reaktionen eingeleitet werden. Die üblichen Abläufe mit der Möglichkeit zur Eskalation auf „die nächst höhere Ebene“, wie im Ist-Prozess beschrieben (siehe Kapitel 3.1.5) werden weiterhin schlagend, das Eintragen von Informationen in die *Störungsliste* entfällt und kann aus dokumentationszwecken vom *Dashboard Fertigungsstatus* übernommen werden. Sollten Informationen über den Behebungsstatus erst im Zuge dieses Meetings gewonnen worden sein, sollen diese über eine Eingabefunktion des Dashboards dokumentiert werden. Durch die *in Echtzeit* verfügbaren Informationen über Störungstatus am *Dashboard Fertigungsstatus* müssen Endstörungen nicht mehr erst im Zuge dieses Meetings kommuniziert werden, sondern können jederzeit eingesehen werden

Störungen, welche nicht auf *Meisterebene* gelöst werden konnten, werden weiterhin an das Meeting 11Uhr Kaskade weitergegeben und wie gewohnt behandelt. Ein sich aus der Schwere der Störung ergebender Status über die Fertigung bzw. den Wagenkasten kann im selben *Dashboard Fertigungsstatus* vermerkt werden (zur Vermeidung doppelter Informationsquellen).

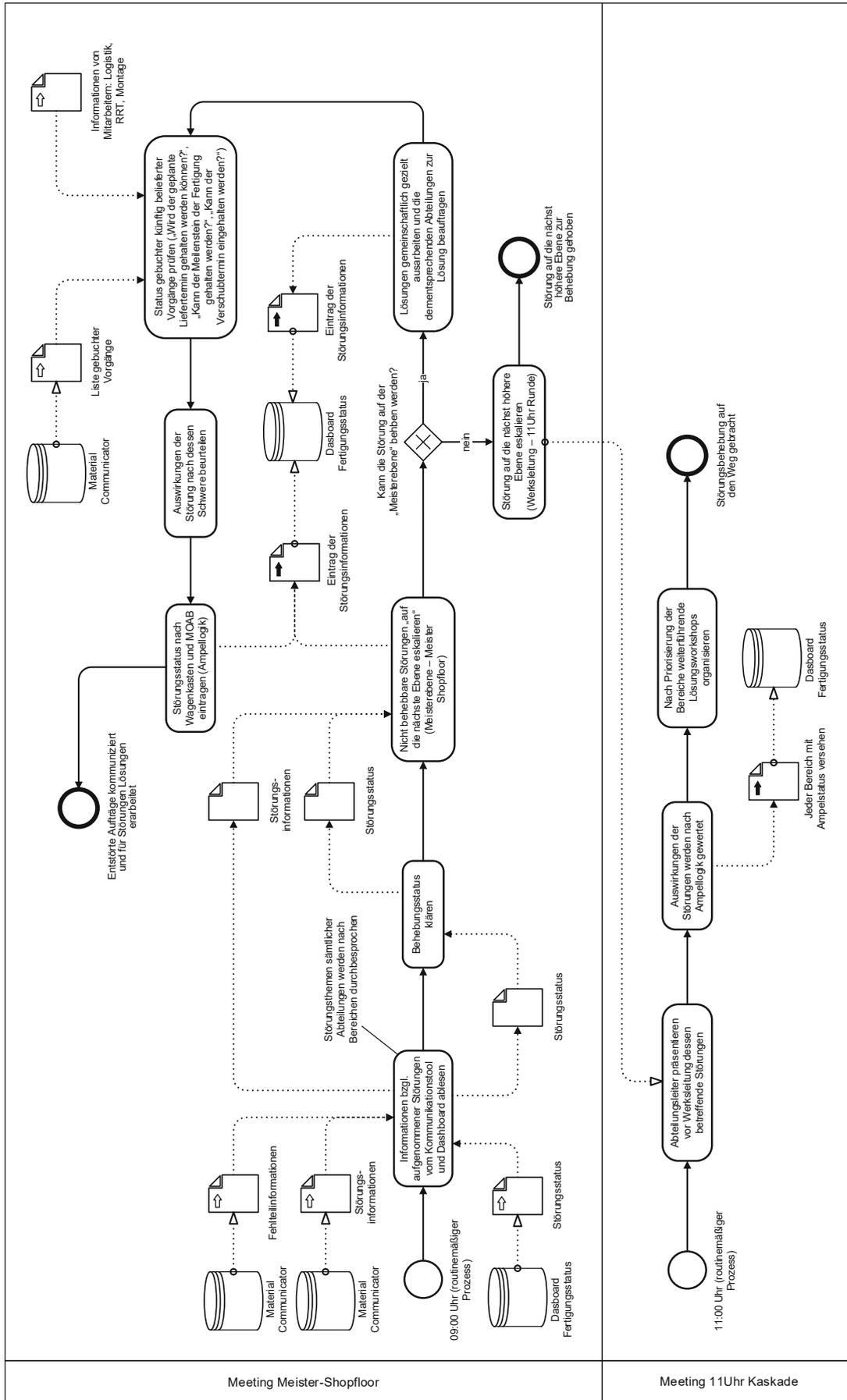


Abbildung 4-12 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Meeting Meister Shopfloor und 11Uhr Kaskade im Soll Zustand

5 Realisierung des Soll-Konzepts

Folgend werden die praktische Umsetzung der konzeptionell vorgestellten Systeme und die Einführung des neuen Prozesskonzepts dokumentiert.

5.1 Softwareentwicklung der Kommunikationseinheit (Material Communicator)

Die in Kapitel 4.1 eingeführten Maßnahmen 2 bis 5, zur Erfüllung der Aufgaben nach VDI5600-1, haben zur Folge eine Kommunikationseinheit bereitzustellen, welche:

- den Fertigungsfortschritt in Echtzeit aufnimmt und anderen Subteilnehmern verfügbar macht
- den Grad der Materialverfügbarkeit zur Verfügung stellt
- Störfälle in der Produktion je nach Situation kommuniziert und die Möglichkeit bietet diese zu melden
- die Kommunikation zwischen den Abteilungen unterstützt, teilautomatisiert und vereinfacht.

Es wurde sich dabei an das Konzept gehalten, welches im Kapitel 4.2.1 vorgestellt wurde. Die Weiterentwicklung des Tools wird auch noch nach Fertigstellung dieser Arbeit fortgesetzt. Hier wird der Status erläutert, welcher zur Fertigstellung dieser Dokumentation erreicht war. Bei der praktischen Umsetzung dieser Kommunikationseinheit mussten mehrere Betrachtungen herangezogen werden. So muss einerseits die Möglichkeit gegeben sein, Schnittstellen zu anderen vorgestellten Systemen einfach zu realisieren und andererseits eine Bedienoberfläche geschaffen werden, die alle benötigten Informationen anzeigt und die Inputmöglichkeiten beinhaltet. Da nicht nur Daten angezeigt, sondern im Zuge der Bedienung auch erzeugt und von anderen Systemen abgerufen werden, muss eine online abzurufende Datenbank erstellt werden.

5.1.1 Analyse der Schnittstellen zu anderen Systemen

Die im eingeführten Konzept (Kapitel 4.2.1) dargelegten notwendigen Daten sind in verschiedenen Systemen abgelegt. Um diese abzurufen muss also recherchiert werden, von welchem System welche Informationen und über welche technischen Rahmenbedingungen die Informationsübermittlung stattfinden kann.

Folgende Informationen müssen abgerufen werden:

1. Die Fertigungsstruktur:

Die zu einem Projekt angelegte Fertigungsstruktur muss im Sinne eines Grundgerüsts abgerufen werden. Durch Gruppieren nach der in Kapitel 3.1.2 vorgestellten Struktur (siehe Abbildung 3-5) kann nach Projekt, Montageabschnitten (Stellplätzen) und Fertigungsaufträgen gefiltert werden. Da das Tool an verschiedenen Stellplätzen eingesetzt werden soll und dort jeweils nur die diesen Montageabschnitt betreffenden Aufträge angezeigt werden sollen, ist diese Möglichkeit zwingend notwendig (siehe Abbildung 4-6 Bereich Wagenummer (=Projekt), MOAB (=Montageabschnitt) und Vorgang). Diese Daten werden grundlegend in SAP angelegt und verwaltet. Jedoch greifen auch andere Systeme wie z.B. LOGOS, Prodlog und eSFB bereits auf diese Daten zu und verwalten diese.

2. Der Materialisierungsgrad:

Der Materialisierungsgrad muss eine direkte Abhängigkeit zum Lager- und Kommissionierungssystem LOGOS besitzen. An diesem werden alle Anlieferaufträge verwaltet (siehe Kapitel 3.1.4). Bei nicht verfügbarem Material werden Nachlieferungsaufträge angestoßen. Ebenso kann hier zu jedem Anlieferauftrag der *LOGOS-Status* abgerufen werden. Bei Kombination dieser Informationen lässt sich eine Aussage treffen, ob der Vorgang vollständig materialisiert ist bzw. wenn nur teilweise, welche Materialien fehlend sind. Dazu muss eine direkte Verbindung zum System LOGOS aufgebaut werden.

3. Abruf der Materialstammdaten

Wie bereits im Kapitel 3.1.2 eingeführt, werden die Materialstammdaten über Stücklisten in einer 1:1 Beziehung mit den Fertigungsaufträgen (siehe Abbildung 3-5) verknüpft. Die Daten werden im System SAP hinterlegt und verwaltet und sind zudem in LOGOS und Prodlog verfügbar. Die Materialstammdaten sind notwendig, um die Stückliste zu jeden Fertigungsauftrag bzw. Vorgang anzuzeigen.

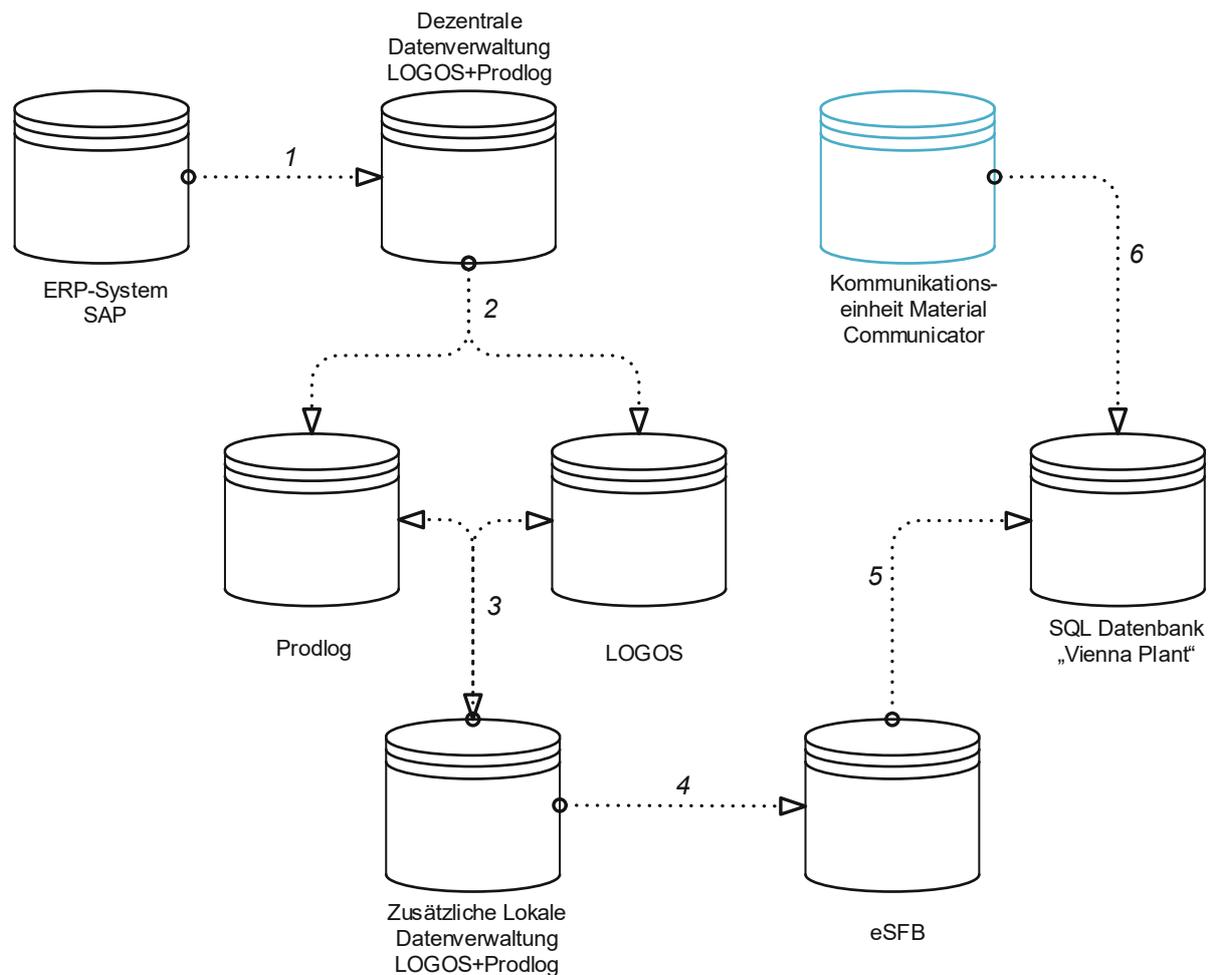


Abbildung 5-1 Datenschnittstellen in der Systemlandschaft

Folgend sollen die technischen Rahmenbedingungen der Schnittstellen zu den vorgestellten Systemen diskutiert werden. Eine Schnittstelle zum ERP System⁶³ SAP ist mit großem technischem Aufwand verbunden. Aufgrund der Systematik müsste ein externer Consultant beauftragt werden, um die Schnittstelle zu realisieren. Die vom ERP-System bereits integrierten Schnittstellen zu den Systemen LOGOS und Prodlog sind bereits verfügbar (Abbildung 5-1 Fluss Nr. 1). Es sollte recherchiert werden, ob es leichter zu bewerkstelligen ist, die Daten von diesen Systemen abzurufen. Die beiden Systeme beziehen eine gemeinsame Datenbasis, die an einem dezentralen Netzwerkrechner für den gesamten Konzern Siemens verfügbar gemacht wird (Abbildung 5-1 Fluss Nr. 2). Bestimmte, für den täglichen Warenverkehr notwendige Daten, werden zusätzlich lokal gespeichert (Abbildung 5-1 Fluss Nr. 3). Diese Möglichkeit kann genutzt werden, um Daten dieser SQL Struktur ohne größeren Aufwand abzurufen. Ein System bedient sich bereits dieser Möglichkeit. Das System eSFB bezieht sämtliche Daten von dieser Schnittstelle (Abbildung 5-1 Fluss Nr. 4), verarbeitet diese und speichert diese wiederum an einem SQL-Server des Unternehmens, der *Vienna-Plant* (siehe Kapitel 3.1.4) (Abbildung 5-1 Fluss Nr. 5).

⁶³ vgl. Redlein, 2020, S.155

Es hat mehrere positive Aspekte die Datenschnittstelle zur SQL Datenbank „Vienna-Plant“ aufzubauen. Der technische und finanzielle Aufwand diese zu realisieren ist am geringsten. Es liegt nicht nur die Fertigungsstruktur, sondern zusätzlich der LOGOS-Status (Kapitel 3.1.4 Abschnitt LOGOS) zu den Vorgängen zugeordneten Anlieferaufträgen, auf. Außerdem können Nachlieferaufträge (Kapitel 3.1.4 Abschnitt LOGOS) abgerufen werden und damit auf Fehlteile rückgeschlossen werden.

Der negative Aspekt, der aus dieser Schnittstelle resultiert, ist unter anderem, dass alle Systeme in einer Kette angeordnet sind. Sollte eines dieser ausfallen, funktioniert die gesamte Datenübertragung nicht mehr. Die Daten von SAP werden in Richtung der Datenbank Prodlog + LOGOS in unregelmäßigen Abständen manuell getriggert übertragen. Das heißt, dass Änderungen im ERP System SAP nicht in Echtzeit, sondern erst „auf Zuruf“ wirkend werden.

5.1.2 Technische Umsetzung

Die technischen Rahmenbedingungen müssen so organisiert werden, dass die geforderten Funktionen mit absehbarem Aufwand realisiert werden können. So muss die Schnittstelle zu einer SQL Datenbank möglich sein und die Benutzeroberfläche die Möglichkeiten der geforderten Darstellungen erfüllen. Aufgrund der Datenstruktur der vom System *eSFB* verarbeiteten Daten und Synergieeffekte in der Entwicklung wurde die Entwicklung in der **Programmiersprache C#** initiiert. Das grafische-user-interface GUI basiert auf der „**windows presentation foundation**“ **WPF**. Als Datenbank der Rückmeldungen soll die *Vienna Plant* erweitert und genutzt werden (siehe Abbildung 5-1 bzw. Kapitel 3.1.4).

5.1.3 Vorstellung der realisierten Kommunikationseinheit

Wie bereits erwähnt soll die Software laufend weiterentwickelt werden. Der hier präsentierte Stand bezieht sich auf den Status vom Oktober 2022, der sich zu diesem Zeitpunkt bereits im Einsatz befindet und im Prozess integriert ist.

In der Abbildung 5-2 ist die Oberfläche der Software sowie die Beschreibung der einzelnen „Spalten“ dargestellt.

Da das *Tool* an verschiedenen Positionen der Montagelinie zum Einsatz kommen soll, muss diese der Software übermittelt werden. Dafür wurde eine Filterfunktion geschaffen, mittels der

1. das Projekt gewählt wird, welches an diesem Platz bearbeitet wird (drop-down Menü)
2. die Wagennummer gewählt wird, welcher gerade bearbeitet wird (drop-down Menü)

3. und der Montageabschnitt (Stellplatz) gewählt wird, an dem die Software verwendet wird (drop-down Menü)

Anschließend wird die Liste mit *Vorgängen* befüllt, welche zu diesen Filterbedingungen in der Datenbank ausfindig gemacht wurden. Zu jedem Vorgang wird die Nummer des zugehörigen Fertigungsauftrags und der zu bearbeiteten Baugruppe, die Bezeichnung, die Vorgabestunden (also die Zeit, die laut Arbeitsplanung für diesen Arbeitsschritt bzw. Vorgang vorgesehen ist), der *LOGOS-Status* und die Fehlteile dieses Vorgangs abgerufen.

Wagen	MOAB	Baugruppe	MOAB: KWB 8 MOAB 10	Fertigungsauftrag	Log-Status	Vorgabebestunden	Fehlteile	Kommentar	MA
1644-274	M08	A2V00001	Alle	7003186915		0,997			
1644-274	M10	A2V00001	Alle	7003215316		0			
1644-281	M07	A2V00002520766	Decke im FGR AB	7003191642		28,6379999999999998			
1644-281	M08	A2V00002520860	FR-Beleuchtung EB	7003197320		0,803			
1644-281	M08	A2V00002520927	Pulttafel EB	7003197322		0,997			
1644-282	M07	A2V00002976286	Verkabelung Unterflur EB MWC MOAB 7	7003197035		30,26			
1644-282	M07	A2V00002941095	AO Ger.Kaesten UG M Teil 2	7003199874		0,017			
1644-282	M08	A2V00002522850	Feuerloescher FGR MW AB	7003200164		0,94			
1644-283	M09	A2V00002575617	MWD F.S MOAB 9	7003255516		0			
1644-283	M08	A2V00002976289	Verkabelung Unterflur EB MWD MOAB 8	7003255610		21,16			
1644-283	M08	A2V00002522912	Uebergangsbefestigung AB	7003255612	1	1,122			
1644-283	M08	A2V00002833011	Seriennummern erfassen	7003255727		7			
1644-284	M07	A2V00002520765	Decke im FR AB	7003200087	1	7,718			
1644-284	M08	A2V00002974549	Verkabelung FGR EB KWB MOAB 8	7003200138		49,026			
1644-284	M07	A2V00002943536	AO Ger.Kaesten UG KWB Teil 2	7003200161		0,017			
1644-284	M07	A2V00002520973	Haltestangen/Griffe FGR EB	7003200168	1	23,5			
1644-284	M08	A2V00002520806	Feuerloescher FGR AB	7003255625	1	0,409			
1644-284	M08	A2V00002520993	Fahrtzielanzeige TW EB	7003255631	1	0,274			
1644-284	M08	A2V00002521069	Fuehrerraumaussteuer linke EB	7003255634	1	1,79			
1644-291	M01	A2V00002520782	Fenster FGR EB	7003181300	1	33,659			

Abbildung 5-2 Realisierte Kommunikationseinheit (Material Kommunikator) mit Beschreibung

Wurde ein Fehlteil zu diesem Vorgang registriert, wird am *Fehlteilbutton* die Information „Fehlt“ angezeigt. Beim Betätigen des *Fehlteilbutton* werden in einem zweiten Fenster die Fehlteile aufgelistet (siehe Abbildung 5-3). Das Anzeigen der Fehlteile in Kombination mit dem LOGOS-Status realisiert den Kommunikationskanal der Materialverfügbarkeit (siehe Kapitel 4.1.3).

Bezeichnung	Fertigungsauftrag	Log-Status	Vorgabestunden	Fehlteile	Kor
er.Kaesten UG MWD Teil 3	7003341840	1	0,017		BEENDET
OS MOAB 3	7003341118		0		Start
Montiergelung FGR AB vor Isolierung	7003341850	1	2,489		Start
Montierung Seitenwand AB	7003341851	1	30,242999999999995		Start
Montierung Fzg.K. inn. EB	7003341852	1	98,128	FEHLT	Start

FehlteilWindow

Materialnummer	Bezeichnung	Materialnotiz
A2V00001192969	Schneidring EO-DPR22L71X	
A2V00002719139	Beschriftungsschild 56	
A2V00002753092	Beschriftungsschild 43	
A2V00002753094	Beschriftungsschild 45	

Abbildung 5-3 Exemplarische Anzeige der Fehlteile

Durch Bedienung der *Rückmeldebuttons* (siehe Abbildung 5-2) werden Vorgänge *gestartet* und *beendet*. Durch das starten und beenden der Vorgänge wird die *Durchlaufzeit* (siehe Kapitel 2.5.2) gemessen. Das Rückmelden der Vorgänge und das gleichzeitige Anzeigen dieses in Echtzeit bringt die beschriebene Transparenz in den Fertigungsstatus (siehe Kapitel 4.1.2).

Die Spalte des *Kommentarfelds* bringt die Option weitere außertourliche Dokumentationen durchzuführen. In der Spalte *Mitarbeiterfeld* kann aufgezeichnet werden, welche Mitarbeiter welche Vorgänge abarbeiteten.

Die Möglichkeit Störfälle zu einem Vorgang zu melden, ist in dieser Entwicklungsstufe noch nicht realisiert (siehe Kapitel 4.1.4).

Die Funktionen als Kombination gesehen sollen alle bisherigen manuellen Tätigkeiten effizienter gestalten und die lokalen Dokumente ersetzen (siehe Kapitel 4.1.5).

Diese Software kann an mehreren PCs parallel aufgerufen und benützt werden. Jeder neue Zugang muss an einem Netzlaufwerk registriert werden und hat damit einen eindeutigen Bezug zum jeweiligen Nutzer. Die aufgenommenen Informationen werden in der SQL Datenbank „Vienna Plant“ gespeichert und allen Teilnehmern in Echtzeit verfügbar gemacht.

5.1.4 Vorstellung des realisierten Dashboards

Um die generierten Daten übersichtlich darzustellen wurde mittels der Informationsvisualisierungssoftware *Qlik Sense*⁶⁴ zusätzlich ein Dashboard generiert, welches den *Fertigungsstatus* darstellen soll. Dabei können, nach Wahl der Montagelinie und des Montageabschnitts sowie dem Wagenkasten (siehe Kapitel 3.1) Informationen gefiltert werden. Wird ein Wagenkasten gewählt, wird dessen Fertigungsfortschritt dargestellt. Wählt man eine gesamte Montagelinie, wird der Fertigungsstatus der gesamten Line angezeigt etc. Im Sinne der Aufgabe des *Informationsmanagements* wird dieses Dashboard verwendet, um umfangreiche Informationen zu visualisieren. Die abgeschlossenen, rückgemeldeten Fertigungsaufträge, werden im „Messzeiger“ als Fortschritt in Grün, die derzeit laufenden Fertigungsaufträge in Gelb und die ausstehenden in Grau dargestellt (siehe Abbildung 5-4). Es kann daraus außerdem eine Liste im „.csv Format“ exportiert werden, welche die abgeschlossenen und laufenden Fertigungsaufträge, gefiltert nach den Vorgaben, beinhaltet.

Eine weitere Darstellungsform der Daten wurde realisiert, indem für jedes Arbeitspaket (Fertigungsauftrag) mittels Soll-Start und Soll-End Termin eine Darstellung in Swimlane-Form⁶⁵ realisiert wird, also die Abarbeitungsreihenfolge, gruppiert nach Montageabschnitt, übersichtlich dargestellt wird (siehe Abbildung 5-5). Vermengt werden diese Daten mit den Daten der Rückmeldung. Nach den Vorgaben der *Status* (siehe Kapitel 4.2.1) kann dieser farblich dargestellt werden. Ein Fertigungsauftrag „in Plan“ wird neutral (dunkelblau) hinterlegt, ein Fertigungsauftrag „verzögert“ wird rot hinterlegt und ein Fertigungsauftrag „abgeschlossen“ wird „ausgegraut“ (in dieser Darstellungslogik hellblau) hinterlegt. Der Status „gestört“ kann zu diesem Entwicklungsstadium, aufgrund fehlender Rückmeldedaten, noch nicht angezeigt werden.

⁶⁴ URL: <https://www.qlik.com/> (30.10.2022)

⁶⁵ vgl. Jeyaraj/Saute, 2014

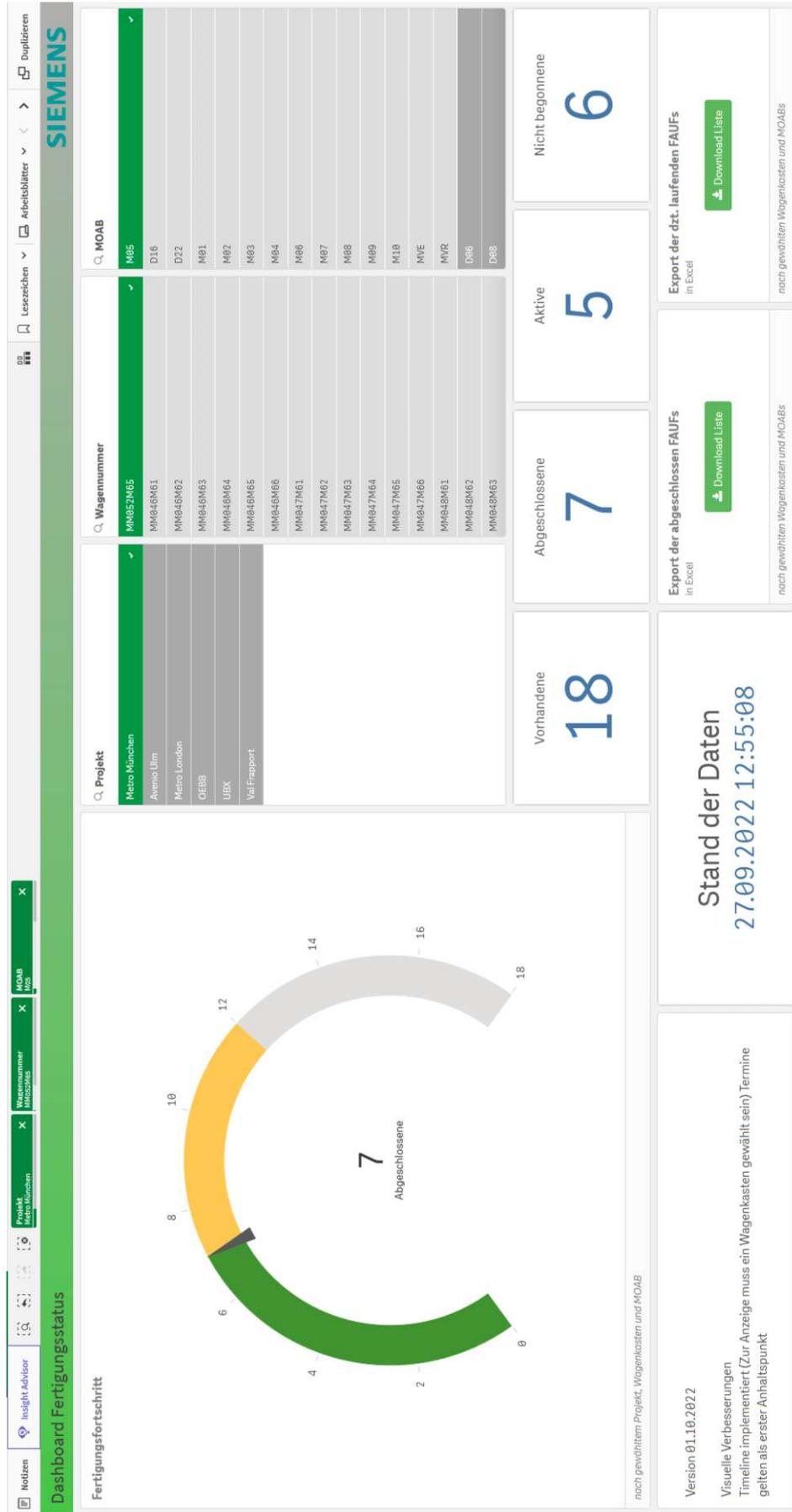


Abbildung 5-4 Dashboard des Fertigungsstaus

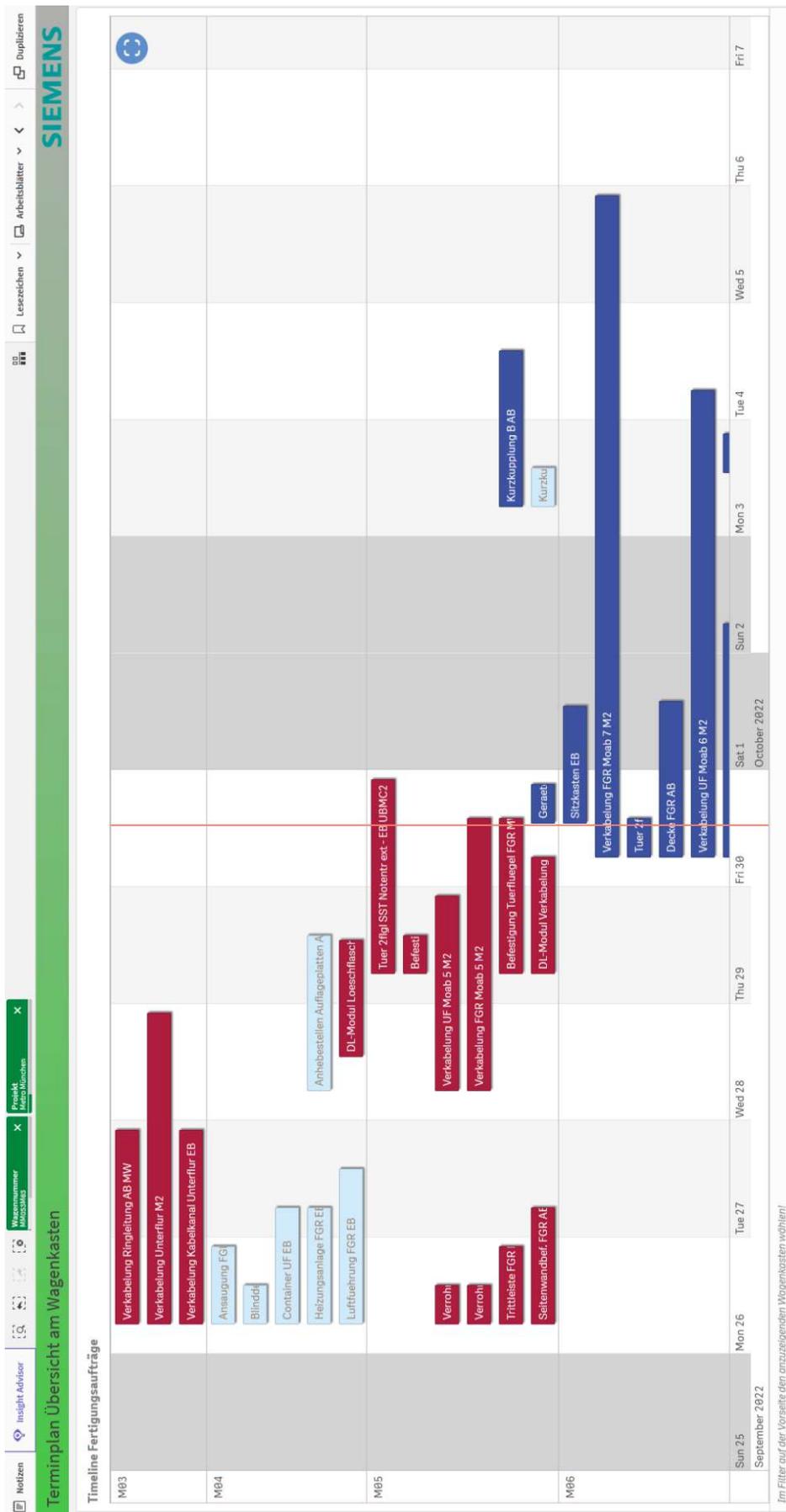


Abbildung 5-5 Darstellung des Fertigungsfortschritt über dem Soll-Terminplan in Swimlane-Darstellung

5.2 Umsetzung und Einführung des Soll-Prozesskonzepts

Der im Kapitel 4.2.2 vorgestellte konzeptionelle Prozessablauf, soll im Zuge des Business Process Management BPM (siehe Kapitel 2.3) im Montageprozess integriert werden. Dabei wurde die *Prozessevaluation* im Kapitel 3.2.2 an Hand der Aufgaben nach VDI5600 durchgeführt. Das *Prozessdesign* ist im Kapitel 4.2 angeführt. An Hand der erstellten Prozessbeschreibungen wird hier die *Prozessimplementierung* erläutert und in weiterer Folge den ersten Zeitraum des *Prozessbetriebs*.

5.2.1 Prozessimplementierung

Der Prozess soll schrittweise im laufenden Betrieb integriert werden. Um den Montageablauf nicht zu gefährden, wurde als erstes die Kommunikationseinheit *Material Communicator* den prozessbeteiligten Personen vorgestellt und die Verwendung geschult. In einem Pilotversuch wurden an einem Montageabschnitt testweise Rückmeldungen produziert und die Visualisierungen nach Wunsch der Bediener angepasst. So wurde bei der Software eine Kontrollfunktion für Rückmeldungen der Fertigstellung implementiert, um versehentliche Meldungen zu verhindern. Außerdem musste die Software dahingehend angepasst werden, dass die Daten an jedem Klienten automatisiert in geringen zeitlichen Abständen aktualisiert werden und nicht nur beim Öffnen des Programms. Nach mehreren Feedbackrunden mit den Anwendern und dem Prüfen der Rückmeldedaten auf Validität, nach einem Testlauf von zwei Wochen, wurde die Software von den beteiligten Personen akzeptiert und die Implementierung als abgeschlossen gesehen.

Sobald die Kommunikationseinheit in der Abteilung der Montage im Prozessablauf integriert und valide Rückmeldungen erzeugt wurden, konnten weitere Schritte zur Prozessimplementierung gesetzt werden. Der im Konzept vorgestellte Aspekt der schichtgenauen Arbeitsplanung und Materialisierung (siehe Kapitel 4.1.1) bedurfte Vorarbeit der Arbeitsvorbereitung. So mussten Arbeitsvorgänge auf die maximale Dauer einer Schicht überprüft werden und das zugeordnete Material dementsprechend angepasst werden (siehe Kapitel 3.1.2).

In mehreren Schulungen wurde allen prozessbeteiligten Personen das neue Konzept Schritt für Schritt vorgestellt. Um wenig Widerstand menschlicher Natur gegenüber Prozessänderungen aufzubauen, wurden in jeder Schulungsrunde nur kleine Änderungen vorgestellt und ein Fokus auf die positiven Aspekte für die jeweilige Abteilung gelegt.⁶⁶

⁶⁶ vgl. Lang/Wagner, 2020, Abschnitt 5.1

Die Subteilnehmer der *Morgenbesprechung*, des *Materialhandshakes*, des *Meister-Shopfloors* und der *11Uhr Kaskade* wurden mit den gewonnenen Informationen der Kommunikationseinheit vorerst ergänzend unterstützt. Als in Feedbackrunden von 10 Tagen weitere Konzeptanpassungen eingearbeitet wurden, wie das Hinzufügen von Informationen am Dashboard bis zur oben vorgestellten Version, konnte das *Informationsmanagement* als durchgeführt und von den Prozessteilnehmern als akzeptiert angesehen werden. Die manuellen Dokumente wie die *Baugruppenliste* und die *Liste über Störungsinformationen* konnten schrittweise eliminiert und der Fluss dieser Informationen wie geplant effizienter durchgeführt werden.

Für die Weiterentwicklung des Artefakts sollen gewonnene Kenntnisse aus dem Environment im Sinne des *Relevance Cycle* wieder in die Weiterentwicklung des Prozesskonzepts fließen. Es mussten kleine Anpassungen vorgenommen werden, die die Oberfläche des entwickelten Kommunikationssystems (siehe Kapitel 5.1.3) und die Daten, welche am Dashboard angezeigt werden sollen, betrafen.

5.2.2 Laufender Betrieb und Ausblick

Im Sinne des BPM Cycle (siehe Abbildung 2-3) sollen in wiederkehrenden Feedbackrunden die gewonnen Erkenntnisse aus dem Prozess evaluiert werden, daraus Lösungen bzw. Weiterentwicklungen abgeleitet und diese wiederum im Prozess integriert werden.

Zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit wurden in zwei-wöchigen Rhythmen Feedbackrunden mit Prozessbeteiligten Personen abgehalten.

Da die Dokumentation im November des Jahres 2022 durchgeführt wurde werden hier nicht alle Schritte der Prozessintegration angeführt. Beispielsweise muss die Materialisierung erst angepasst an das neue Konzept abgehandelt werden. Als abschließende Maßnahme musste die Materialisierung auf Basis des Fertigungsfortschritt der Kommunikationseinheit geplant werden. Die im *Meeting Materialhandshake* mitgeteilten Informationen werden vollständig von der Kommunikationseinheit abgelöst. Ergänzend sei erwähnt, dass das Informationsmanagement im Bereich der Materialisierung bereits als ergänzende Informationsquelle zu genannten *Meetings* genutzt wird.

Das nicht vollständig eingeführte Konzept beeinflusst die Validierung nicht, da bereits einige Elemente eines MES als eingeführt betrachtet werden können.

5.2.3 Herausforderungen bei der Einführung

Die größte Herausforderung im Zuge der Prozessimplementierung lag in der Einführung des neu formulierten und erzeugten Informationssystemkonzepts in die bereits vorhandene Struktur der Systeme. Um den Prozessablauf nicht zu gefährden,

musste penibel darauf geachtet werden, den etablierten Informationsfluss nicht zu gefährden, sondern zu ergänzen. Erst wenn sich die Zuverlässigkeit in der Anwendung zeigte, konnten die angedachten Teilprozesse auf die neue Systematik umgestellt werden.

Ein weiterer Faktor, welchen es zu beachten galt, war der Widerstand menschlicher Natur gegen die Prozessumstellung. Um diesen zu bewältigen, wurden in wiederkehrenden Feedbackrunden auch die Kommunikationseinheit nach den Wünschen der Anwender visuell umgestaltet und weiterentwickelt. Die Beantwortung der Frage, welche Informationen in welcher farblichen Darstellung angezeigt werden sollen, wurde zur Gänze den Anwendern überlassen. Somit konnte die Bereitschaft, die Software ordnungsgemäß zu bedienen, erhöht werden. Daraus resultierten auch vertrauenswürdigere Daten der Rückmeldungen, die wiederum eine bessere Feinsteuerung und Feinplanung des Prozesses zulassen.

6 Validierung des Artefakts

Nach DSR-Methodologie wird das Artefakt bezüglich seiner Zielsetzung bzw. Wirksamkeit zur Lösung des Problems beurteilt (siehe Kapitel 1.2). Dafür wurde sich hier auf die Messung der Prozessperformance, vor und nach der Implementierung des Prozesskonzepts mit Vorgaben der Aufgaben nach MES, festgelegt. Werden nach Einführung des vorgestellten Konzepts, in der Art und Weise der Realisierung wie ausgeführt, bessere Prozesswerte erhoben, kann das Artefakt als valide angesehen werden.

6.1 Messung der Prozessperformance

Um einen Vergleichswert für die Beurteilung zu erhalten, muss die Prozessperformance vor der Einführung des Konzepts beurteilt werden. Da zu diesem Zeitpunkt noch kein System zur Betriebsdatenerfassung verfügbar war, muss eine Beurteilung abseits von Kennzahlen der Prozessdaten ermittelt werden. Erst die Integrierung der vorgestellten Maßnahmen bringt die Möglichkeit Durchlaufzeiten etc. erheben zu können (siehe unten). Um den Vergleich zu ermöglichen muss eine Möglichkeit zur Performancemessung gefunden werden, dessen Messwert vor und nach der Implementierung des Prozesskonzepts, erhoben werden kann.

Eine Möglichkeit zur konsistenten Messgrößenerhebung ist die Analyse der aufgezeichneten „Ist-Terminplänen“. Gemeint ist die, in der Vergangenheit bis zum Zeitpunkt des Erstellens der Dokumentation, durchgeführte Aufzeichnung von geplantem und tatsächlichem Erreichen von Meilensteinterminen. Diese Terminplanaufzeichnungen werden im System *Primavera* durchgeführt. Durch zeitliche Analyse der Meilensteine und dessen Verzug, kann auf den *Taktverzug* geschlossen werden.

6.1.1 Erhebung des Taktverzugs im „alten“ operativen Fertigungsmanagement

Die oben angeführten Aufzeichnungen wurden für ein exemplarisches U-Bahn Projekt der zu untersuchenden Montagelinie abgerufen. An zwei Stichtagen, jeweils immer am Montag im Abstand von fünf Wochen, wird der Terminplan aufgerufen. Der Terminplan vom ersten Stichtag gilt als der Soll-Terminplan und der vom zweiten als Vergleichswert im Sinne eines Ist-Terminplans. Zum Zeitpunkt „vor der Einführung des Prozesskonzepts“ wurde an der Montagelinie in einem 2-Tages-Takt gefertigt. Gearbeitet wurde in zwei Schichten, 5 Tage pro Woche, wobei Feiertage ausgeschlossen sind. Alle Wagenkästen eines Zuges werden hintereinander ohne Abstand gefertigt. Betrachtet werden soll der Zeitraum ab dem Montageabschnitt 2 bis zum Montageabschnitt 10, also dem Verlassen der Montagelinie. Der

Montageabschnitt 1 wurde in diesen Betrachtungen aus den im Kapitel 3 angeführten Gründen ausgelassen. Der Zeitraum wurde von der Kalenderwoche 9 bis zur Kalenderwoche 14 des Jahres 2022 festgesetzt. Dieser Zeitraum wurde gewählt, da Wagenkästen gefertigt wurden, dessen Projekte auch noch nach der Prozesseinführung gefertigt wurden.

Der zu messende Taktverzug lässt sich daraus ermitteln, dass die Tagesverzüge zwischen Soll und Ist-Terminplan aufgezeichnet und beurteilt werden. Dabei werden Wagenkästen gewählt an denen, laut Soll-Terminplan (Definition oben) zum Zeitpunkt des Abrufens des Ist-Terminplans, der Prozess der Montage beginnen soll. Beispiel: Laut Soll- Terminplan soll am Wagenkasten „1644-354“ am 04.04., also dem Stichtag des Ist-Terminplans, die Montage begonnen werden. Jeweils zwei Wagenkästen, welche davor und danach gefertigt werden, sollen ebenfalls mit betrachtet werden. (siehe auch Ergebnisse Tabelle 6-1).

Mit den aufgenommenen Werten werden Berechnungen zur Ermittlung des absoluten Verlusts und des Taktverlusts vorgenommen. Diese sind in den Formeln 6-1 bis Formel 6-4 dargelegt

$$abs. \text{Verlust in } AT_i = \text{Datum Ist } MOAB_i - \text{Datum Soll } MOAB_i - \text{Arbeitsfreie Tage}$$

Formel 6-1 absoluter Verlust in Arbeitstagen (AT)

$$\emptyset abs. \text{Verlust in } AT = \frac{\sum_{i=1}^5 abs. \text{Verlust in } AT_i}{5}$$

Formel 6-2 durchschnittlicher Verlust in Arbeitstagen (AT)

$$\text{Taktverlust} = \frac{\emptyset abs. \text{Verlust in } AT}{\text{Taktung}}$$

Formel 6-3 Taktverlust der Linie (Taktung = Takt der Linie)

Zusätzlich dazu wird eine monetäre Kennzahl eingeführt, welche den finanziellen Verlust anhand laufender Personalkosten, der durch Taktverzögerungen hervorgerufen wird, abschätzt. Dazu wurde der durchschnittliche personelle Fertigungsaufwand eines Wagenkastens ermittelt. Der gesamte Personalaufwand eines durchschnittlichen Wagenkastens ergibt sich zu ■ **Arbeitsstunden**. Die variablen Kosten einer durchschnittlichen Personalstunde wurde zu ■ €/h von der Planungsabteilung übermittelt. Die Verlustkosten fallen in dieser Berechnungslogik pro produzierten Wagenkasten an.

$$K_{\text{Verlust}} = \text{Taktverlust} \cdot \text{Personalaufwand} \cdot k_{\text{Pers}}$$

Formel 6-4 Verlustkosten aufgrund variablen Mehrkosten PERS (k_{Pers} = variable Personalkosten)

6.1.2 Erhebung des Taktverzugs im „neuen“ operativen Fertigungsmanagement

Dieselben, in Kapitel 6.1.1, angeführten Kennzahlen, sollen auch nach der vollständigen Einführung des Konzepts ex post aufgenommen werden. Hier soll ein Zug desselben Projekts und desselben Typs beobachtet werden. Der Zeitraum der Beobachtung wurde von der Kalenderwoche 39 bis zur Kalenderwoche 44 des Jahres 2022 festgesetzt. Auch in diesem Zeitraum wurde in einem 2 Tagestakt gefertigt.

Zusätzlich soll dazu ergänzend die Möglichkeiten der Kommunikationseinheit genutzt werden und die aufgezeichnete Durchlaufzeit mit der geplanten Durchlaufzeit verglichen werden.

6.2 Quantitativer Prozessvergleich

Zur Beobachtung „vor Prozesseinführung“ wurden Wagenkästen der U-Bahn Fertigung, welche an der untersuchten Montagelinie gefertigt werden, gewählt. Der erste Stichtag (Montag der KW9) ist der 28.02.2022 und der zweite (Montag der KW14) ist der 04.04.2022. Die Messergebnisse sind in der Tabelle 6-1 dargelegt. Die Berechnungen erfolgen dabei nach Formel 6-1, 6-2, 6-3 und 6-4.

Es lässt sich ein durchschnittlicher absoluter Verlust von **11,6 Arbeitstagen** und ein Taktverlust von **5,8 Takten**, also durchschnittlich 5,8 Wagenkästen nachweisen. Die Verlustkosten ergeben sich zu ■■■€.

Es sei hier angeführt, dass zum Zeitpunkt der Aufnahme der Ausgangsmessdaten große Arbeitsausfälle aufgrund des Höhepunktes der Covid-19 Pandemie 2022⁶⁷ zu beklagen waren. Der große Taktverzug ist nicht allein auf das Fehlen eines Fertigungsmanagementsystems zurückzuführen.

Die Beobachtung „nach der Prozesseinführung“ wurde von der Kalenderwoche 39 bis zur Kalenderwoche 44 angestellt. Die zugehörigen Stichtage sind der 26.09.2022 und der 31.10.2022. Die Messwerte sind der Tabelle 6-2 zu entnehmen.

Es lässt sich ein durchschnittlicher absoluter Verlust von **1,2 Arbeitstagen** und ein Taktverlust von **0,6 Takten**, also durchschnittlich 0,6 Wagenkästen, nachweisen. Die Verlustkosten ergeben sich zu ■■■€.

Folgend werden die Ergebnisse in der Tabelle 6-3 gegenübergestellt.

⁶⁷ <https://covid19-dashboard.ages.at/>, aufgerufen am 05.11.2022

	1644-352		MM048M61		1644-354		MM048M62		1644-353	
	Plan (KW9)	Ist (KW14)	Plan (KW9)	Ist (KW14)	Plan (KW9)	Ist (KW14)	Plan (KW9)	Ist (KW14)	Plan (KW9)	Ist (KW14)
MOAB2	29.03.2022	13.04.2022	31.03.2022	15.04.2022	04.04.2022	20.04.2022	06.04.2022	22.04.2022	08.04.2022	26.04.2022
MOAB3	31.03.2022	15.04.2022	04.04.2022	20.04.2022	06.04.2022	22.04.2022	08.04.2022	26.04.2022	12.04.2022	28.04.2022
MOAB4	04.04.2022	20.04.2022	06.04.2022	22.04.2022	08.04.2022	26.04.2022	12.04.2022	28.04.2022	14.04.2022	02.05.2022
MOAB5	06.04.2022	22.04.2022	08.04.2022	26.04.2022	12.04.2022	28.04.2022	14.04.2022	02.05.2022	19.04.2022	04.05.2022
MOAB6	08.04.2022	26.04.2022	12.04.2022	28.04.2022	14.04.2022	02.05.2022	19.04.2022	04.05.2022	21.04.2022	06.05.2022
MOAB7	12.04.2022	28.04.2022	14.04.2022	02.05.2022	19.04.2022	04.05.2022	21.04.2022	06.05.2022	25.04.2022	10.05.2022
MOAB8	14.04.2022	02.05.2022	19.04.2022	04.05.2022	21.04.2022	06.05.2022	25.04.2022	10.05.2022	27.04.2022	12.05.2022
MOAB9	19.04.2022	04.05.2022	21.04.2022	06.05.2022	25.04.2022	10.05.2022	27.04.2022	12.05.2022	29.04.2022	16.05.2022
abs. Verlust in Arbeitstagen	11		11		12		12		12	

Tabelle 6-1 Messergebnisse "vor Prozessintegration"

	MM054M63		MM054M66		MM054M65		MM054M64		MM055M61	
	Plan (KW39)	Ist (KW44)	Plan (KW39)	Ist (KW44)	Plan (KW39)	Ist (KW44)	Plan (KW39)	Ist (KW44)	Plan (KW39)	Ist (KW44)
MOAB2	20.10.2022	25.10.2022	25.10.2022	28.10.2022	02.11.2022	03.11.2022	08.11.2022	08.11.2022	14.11.2022	14.11.2022
MOAB3	24.10.2022	28.10.2022	28.10.2022	03.11.2022	04.11.2022	07.11.2022	10.11.2022	10.11.2022	16.11.2022	16.11.2022
MOAB4	27.10.2022	03.11.2022	03.11.2022	07.11.2022	08.11.2022	09.11.2022	14.11.2022	14.11.2022	18.11.2022	18.11.2022
MOAB5	02.11.2022	07.11.2022	07.11.2022	09.11.2022	10.11.2022	11.11.2022	16.11.2022	16.11.2022	22.11.2022	22.11.2022
MOAB6	04.11.2022	09.11.2022	09.11.2022	11.11.2022	14.11.2022	15.11.2022	18.11.2022	18.11.2022	24.11.2022	24.11.2022
MOAB7	08.11.2022	11.11.2022	11.11.2022	15.11.2022	16.11.2022	17.11.2022	22.11.2022	22.11.2022	28.11.2022	28.11.2022
MOAB8	10.11.2022	15.11.2022	15.11.2022	17.11.2022	18.11.2022	21.11.2022	24.11.2022	24.11.2022	30.11.2022	30.11.2022
MOAB9	14.11.2022	17.11.2022	17.11.2022	21.11.2022	22.11.2022	23.11.2022	28.11.2022	28.11.2022	02.12.2022	02.12.2022
abs. Verlust in Arbeitstagen	3		2		1		0		0	

Tabelle 6-2 Messergebnisse „nach Prozessimplementierung“

	vor Prozessimplementierung	nach Prozessimplementierung
Ø abs. Verlust in AT	11,6	1,2
Taktverlust	5,8	0,6
Verlustkosten PERS	■€	■€

Tabelle 6-3 Ergebnisgegenüberstellung

Es lässt sich eine Verringerung des Taktverlusts bzw. der Verlustkosten von 89,6% (Bezogen auf die Ausgangsmessung) nachweisen.

6.3 Qualitativer Prozessvergleich

Eine qualitative Analyse inwiefern der Prozess, nach Vorgaben der Literatur verbessert wurde, ist im Kapitel 3.2.2 ausführlich dokumentiert. Die analysierten Kernaussagen seien hier zur Vollständigkeit, überblicksmäßig vom Kapitel 3.2.2 angeführt (siehe Tabelle 6-4). Die 5 eingeführten Maßnahmen, um die sich der Prozess qualitativ verbessert, sind im Kapitel 4.1 erläutert. Zusammenfassend wurde Prozess durch diese 5 Maßnahmen verbessert:

1. Arbeitsplanung und Materialisierung wird schichtgenau organisiert
2. Transparenz über den Fertigungsstatus erlangen
3. Kommunikationskanal der Materialverfügbarkeit schaffen
4. Kommunikationskanal der Störfälle und des Montageabschnittstatus schaffen
5. Effizienzsteigerung der manuellen Kommunikationstätigkeiten (Meetings) und Elimination lokaler Dokumente

Da die Maßnahmen nach der Funktion eines Fertigungsmanagementsystems nur in Kombination wirken können kann hier nicht abschließend geklärt werden, welche der Maßnahmen am meisten Wirkung zeigte.

Aufgaben	Vorgaben VDI5600-1	Gap-Analyse	Vorgeschlagene Maßnahmen
Auftrags- management	Auftrag verfolgen und mit Informationen ergänzen	Fertigungs- fortschritt nur lokal aufgezeichnet	Informationssystem in den Prozessablauf integrieren; Fertigungsfortschritt aufzeichnen
Feinplanung und Feinsteuerung	Steuern des Arbeitsvorrats durch Echtzeit- informationen	Nicht machbar durch fehlende <i>Echtzeit- informationen</i>	Informationssystem in den Prozessablauf integrieren und Informationen interpretieren; Arbeitsplanung muss schichtgenau erfolgen (Kap.4)

Betriebsmittel- management	Sicherstellung der Termin- und bedarfsgerechten Verfügbarkeit der Betriebsmittel	Ausfälle/ Störungen werden nicht aufgezeichnet und in Echtzeit verfügbar gemacht	Informationssystem in den Prozessablauf integrieren; Störungen aufzeichnen
Material- management	Sicherstellung der Termin- und bedarfsgerechten materiellen Ressource	Bedingt erfüllt durch fehlende Informationen des Auftragsmanagements in Echtzeit	Informationssystem in den Prozess integrieren, welches einerseits den Auftragsstatus bereitstellt und über Materialisierungsgrad informiert
Personal- management	Sicherstellung der Termin- und bedarfsgerechten personellen Ressource	Für den beobachteten Prozess ausreichend erfüllt	keine
Daten- erfassung	Andere Teilprozesse mit Informationen versorgen	Aufzeichnung erfolgt nur lokal, kein Informationsfluss in Echtzeit	Informationssystem integrieren und Schnittstellen zu anderen Teilsystemen bereitstellen
Leistungs- analyse	Leistung des Prozesses in Echtzeit aufnehmen und darstellen	Im augenscheinlichen Prozess keine Möglichkeit zur Leistungsanalyse in Echtzeit	Interpretation und Darstellung des in Echtzeit aufgezeichneten Fertigungsstatus
Qualitäts- management	Aufgaben zur systematischen Verbesserung der Produkt- und Prozessqualität	Wird im Zuge dieser Arbeit nicht betrachtet	Wird im Zuge dieser Arbeit nicht betrachtet
Informations- management	Aus gewonnenen Informationen neue ableiten und anderen Teilnehmern zur Verfügung stellen	Unzureichende Datenerfassung in Echtzeit. Kein Inf.-M. möglich	Manuellen Aufwand des Informationsmanagement verringern durch einzuführendes Informationssystem
Energie- management	Energieverbrauch des Prozesses durch Planung optimieren	Keine Funktion verfügbar	Wird im Zuge dieser Arbeit nicht betrachtet

Tabelle 6-4 Zusammenfassung der Gap-Analyse und vorgeschlagener Maßnahmen (Tabelle 3-1)

7 Resümee

Das Ziel dieser Arbeit ist die Beantwortung der Forschungsfrage, welche einführend im Kapitel 1 ausführlich beschrieben wurde. Es sollen also die Vorgaben eines Fertigungsmanagementsystem auf einen Montageprozess angewendet werden und dessen Zielsetzung beurteilt werden. Das Artefakt, das Fertigungsmanagementsystem *MES* nach VDI5600, soll nach der Validierung (Kapitel 6) auf dessen Wirksamkeit, in diesem Fall, überprüft werden.

Zusammenfassend wurde:

- eine Recherche über die Aufgaben eines Fertigungsmanagementsystems angestellt. Im Zuge dieser konnten Vorgaben und Potentiale eines *MES* in Montageprozessen der Schienenfahrzeugindustrie abgeleitet werden.
- eine Umfassende Prozessaufnahme und Dokumentation aufgezeichneter Problematiken im Prozessablauf durchgeführt. Im Sinne des BPM-Cycle der erste Schritt des Prozessmanagements durchgeführt.
- der Prozess nach den Vorgaben eines *MES* qualitativ beurteilt. In einer Gap-Analyse gezielte Abweichungen ausfindig gemacht, welche als Grundlage der Weiterentwicklungen dienen.
- ein Montageprozess konstruiert, welcher die Vorgaben und Aufgaben eines Fertigungsmanagementsystems erfüllt. Dargelegt, wie der Prozess in der Theorie stattfinden kann. (zweiter Schritt im BPM-Cycle)
- die Realisierung der lt. dem Konzept notwendigen Informatischen Systeme, Schnittstellen sowie digitaler Informationssysteme dokumentiert.
- die Einführung des Prozesskonzepts (dritter Schritt im BPM-Cycle) dokumentiert und der erste Prozessbetrieb aufgezeichnet. Daraus abgeleitet das Artefakt angepasst.
- die Prozessperformance an Hand von Taktverlusten vor und nach der Prozessimplementierung aufgezeichnet und der Prozess qualitativ beurteilt.

Abschließend soll hier mittels der gesammelten Messwerte das Artefakt bezüglich der Zielsetzung beurteilt werden.

7.1 Beantwortung der Forschungsfrage und Beurteilung des Artefakts

Im Zuge der Prozessperformancemessung zeigte sich eine deutliche Verringerung des Taktverlusts von 5,8 auf 0,6. Die Verlustkosten, resultierend aus dem Taktverlust, sanken anteilmäßig von ■■■€ auf ■■■€ um ca. 90%.

Die einleitend angeführte Forschungsfrage, „*in welcher Art und Weise ist es für den betrachteten Anwendungsfall mit den gegebenen Randbedingungen (Charakteristikum der Fertigung der Schienenfahrzeugindustrie geforderte Liefertreue, Transparenz und Feinsteuerung) möglich, ein transparentes Fertigungsmanagementsystem aufzusetzen, um den aufgezeichneten Problemen, Notwendigkeiten und Bedürfnissen zu begegnen*“, kann folgend beantwortet werden. „Durch die Einführung und **Nutzung eines Fertigungsmanagementsystems nach VDI5600** ist es für diesen Anwendungsfall **möglich** den aufgezeichneten **Problemen, Notwendigkeiten und Bedürfnissen** von Unternehmen der Schienenfahrzeugindustrie **zu begegnen**.“ Durch den Vergleich der Prozessperformance vor und nach der Implementierung sind eindeutig positive Aspekte zu beobachten. Nimmt man an, dass die Performancesteigerung allein aus dem neuen Prozesskonzept resultiert, würde dies die Wirksamkeit des Artefakts nachdrücklich bestätigen. Da in diesem Zeitraum zusätzlich weitere Verbesserungsprojekte durchgeführt wurden und die Ausgangsmessung in einer für das Unternehmen sehr schwierigen Produktionszeitraum (siehe Kapitel 6.1.1) durchgeführt wurde, kann nicht endgültig geklärt werden, wie groß der Anteil an der Verbesserung auf die Prozessänderung und damit das Artefakt rückzuführen ist. Aufgrund der signifikanten Einsparung müssten andere Effekte vollständig ausgeschlossen werden, um diese ausschließlich auf die Möglichkeiten eines Fertigungsmanagementsystems rückzuführen.

Um eine solide Aussage über die allgemeine Wirksamkeit eines Fertigungsmanagementsystems für Produktionsprozesse der Schienenfahrzeugindustrie zu machen, sollten noch weitere Studien in anderen Unternehmen der Branche durchgeführt werden.

Der gemessenen Einsparung von rund 90% der Verlustkosten stehen ein langwieriger Prozess der Entwicklung und Einführung des neuen Prozesskonzepts gegenüber. So beschäftigte sich eine Teilarbeitskraft zu je 16 Stunden pro Woche 8 Arbeitsmonate ausschließlich mit diesem Projekt. Außerdem mussten weitere personelle Ressourcen, wie die der produktionsleistenden Stellen, für Schulungs- und Feedbackrunden sowie Workshops aufgewendet werden. Weitere technische Ressourcen waren notwendig, um die Entwicklung der schlussendlich umgesetzten Kommunikationseinheit und des Dashboards voranzutreiben.

7.2 Weiterführende Forschung

Um die Aspekte deutlicher begründen zu können, sollte in Zukunft bei weiteren Prozessänderungen eine umfangreichere Studie zu Beginn, idealerweise vor der Prozessimplementierung, durchgeführt werden. Damit werden Effekte besser berücksichtigt und eingeordnet.

Die Thematik der Fertigungsmanagementsysteme ist eine durchaus umfangreiche, deren Umsetzung auf verschiedenste Bereiche des Unternehmens Auswirkungen hat. Detailliertere Studien betrachten die jeweiligen Aspekte differenzierter und lassen ggf. genauere Aussagen zu.

8 Anhang

Zur besseren Darstellung des gesamtheitlichen Prozesses sei auf die digitale Ausgabe dieser Arbeit verwiesen.

9 Literaturverzeichnis

Balla J., Layer F. (2010). *Produktionsplanung mit SAP APO*. Galileo Press

Bauer J. (2009). *100 Produktionskennzahlen*. Cometis

Bichler K. (2007). *100 Logistikkennzahlen*. Cometis

Böhl J. (2001). *Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung* (Vol. 150). Herbert Utz Verlag.

Brunner F. J. (2017). *Japanische Erfolgskonzepte: KAIZEN, KVP, Lean Production Management, Total Productive Maintenance Shopfloor Management, Toyota Production System, GD3-Lean Development*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Chinosi M., Trombetta A. (2011). *BPMN: An introduction to the standard*. Elsevier Ltd.

Hennig A. (2008). *100 Kennzahlen der Balanced Scorecard*. Cometis

Hevner A. (2010). *Design Science Research in Information Systems*. Springer Science + Business Media Verlag

Hicks C., McGovern T., Earl, C. F. (2000). *Supply chain management: A strategic issue in engineer to order manufacturing*. International Journal of Production Economics

Jeyaraj A., Sauter V. (2014). *Validation of business process models using swimlane diagrams*. Journal of Information Technology Management

Kamhuber F., Sobottka T., Heinzl B., Henjes J., Sihn W. (2020). *An efficient hybrid multi-criteria optimization approach for rolling production smoothing of a European food manufacturer*. Elsevier Ltd.

Kletti J. (2007). *Konzeption und Einführung von MES-Systemen*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Kletti J. (Hrsg.) (2015). *MES – Manufacturing Execution System 2.Auflage*. Springer Vieweg Verlag

Kletti J., Deisenroth R. (2019). *MES-Kompendium*. Springer Vieweg Verlag

Lang M., Wagner R. (2020). *Das Change Management Workbook*. Carl Hanser Verlag München

Matyas K. (2020). *Instandhaltungsmanagement Skriptum*. Technische Universität Wien

Redlein A. (2019). *Industrielle Informationssysteme Skriptum*. Technische Universität Wien

Schlund S. (2020). *Projekt- und Prozessmanagement Skriptum*. Technische Universität Wien

Scheer A.W., Jost W., Kruppke H., Kindermann H. (2006). *Agilität durch Aris Geschäftsprozessmanagement*. Springer Verlag

Sihn W., Sunk A., Nemeth T., Kuhlant P. & Matyas, K. (2016). *Produktion und Qualität: Organisation, Management, Prozesse*. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Verein Deutscher Ingenieure (VDI) (2016). *Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing execution systems - MES) VDI 5600*. Beuth Verlag GmbH

Womack J.P., Jones D. T. (2003). *Lean thinking: banish waste and create wealth in your organization*, Free Press

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Framework des DSRM nach Hevner	2
Abbildung 1-2 Überblick über den geplanten Aufbau der Forschungsarbeit.....	6
Abbildung 2-1 Wirkungskreislauf, realisiert und unterstützt durch MES	9
Abbildung 2-2 MES in den Leitebenen eines Unternehmens	10
Abbildung 2-3 BPM als kontinuierlicher Verbesserungskreislauf.....	18
Abbildung 2-4 Produktionszeiten OEE	24
Abbildung 3-1 Überblick über den Fertigungsprozess eines Wagenkastens	27
Abbildung 3-2 Werkslayout der Montagehalle	28
Abbildung 3-3 Physisches Schema des Montageprozess	29
Abbildung 3-4 Schematische Darstellung der Organisation der Arbeitspakete.....	30
Abbildung 3-5 Überblick des mit der Arbeitsorganisation verknüpftem Material	31
Abbildung 3-6 Überblick über die Systemlandschaft und das Zusammenwirken.....	33
Abbildung 3-7 Datenfluss im System eSFB	36
Abbildung 3-8 Datenfluss beim Erzeugen des Terminplans	38
Abbildung 3-9 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Fertigungsablauf und Meeting Morgenbesprechung.....	41
Abbildung 3-10 Prozessfluss BPMN des Subteilnehmers Materialbereitstellung	43
Abbildung 3-11 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Meeting Materialhandshake (Logistik Shopfloor).....	45
Abbildung 3-12 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Meister-Shopfloor und 11Uhr Kaskade.....	47
Abbildung 3-13 Ishikawa-Diagramm Problematik 1	50
Abbildung 3-14 Ishikawa-Diagramm Problematik 2	51
Abbildung 3-15 Ishikawa-Diagramm Problematik 3	52
Abbildung 3-16 Ishikawa-Diagramm Problematik 4	53
Abbildung 4-1 Verfügbare Informationen durch ein solches Rückmeldesystems (konzeptionell)	62
Abbildung 4-2 Beispiel für erfüllten Terminplan (Frozen Zone laut Terminplan)	63
Abbildung 4-3 Beispiel für Terminverzug (Frozen Zone muss überdacht werden) ...	63
Abbildung 4-4 Konzept eines Informationstools zur Störungsmeldung.....	66
Abbildung 4-5 Konzept der Montageübersicht mit Statusinformationen	66
Abbildung 4-6 Konzept des Kommunikationstools Material Communicator.....	70
Abbildung 4-7 Informationsfluss am Material Communicator.....	73
Abbildung 4-8 Informationsfluss der Fehlteilinformationen im System eSFB.....	74
Abbildung 4-9 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Fertigungsablauf und Meeting Morgenbesprechung im Soll Zustand	76
Abbildung 4-10 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Materialbereitstellung im Soll Zustand.....	78

Abbildung 4-11 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Meeting Materialhandshake (Logistik-Shopfloor) im Soll Zustand.....	81
Abbildung 4-12 Prozessfluss BPMN Subteilnehmer Meeting Meister Shopfloor und 11Uhr Kaskade im Soll Zustand	83
Abbildung 5-1 Datenschnittstellen in der Systemlandschaft	86
Abbildung 5-2 Realisierte Kommunikationseinheit (Material Kommunikator) mit Beschreibung.....	89
Abbildung 5-3 Exemplarische Anzeige der Fehlteile	90
Abbildung 5-4 Dashboard des Fertigungsstaus.....	92
Abbildung 5-5 Darstellung des Fertigungsfortschritt über dem Soll-Terminplan in Swimlane-Darstellung.....	93

11 Formelverzeichnis

Formel 6-1 absoluter Verlust in Arbeitstagen (AT).....	98
Formel 6-2 durchschnittlicher Verlust in Arbeitstagen (AT).....	98
Formel 6-3 Taktverlust der Linie (Taktung = Takt der Linie).....	98
Formel 6-4 Versluskosten aufgrund variablen Mehrkosten PERS (k_{Pers} = variable Personalkosten).....	98

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Semantik der BPMN	22
Tabelle 2-2 Beschreibung der Verlustzeiten	24
Tabelle 3-1 Zusammenfassung der Gap-Analyse und vorgeschlagener Maßnahmen	58
Tabelle 6-1 Messergebnisse "vor Prozessintegration"	100
Tabelle 6-2 Messergebnisse „nach Prozessimplementierung“	101
Tabelle 6-3 Ergebnisgegenüberstellung	102
Tabelle 6-4 Zusammenfassung der Gap-Analyse und vorgeschlagener Maßnahmen (Tabelle 3-1)	103

13 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
d.h.	das heißt
etc.	et cetera
h	Stunde
min	Minute
s	Sekunde
max.	maximal
z.B.	zum Beispiel
€	Euro
BPM	Business Process Management
BPMN	Business Process Modell and Notation
csv	comma separated values
AT	Arbeitstag
MES	Manufacturing Execution System
OEE	Overall Equipment Effectiveness
DLZ	Durchlaufzeit
LZ	Lieferzuverlässigkeit
NG	Nutzungsgrad
LG	Leistungsgrad
QG	Qualitätsgrad
MTBF	Mean time between failures
ggf.	gegebenenfalls
KW	Kalenderwoche
PERS	Personal
QEB	Quote Eilbestellungen