

Masterthesis

# **Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozess- absicherung elektronischer Bauteile in der Serienent- wicklung**

**Jacek Damian  
Rybus**

**15.12.2019**

# **Masterthesis**

zur Erlangung des akademischen Grades eines

## **Master of Engineering (M.Eng.) Wirtschaftsingenieur Elektro- und Informations- technik**

an der

**Hochschule Konstanz** Technik Wirtschaft und Gestaltung  
Fakultät Maschinenbau/Wirtschaftsingenieurwesen

## **Analyse und Optimierung der stand- ortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile in der Serienentwicklung**

vorgelegt von: Jacek Damian Rybus

betreut von: Prof. Dr. Martin Haberstroh

und: Jan Gundlach

ausgegeben am: 15.09.2019

eingereicht am: 15.12.2019

## **Sperrvermerk**

Die vorliegende Masterthesis mit dem Titel: „Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile in der Serienentwicklung“ beinhaltet interne und vertrauliche Informationen des Unternehmens Audi AG Werk Neckarsulm. Aus diesem Grund ist die Arbeit mit einem Sperrvermerk versehen.

Diese Arbeit ist der Öffentlichkeit nicht in ihrer vollständigen Form zugänglich zu machen. Die enthaltenen Informationen sind vertraulich zu behandeln.

*Neckarsulm im Dezember 2019, Jacek Damian Rybus*

## **Vorwort**

Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit wurde bei der Audi AG in Neckarsulm im Zeitraum von 15.09 – 15.12.2019 erstellt. Diese dient der Erlangung des akademischen Grades „Master of Engineering“ im Studiengang Wirtschaftsingenieurwesen Elektro- und Informationstechnik an der Hochschule Konstanz Technik, Wirtschaft und Gestaltung.

Hiermit bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern der Audi AG, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit tatkräftig unterstützt haben.

Neckarsulm, im Dezember 2019

Jacek Damian Rybus

## **Abstract**

Zunehmende Datenmengen und folglich eine steigende Anzahl elektronischer Komponenten im Automobil, erhöhen den Aufwand innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung. Aufgrund der zusätzlichen Asynchronität zwischen den Standorten der Audi AG wird diese Tätigkeit deutlich erschwert und weist zudem eine gravierende Ineffizienz auf. Demnach verfolgt die vorliegende Arbeit eine Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung, sodass ein gemeinsamer Standard definiert wird. Um die Forschungsfrage zu beantworten werden verschiedene Themenfelder statistisch untersucht sowie Experteninterviews geführt, um konkrete Maßnahmen abzuleiten. Ergebnisse zeigen einen klaren Unterschied der Arbeitsweise zwischen den Standorten Neckarsulm und Ingolstadt, das Fehlen einer allgemeinen Datensicherheit, eine Abhängigkeit zwischen der abgebildeten Varianz in der Vorserie und der Produkt- und Prozessabsicherung sowie explizite Gefahren bewirkt durch Unternehmensziele. Auf dieser Grundlage ist es empfehlenswert, eine Produkt- und Prozessabsicherung in der frühen Phase prozessual zu verankern. Zusätzlich wird eine vom Produktionsprozess losgelöste Datensicherheit systemseitig erreicht, indem eine prozessuale Änderung vorgenommen wird. Zudem löst ein algorithmischer, automatisierter Ansatz diverse Defizite verbunden mit der Varianz in der Serienentwicklung. Zuletzt wird anhand eines Simulationsmodells mit festen Kooperationspartnern eine prototypische Präventionsmaßnahme hinsichtlich der langfristigen Unternehmensziele definiert.

# Inhalt

<b>Sperrvermerk.....</b>	<b>II</b>
<b>Vorwort .....</b>	<b>III</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>IV</b>
<b>I.     Abbildungen .....</b>	<b>VII</b>
<b>II.    Tabellen.....</b>	<b>VII</b>
<b>III.   Abkürzungen .....</b>	<b>VIII</b>
<b>1     Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1   Problemstellung.....	2
1.2   Zielsetzung .....	2
1.3   Vorgehensweise.....	2
1.4   Themenabgrenzung .....	3
<b>2     Theoretische Grundlagen .....</b>	<b>9</b>
2.1   Einordnung des Prozessbegriffs.....	9
2.2   Prozessmanagement.....	10
2.3   Einordnung des Qualitätsbegriffs.....	12
2.4   Qualitätsmanagement und Qualitätsmanagementsysteme.....	13
2.5   Einbindung der Prozesse in das Qualitätsmanagement.....	14
2.6   Qualitätsmanagementmethoden zur Prozessoptimierung.....	16
2.6.1   Lean Management.....	16
2.6.2   Kaizen .....	18
2.6.3   Six-Sigma .....	20
2.6.4   Lean Six Sigma.....	22
2.6.5   Evaluierung der Methoden.....	23
2.6.6   DMAIC – Das Instrument des Lean-Six-Sigma-Ansatzes.....	23
2.7   Grundlagen zur Produkt- und Prozessabsicherung .....	26
2.8   Datenlogistik 24.....	28
<b>3     Bestandsaufnahme Produkt- und Prozessabsicherung .....</b>	<b>31</b>
3.1   Asynchronität der Standorte .....	31
3.1.1   Vergleich der Standorte mithilfe einer Umfrage.....	32
3.1.2   Vergleich der Standorte durch Auswertung realer Projekte.....	33
3.2   Datenlogistik24.....	41
3.3   Varianz in der Serienentwicklung .....	43
3.4   Auswirkungen stagnierender Fahrzeugaufbauten.....	45
3.5   Übersicht der Bestandsaufnahme .....	47

<b>4</b>	<b>Analyse und Lösungskonzepte zur Optimierung.....</b>	<b>49</b>
4.1	Die frühe Phase ermöglichen .....	49
4.1.1	Analyse - Standortübergreifende Arbeitsweise.....	49
4.1.2	M1 - Verantwortungsübernahme GV2.....	52
4.1.3	M2 - Kooperation Planung .....	53
4.1.4	M3 - Kooperation Aufbau .....	53
4.2	Datensicherheit in der frühen Phase.....	54
4.2.1	Analyse - vASP.....	54
4.2.2	Analyse - DBP .....	55
4.2.3	Analyse - PASTA.....	56
4.2.4	M4 - PASTA.....	60
4.3	Varianz in der frühen Phase .....	61
4.3.1	Analyse - Sensibilisierung der Besteller .....	62
4.3.2	M5 - Aufbausteuerung Händisch.....	63
4.3.3	Analyse - Prototypischer Algorithmus .....	64
4.3.4	Analyse - Konfigurationseinheit CoRE .....	66
4.3.5	M6 - Aufbausteuerung via CoRE .....	67
4.4	Stagnierende Aufbauten in der frühen Phase .....	68
4.4.1	Analyse - Testing am HIL.....	69
4.4.2	M7 - Begleitung der Testinstanz HIL .....	71
4.4.3	Analyse - Simulationsmodell .....	72
4.4.4	M8 - Zentrales Simulationsmodell (VSC) .....	73
4.4.5	M9 - Dezentrales Simulationsmodell.....	75
4.5	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	76
<b>5</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse und Handlungsempfehlung.....</b>	<b>78</b>
5.1	Bewertungsworkshop .....	78
5.2	Handlungsempfehlung.....	82
<b>6</b>	<b>Fazit.....</b>	<b>85</b>
<b>IV.</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>X</b>
<b>V.</b>	<b>Eidesstattliche Versicherung .....</b>	<b>XV</b>
<b>VI.</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>XVI</b>

## I. Abbildungen

Abbildung 1: Entwicklung der Datenmengen im Automobil .....	1
Abbildung 2: Produktentstehungsprozess der Audi AG .....	4
Abbildung 3: Aufbaustruktur des VSC .....	5
Abbildung 4: Organigramm P-V4.....	5
Abbildung 5: Inbetriebnahmekonzept D5.....	7
Abbildung 6: Grundstruktur eines Geschäftsprozesses .....	10
Abbildung 7: Rule of Ten.....	14
Abbildung 8: Darstellung der Norm DIN EN ISO 9001:2015-11 im PDCA-Zyklus .....	15
Abbildung 9: Der PDCA-Zyklus .....	19
Abbildung 10: Innovation in Ergänzung mit Kaizen.....	19
Abbildung 11: Normalverteilung.....	21
Abbildung 12: Vereinfachte Systemlandschaft DL24 .....	28
Abbildung 13: Zeitstrahl VSC-Ist Ingolstadt und Neckarsulm.....	32
Abbildung 14: Fehlerverläufe des C8 und D5 .....	36
Abbildung 15: Fehleranzahl pro Zeiteinheit t des D5 und C8 (normiert).....	37
Abbildung 16: Entwicklung des Arbeitsaufwands des D5 und C8 .....	39
Abbildung 17: IST-Zustand DL24 .....	42
Abbildung 18: Ist-Zustand der Aufbausteuerung.....	44
Abbildung 19: Ist-Zustand Produkt- und Prozessabsicherung (neu) .....	46
Abbildung 20: Erweiterter Ist-Zustand Produkt- und Prozessabsicherung (neu) ...	46
Abbildung 21: Zusammenfassung Ergebnisse Bestandsaufnahme .....	48
Abbildung 22: DBP-Konzept.....	55
Abbildung 23: Aufbau der technischen Stückliste .....	57
Abbildung 24: Erkannte Lücken durch PASTA .....	58
Abbildung 25: Zusammenhang der Datensicherheit, des DBP und PASTA.....	60
Abbildung 26: Zusammenfassung der Ergebnisse .....	76
Abbildung 27: Allgemeine Klassifikation der Maßnahmen .....	79
Abbildung 28: Klassifikation der Maßnahmen nach Bewertungsbereich .....	81
Abbildung 29: Handlungsempfehlung.....	82
Abbildung 30: Prototypischer Umsetzungsplan .....	84

## II. Tabellen

Tabelle 1: Bedeutung der Abteilungsbezeichnung.....	6
Tabelle 2: Zuordnung der Baureihen zu den Modellreihen .....	6
Tabelle 3: Bewertung der Methoden zur Prozessoptimierung.....	23
Tabelle 4: Ergebnisse des Workshops .....	33
Tabelle 5: Dokumentiere Fehler des AU651 (D5) und AU583 (C8).....	34
Tabelle 6: Vergleich D5 und C8.....	40
Tabelle 7: Vergleich der Arbeitsweise .....	50
Tabelle 8: Bewertungsmaßstab .....	78



### III. Abkürzungen

Fachspezifische Abkürzungen entsprechen der Audi AG.

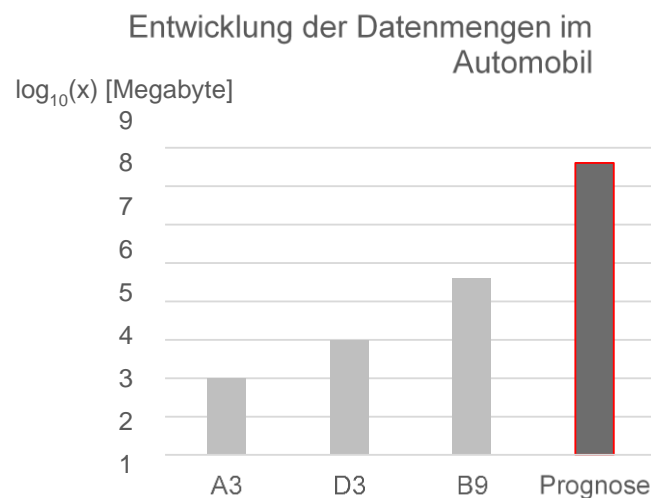
<b>0S</b>	Nullserie
<b>AA</b>	Arbeitsanweisung
<b>AP</b>	Arbeitspaket
<b>ASP</b>	Absicherungs-Prüfung
<b>ASV-Release</b>	Alternativ-Sollverbau-Release
<b>AVx</b>	Auftragsabwicklung und Versuchsvorbereitung aller (x) Fachbereiche der TE
<b>B9</b>	aktuelles Modell des A4
<b>BESI</b>	Bedarfsermittlungssystem
<b>BZD</b>	Bauzustandsdokumentation
<b>C8</b>	aktuelles Modell des A6
<b>COP</b>	Carry Over Part
<b>D5</b>	aktuelles Modell des A8
<b>DBP</b>	Datenbestellprozess
<b>DGL</b>	Differentialgleichung
<b>DIN</b>	Deutsches Institut für Normung
<b>DL24</b>	Datenlogistik24
<b>DMAIC</b>	Define, Measure, Analyze, Improve, Control
<b>EFR</b>	Einfahrrolle
<b>EN</b>	Europäische Norm
<b>EW</b>	Entwicklungswerkstatt
<b>FAP</b>	Fehlerabstellprozess
<b>FAS</b>	Fahrassistenzsystem
<b>FIS</b>	Fertigungs-Informations- und Steuerungssystem
<b>FLMC</b>	Top View Kalibrierung
<b>FWE</b>	Fahrwerkeinstellstand
<b>GVM</b>	Gesamtverbundmanagement
<b>HIL</b>	Hardware-in-the-Loop
<b>HW</b>	Hardware
<b>IBN</b>	Inbetriebnahme
<b>IFA</b>	Integrierte Fahrzeug-Auftragssteuerung
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization

---

<b>IT</b>	Informationstechnik
<b>KVP</b>	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
<b>LH</b>	Lastenheft
<b>MBT</b>	Modulbeschreibung Technik
<b>MOP</b>	Motorprüfung
<b>p42</b>	production42
<b>PASTA</b>	Produktdaten-Analysen und Stücklisten-Auswertungen
<b>PDCA</b>	Plan-Do-Check-Act
<b>PEP</b>	Produktentstehungsprozess
<b>PLP</b>	Problemlösungsprozess
<b>PR-Nummer</b>	Primärreferenznummer
<b>ProTIX</b>	Problemtrackingsystem
<b>PS</b>	Projektstart
<b>PT</b>	Prototyp
<b>PTM</b>	Produkttechnologiemethodenentwickler
<b>QM</b>	Qualitätsmanagement
<b>QMS</b>	Qualitätsmanagementsystem
<b>QuEST</b>	Quality Excellence for Suppliers of Telecommunications
<b>SG</b>	Steuergerät
<b>SIL</b>	Software-in-the-Loop
<b>SOP</b>	Start of Production
<b>STEREO</b>	Stücklisten-Termin erfassung-Online
<b>SW</b>	Software
<b>TE</b>	Technische Entwicklung
<b>TNR</b>	Teilenummer
<b>TT</b>	Technikträger
<b>UPS</b>	Universelles Prüfsystem
<b>v42</b>	version42
<b>vASP</b>	virtuelle Absicherungs-Prüfung
<b>VFF</b>	Vorserien-Fahrzeug-Freigabe
<b>VSC</b>	Vorseriencenter
<b>ZDC</b>	Zieldatencontainer
<b>zFAS</b>	zentrales Fahrassistenzsystem

# 1 Einleitung

Die Ausrichtung der Automobilindustrie zielt zunehmend auf Vernetzung, Autonomie und Elektrifizierung ab. Dies wird beispielsweise durch die Zukunftsvision des VW Konzerns „TOGETHER – Strategie 2025“ deutlich.<sup>1</sup> „Zu den Schwerpunkten der Strategie 2025 zählt die „Roadmap E“, die umfassendste Elektrifizierungsoffensive [...]“<sup>2</sup> der Automobilindustrie. Durch das Zitat des Vorstandsvorsitzenden des VW Konzerns Dr. Herbert Diess wird die Aktualität nochmals unterstrichen. Die von Diess beschriebene Tendenz, vermittelt den Anstieg elektronischer Komponenten im Automobil.



**Abbildung 1: Entwicklung der Datenmengen im Automobil<sup>3</sup>**

Abbildung 1 zeigt die bisherige und prognostizierte Entwicklung der zu verarbeitenden Datenmengen. Dabei ist ein deutlicher Anstieg innerhalb vergangener Fahrzeugprojekte der Audi AG zu erkennen. Darüber hinaus zeigt die Prognose einen weiteren erheblichen Anstieg dieser Datenmengen. Dies lässt darauf schließen, dass die Anzahl elektronischer Komponenten im Fahrzeug dieser Tendenz folgen muss und somit streng monoton ansteigen wird.

Mit der beschriebenen Entwicklung in den Bereichen der Elektromobilität sowie des vernetzten und automatisierten Fahrens, steigt die Komplexität elektronischer Systeme im Fahrzeug. Folglich wird der Aufwand in der Entwicklung sowie Absicherung dieser Komponenten parallel dazu verlaufen.

Durch diese Entwicklung und die Aussage von Herrn Diess, dass „[...] im Konzern noch eine zu hohe Komplexität mit zu langen Entscheidungswegen [herrscht]“<sup>4</sup> und

---

<sup>1</sup> Vgl. Volkswagen AG 2016.

<sup>2</sup> Diess 03.05.2018.

<sup>3</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Grauf und Reimold 2017, S. 28.

<sup>4</sup> Diess 03.05.2018.

dadurch Doppelarbeit entsteht, wird eine Analyse und Optimierung der vorhandenen Prozesse unabdingbar. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Im Folgenden werden die Problematik, Zielsetzung sowie Vorgehensweise dieser Arbeit näher erläutert. Zum besseren Verständnis wird am Ende dieses Kapitels eine thematische Abgrenzung vorgenommen.

## **1.1 Problemstellung**

Die Absicherung dieser Komponenten in der Produkt- und Prozesstechnik ist eine Kernaufgabe des Vorseriencenters (VSC). Um ein serientaugliches Produkt zu garantieren, wird die Absicherung innerhalb des Produktentstehungsprozesses (PEP) unter Seriengesichtspunkten durchgeführt. Jedoch wird die Absicherung besonders im Bereich der Elektronik zunehmend aufwändiger. Dadurch ist die Anzahl auftretender Fehler sogar bis nach dem Start of Production (SOP) und der daraus resultierenden späten Abstellung unzureichend. Zusätzlich wird die Produkt- und Prozessabsicherung an den Produktionsstandorten Ingolstadt und Neckarsulm der Audi AG unterschiedlich gehandhabt. Letztlich führen diese Einflüsse zu Verzögerungen im Projektverlauf sowie erhöhten Kosten für das Unternehmen.

## **1.2 Zielsetzung**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen gemeinsamen Prozessstandard für die Standorte Neckarsulm und Ingolstadt zu definieren. Weiterführend gilt es, dies unter besonderer Bezugnahme auf die Synchronität der Arbeitsweisen und dem Verständnis der Produkt- und Prozessabsicherung durchzuführen. Zudem ist ein Kooperationsmodell zwischen dem VSC und den beteiligten Schnittstellen zu definieren. Dies ist notwendig, um die Produkt- und Prozessabsicherung allumfassend zu betreiben, zu optimieren und standortübergreifend zu synchronisieren.

## **1.3 Vorgehensweise**

Zunächst wird in Kapitel 2 eine theoretische Basis inklusive der zu untersuchenden Prozesse erstellt, um ein Verständnis für die Thematik zu schaffen. Hierbei werden zusätzlich Qualitätsmanagementmethoden zur Prozessoptimierung evaluiert, woraufhin eine geeignete Verfahrensweise zur Zielerreichung gewählt wird.

Daraufhin erfolgt eine Bestandsaufnahme der Produkt- und Prozessabsicherung. Insbesondere werden dabei Unterschiede in der Arbeitsweise, sowie die Zusammenarbeit zwischen Produkt- und Prozesstechnik und Schnittstellenfunktionen untersucht, um konkrete Defizite innerhalb der Prozesse zu definieren.

In Kapitel 4 werden die Hauptursachen der erarbeiteten Schwachstellen untersucht, wobei sowohl mögliche Synergien als auch allgemeine Optimierungspotenziale identifiziert werden. Zusätzlich werden Gründe für standortabhängige Unterschiede im gelebten Prozess der Produkt- und Prozessabsicherung sowie Arbeitsweise herausgearbeitet. Folglich wird auf Basis der Prozessanalyse ein standortübergreifender Standard definiert. Dies geschieht unter Hauptaugenmerk auf das Zusammenarbeitsmodell als auch die Prozessverankerung. Zudem werden konkrete Maßnahmen zur Optimierung weiterer beteiligter Prozesse formuliert.

Im letzten Schritt erfolgt ein Bewertungsworkshop zur Evaluierung und Priorisierung der erarbeiteten Lösungsansätze. Die Ergebnisse dieser Bewertung fließen direkt in eine Handlungsempfehlung zur Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung ein. Die Implementierung der Maßnahmen wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

## 1.4 Themenabgrenzung

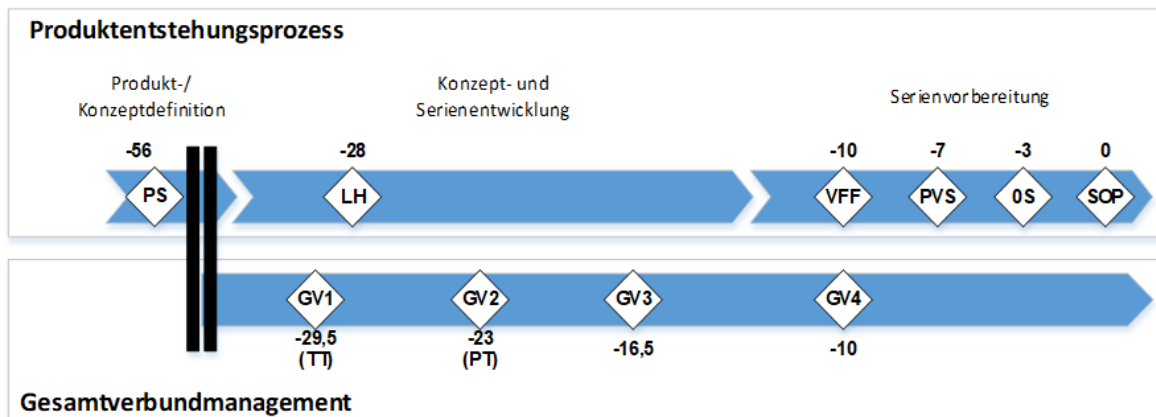
Um die Arbeit möglichst akkurat in die Unternehmenswelt der Audi AG einzubinden, muss diese zunächst sowohl thematisch und zeitlich als auch organisatorisch eingegrenzt werden. Begonnen wird mit der thematischen Abgrenzung bzw. mit dem Aufgabenbereich.

Grundsätzlich sind die Aufgaben innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung werksübergreifend definiert. Das hierbei zugrundeliegende Verständnis bezieht sich auf die Absicherung des Fahrzeugs als Produkt und dem Herstellungsprozess unter Seriengesichtspunkten. So sollen Fehler innerhalb der beiden Disziplinen erkannt, analysiert und konsequent abgestellt werden. Hierzu wird sich des standardisierten Fehlerabstellprozess (FAP) bedient. Dieser weist eine Ähnlichkeit zu dem in der Theorie bekannten Problemlösungsprozess (PLP) auf. Der angewandte FAP wird in dieser Arbeit nicht weiter beleuchtet, sondern hiermit allgemein als Werkzeug zur Fehlerabstellung innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung definiert. Zusätzlich ist der FAP als Blackbox anzusehen, da dessen Inhalte nicht dargelegt werden.

Die Produkt- und Prozessabsicherung soll idealerweise die Fehlerfreiheit eines jeden Fahrzeugprojekts zum Serienstart garantieren. Folglich soll damit dem Kunden die bestmögliche Produktqualität garantiert werden.<sup>5</sup> Dieser Produzenten-Kunden-Gedanke ist auf jeden Prozess im Konzern anwendbar. Dabei hat jede Abteilung im PEP eine nachgelagerte, unternehmensinterne Schnittstelle (Kunde), an die Ergebnisse weitergegeben werden. Somit wird nun die zeitliche Abgrenzung der vorliegenden Arbeit vorgenommen.

---

<sup>5</sup> Vgl. Buller 2017, 1ff.



**Abbildung 2: Produktentstehungsprozess der Audi AG<sup>6</sup>**

Abbildung 2 stellt einen Auszug des PEP sowie des Gesamtverbundmanagements (GVM) bei der Audi AG dar. Danach richtet sich jedes neue Fahrzeugprojekt. Aufgezeigt sind lediglich die für diese Arbeit relevanten Bestandteile für das VSC. Der gesamte Prozess ist in Anhang 1 hinterlegt. Grundsätzlich orientieren sich die an den Meilensteinen verankerten Monatszahlen am SOP. Der PEP und damit die Produkt- und Konzeptdefinition beginnen mit dem Projektstart (PS) 56 Monate vor dem SOP. Der Betrachtungszeitraum der vorliegenden Arbeit beginnt kurze Zeit vor dem Lastenheft (LH), mit dem ein Designkonzept einhergeht. In diesem Zeitraum werden die ersten Technikträger (TT) aufgebaut. Hierbei handelt es sich in der Regel um ein Vorgängermodell, in das neue technische Komponenten integriert werden. Zu GV2, 23 Monate vor SOP, wird der erste Prototyp (PT) aufgebaut. Dieses Fahrzeug beinhaltet, soweit verfügbar, alle im späteren Serienfahrzeug verbauten Komponenten. Ab Vorserien-Fahrzeug-Freigabe (VFF) beginnt die kritische Projektphase für das VSC, worin Vorserienfahrzeuge, in den Serienprozess integriert, aufgebaut werden. Mit Beginn der Nullserie (OS) wird das Fahrzeug vom VSC an die Serie übergeben. Ab diesem Zeitpunkt übernimmt die Serienanalyse die Verantwortung über das Fahrzeugprojekt und später auftretende Fehler. Drei Monate nach OS startet offiziell die Serienproduktion.<sup>7</sup>

Die hier analysierte Produkt- und Prozessabsicherung bezieht sich auf das VSC der Standorte Neckarsulm und Ingolstadt. Das VSC verfolgt unter anderem die Aufgabe, die Serienbaubarkeit der neu anlaufenden Fahrzeugmodelle zu garantieren. Dabei werden diese vor SOP möglichst seriennah aufgebaut, um alle Fahrzeugkomponenten zu erproben. Zeitgleich werden Fahrzeuge auf Kundenwunsch aufgebaut. Die internen Kunden sind hier beispielsweise die technische Entwicklung (TE) oder die Serie, die mit Hilfe der Vorserienfahrzeuge Erprobungen durchführen.<sup>8</sup>

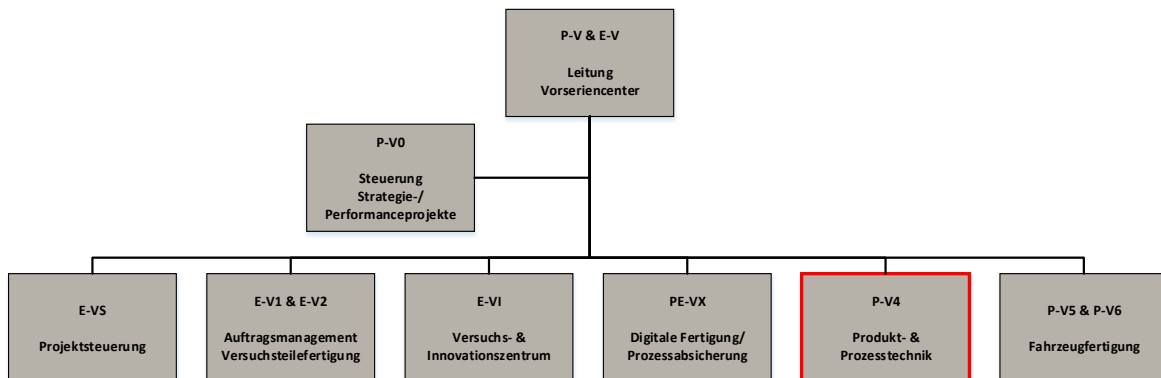
<sup>6</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 1.

<sup>7</sup> Vgl. PP-Team 2017.

<sup>8</sup> Vgl. Schelb 2017.

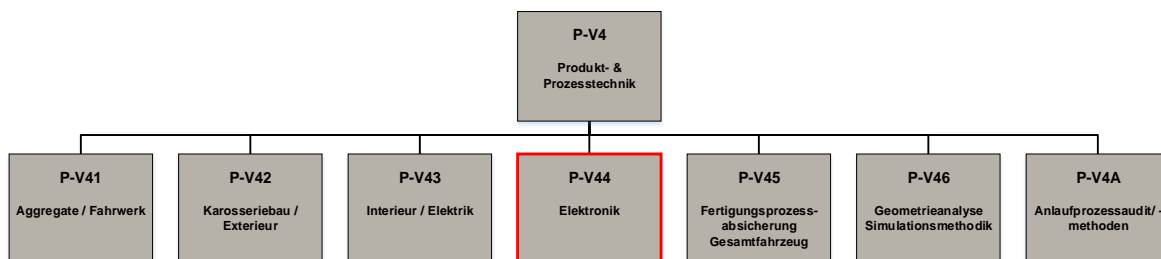
Beispielhaft können hierzu Fahrzeuge für Crashtests aufgeführt werden, mit denen die Einhaltung der Sicherheitsbedingungen getestet werden.

Weiter wird die organisatorische Abgrenzung der Arbeit vorgenommen. Dies ist relevant, um den inhaltlichen Fokus der hier analysierten Produkt- und Prozessabsicherung zu beleuchten.



**Abbildung 3: Aufbaustruktur des VSC<sup>9</sup>**

Die durchzuführende Absicherung teilt sich in diverse Bereiche innerhalb des VSC auf. So sind das Auftragsmanagement, die Versuchsteilefertigung sowie die Fahrzeugfertigung als eigenständige Bereiche involviert. Abbildung 3 veranschaulicht diese Segmentierung. Die Absicherung des Produkts sowie des Herstellungsprozesses der Fahrzeuge ein zugehöriger, autonom agierender Bereich. Darin wird die Serienbaubarkeit auch im Hinblick auf Kosten und Qualität abgesichert.



**Abbildung 4: Organigramm P-V4<sup>10</sup>**

Wie Abbildung 4 zu entnehmen ist, sind diverse Module im mechanischen Bereich wie das Fahrwerk, der Karosseriebau oder das Interieur innerhalb der Produkt- und Prozesstechnik integriert. Gleichzeitig wird die Serientauglichkeit von Steuergeräten (SG), Hochvolt- sowie Kalibriersystemen durch die Produkt- und Prozesstechnik Elektronik verfolgt.<sup>11</sup> Diese Arbeit ist im zuletzt genannten, elektronischen Bereich angesiedelt. Einen detaillierteren Gesamtüberblick über die VSC-Struktur bietet Anhang 2.

<sup>9</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 2.

<sup>10</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 2.

<sup>11</sup> Vgl. Hofschulz 2018.

Um sowohl das Produkt als auch den Inbetriebnahmeprozess in Serienqualität zu übergeben, werden alle Themen dokumentiert und bis zu ihrer Abstellung von Mitarbeitern der Abteilung P-V44 mithilfe des FAP getrieben. Die Kunden der Abteilung erwarten möglichst fehlerfreie Fahrzeuge, um valide Ergebnisse durch Erprobungen und Versuche zu erhalten.

Die Bezeichnung P-V44 beschreibt die Zuständigkeit für eine konkrete Fehlerkategorie. In diesem Fall handelt es sich um die Elektronik. Diese Arbeit wurde in der Abteilung N/P-V441 verfasst. Die Aufschlüsselung dieser Abteilungsbezeichnung ist in nachliegender Tabelle (Tabelle 1) hinterlegt.

**Tabelle 1: Bedeutung der Abteilungsbezeichnung<sup>12</sup>**

N/P-V441	
<b>N</b>	Werk Neckarsulm
<b>P</b>	Produktion
<b>V</b>	Vorseriencenter
<b>4</b>	Produkt-/Prozesstechnik
<b>4</b>	Elektronik
<b>1</b>	Neckarsulm

In der Produkt- und Prozesstechnik wird die Absicherung individuell für jede Baureihe durchgeführt, weshalb sich die Abteilung P-V44 sowohl in Neckarsulm als auch in Ingolstadt befindet. Die Zuordnung der Baureihen zu den allgemein bekannten Modellreihen wird in Tabelle 2 widergespiegelt.

**Tabelle 2: Zuordnung der Baureihen zu den Modellreihen<sup>13</sup>**

Baureihe	Modellreihe
<b>A0</b>	A1, Q2
<b>A</b>	A3, Q3, TT
<b>B</b>	A4, A5, Q5
<b>C</b>	A6, A7, Q7
<b>D</b>	A8, Q8
<b>R8</b>	R8

Am Standort Neckarsulm ist die Anzahl der Derivate mit mehr als fünfzehn verschiedenen Varianten so umfangreich wie in sonst keinem Werk. Produziert werden hier

<sup>12</sup> Eigene Tabelle in Anlehnung an Hofschulz 2018.

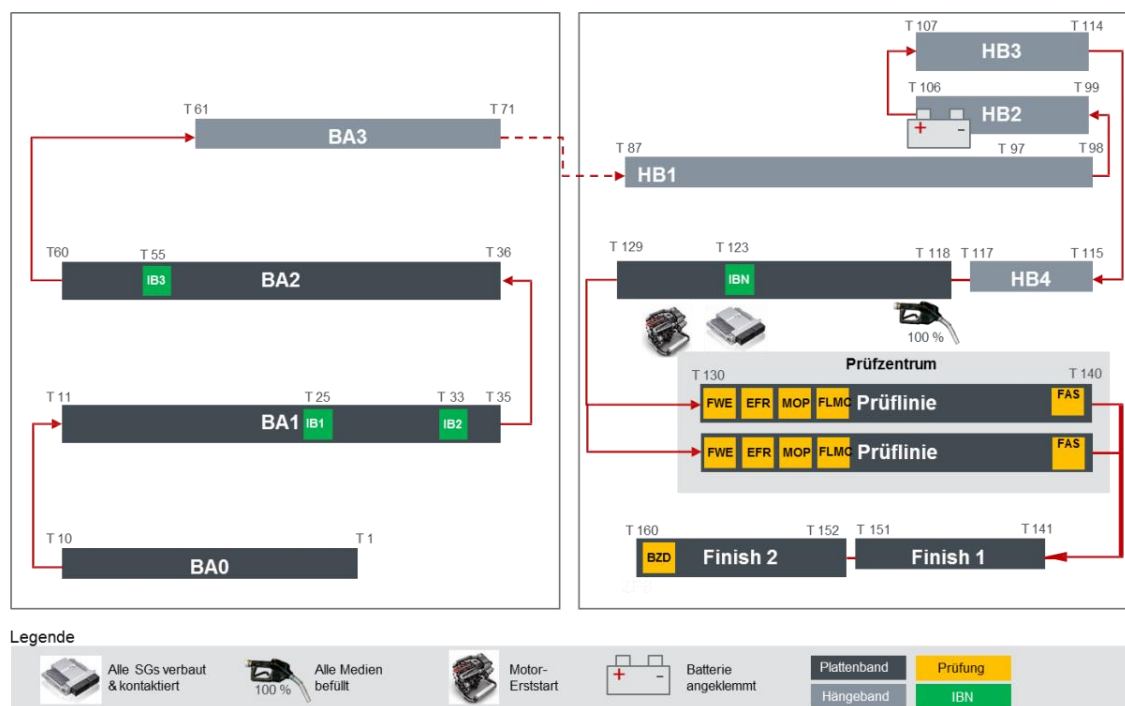
<sup>13</sup> Eigene Tabelle in Anlehnung an Audi Consulting 2017, S. 11.



Fahrzeuge der B-, C- und D-Reihe sowie die Baureihe R8, während in Ingolstadt Fahrzeuge der A-, A0- und B-Baureihe hergestellt werden.<sup>14</sup> Weitere Standorte der Audi AG werden in dieser Arbeit nicht betrachtet, da sie sich außerhalb des Aufgabenbereichs befinden.

Die Abteilung gliedert sich intern in fünf verschiedene Module: Fahrwerk/Fahrassistenzsysteme (FAS), Komfort, Anzeige/Infotainment, Antrieb/Insassenschutz und Elektrotraktion. In jedem Modul befinden sich sowohl Analyse-Mitarbeiter als auch Produkttechnologiemethodenentwickler (PTM), die für eine zeitnahe Problemlösung durch die Fachabteilungen verantwortlich sind.

Grundsätzlich verfolgt P-V44 alle Elektronikfehler, die entlang des Aufbaus und der Inbetriebnahme des Vorserienfahrzeugs entstehen. Die Inbetriebnahme erfolgt im Serienprozess an diversen, nacheinander folgenden Prüf- bzw. Prozessorten. So werden alle verbauten SG abhängig vom Aufbaustadium des Fahrzeugs iterativ in Betrieb genommen. Dabei werden unter anderem Kontrollen bezüglich des korrekten Verbaus der SG, deren Codierung und Teileumfangsprüfungen durchgeführt. Der schematische Verlauf des Herstellungsprozesses wird anhand Abbildung 5 dargestellt.<sup>15</sup>



**Abbildung 5: Inbetriebnahmekonzept D5<sup>16</sup>**

<sup>14</sup> Vgl. Audi AG 2019a.

<sup>15</sup> Vgl. Audi Vorseriencenter VSC 2017.

<sup>16</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 3.

Abbildung 5 stellt die Produktion des Fahrzeugprojekts D5 (fünfte Generation der D-Reihe) dar. Dabei sind die einzelnen Takte im Prozess abgebildet und die für die Elektronik relevanten Prozessorte markiert. Bei der Inbetriebnahme 1 bis 4 (IB1-4) findet jeweils die Inbetriebnahme der bis zu diesem Zeitpunkt im Fahrzeug verbauten SG statt. Die IBN ist ebenfalls ein Prozessort. Neben dem Erststart des Motors wird auch eine Prüfung des Gesamtverbunds aller SG im Fahrzeug durchgeführt. Im Prüfzentrum werden Kalibrierungen wie beispielsweise die der FAS, des Top Views, also der am Auto angebrachten Kameras (FLMC), sowie des Fahrwerks am Fahrwerkeinstellstand (FWE) durchgeführt. Zusätzlich wird eine Motorprüfung (MOP) und in der Einfahrrolle (EFR) eine Lenk- und Bremsprüfung absolviert. Schlussendlich erfolgt nach dem Finish, also nach der Aufbereitung des Fahrzeugs, eine Bauzustandsdokumentation (BZD). Da während der Vorserie einige Inbetriebnahmeschritte noch nicht direkt am Band durchgeführt werden können, weicht der Vorserienprozess leicht ab. Hierbei werden je nach Projektphase des Anlaufs Prozessschritte manuell in der Werkstatt durchgeführt, um die Weitergabe an den internen Kunden zu ermöglichen.<sup>17</sup>

Zusammengefasst befasst sich die Abteilung P-V44 mit der Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Komponenten von Fahrzeugen innerhalb der Serienentwicklung. Dies bedeutet die Sicherstellung notwendiger Qualitätsmerkmale für die nachgelagerte Serienproduktion. Somit ist die Produkt- und Prozessabsicherung als autonomer, standortübergreifender Prozess zu definieren.

Im Bezug darauf ist der Hintergrund des Vorhabens eine bestehende Asynchronität in der Ausübung der Produkt- und Prozessabsicherung an den Standorten Neckarsulm und Ingolstadt sowie eine daraus entstehende Ineffizienz und Verzögerung des Prozesses. Diese sollen behoben, sowie ein standortübergreifender Standard geschaffen werden. Zusätzlich soll die Produkt- und Prozessabsicherung im Allgemeinen und Kooperationen mit Schnittstellen optimiert werden. Insgesamt gelten folgende Anforderungen:

**„Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile in der Serienentwicklung“**

- Standortübergreifender Standard für Neckarsulm und Ingolstadt
- Synchronität der Arbeitsweise
- Kooperation mit Schnittstellen
- Allgemeine Optimierungspotenziale innerhalb des Prozesses.

---

<sup>17</sup> Vgl. Grauf und Reimold 2017, 45ff.

## 2 Theoretische Grundlagen

Wie in Kapitel 1 ersichtlich, liegt der Fokus dieser Arbeit auf der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung im Bereich der Elektronik. Dies soll anhand der Steigerung von Prozesseffektivität sowie -effizienz erfolgen. Zur Bearbeitung der Problemstellung werden zunächst Grundlagen zu Prozessen und deren für diese Arbeit relevanten Qualitätsmerkmale näher erläutert. Daraufhin werden Qualitätsmanagementmethoden zur nachhaltigen Prozessoptimierung aufgeschlüsselt, verglichen und bewertet. Zuletzt werden, zur Bildung einer Basis für die Analyse sowie Optimierung, relevante Prozesse der Audi AG dargestellt.

### 2.1 Einordnung des Prozessbegriffs

Um eine erfolgreiche Prozessanalyse sowie -optimierung zu erreichen, muss der Begriff des Prozesses zunächst definiert werden. Dies hilft den Stellenwert dieses Begriffs im unternehmerischen Handlungsfeld zu begreifen.

Gadatsch diskutiert den Prozess als „[...] eine sich regelmäßige wiederholende Tätigkeit mit einem definierten Beginn und Ende“.<sup>18</sup> Das Deutsche Institut für Normung e.V. erweitert diesen Begriff und beschreibt den Prozess als „[...] ein[en] Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Tätigkeiten, der Eingaben zum Erzielen eines vorgesehenen Ergebnisses verwendet.“<sup>19</sup> Hierbei wird der Begriff also um den Aspekt des Verhältnisses zwischen Input und Output erweitert. Es wird davon ausgegangen, dass es für einen Prozess Inputgrößen geben muss. Diese unterliegen einer Transformation innerhalb des Prozesses als geschlossenes System, sodass folglich ein definierter Output resultiert. Dabei erfolgt die beschriebene Transformation auf Basis eines zielgerichteten Bündels an Aktivitäten. Sie erfolgen in einer zeitlich logischen Abfolge und leisten einen Beitrag zur Unternehmensleistung.<sup>20</sup> Der Gedanke der Transformation von Inputs innerhalb eines Prozesses zur Generierung von Outputs wird auch von Sesselmann und Schmelzer geteilt.<sup>21</sup>

Neben der eindeutigen Definition eines Prozesses ist dessen Abgrenzung nicht zu vernachlässigen. So sind neben In- und Output auch Schnittstellen zu Vorgänger- und Nachfolgeprozess zu betrachten.<sup>22</sup> Die beschriebene Definition des Prozessbegriffs wird in nachfolgender Abbildung ersichtlich.

---

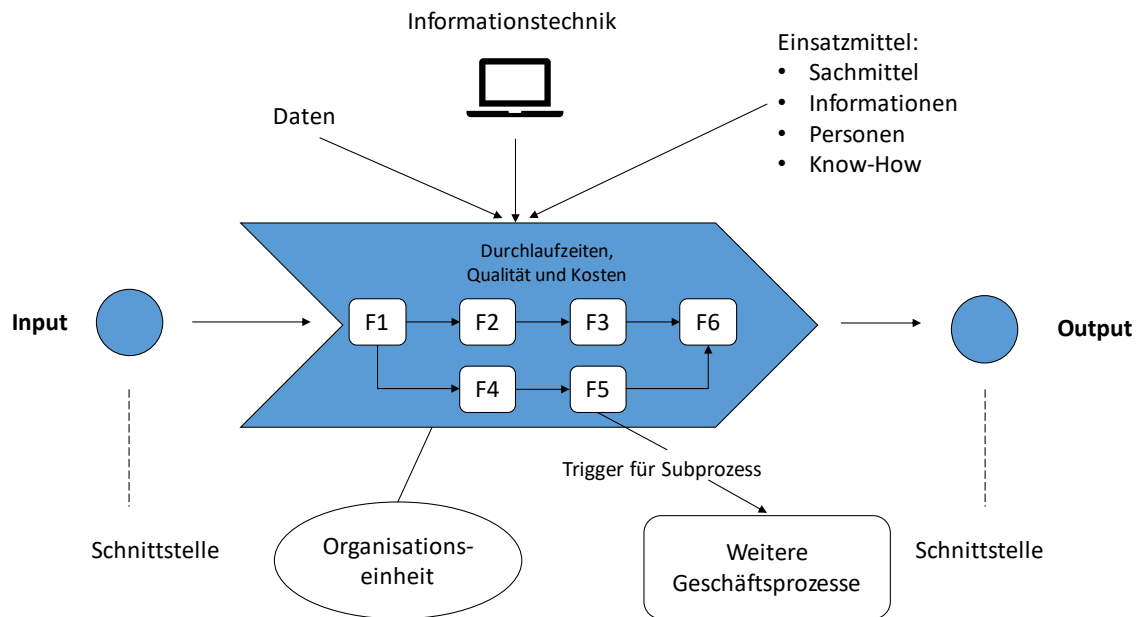
<sup>18</sup> Gadatsch 2015, S. 3.

<sup>19</sup> DIN EN ISO 9000:2015-11.

<sup>20</sup> Vgl. Hilmer 2016, S. 45.

<sup>21</sup> Vgl. Schmelzer und Sesselmann 2013, S. 52.

<sup>22</sup> Vgl. Wagner und Patzak 2015, S. 103.



**Abbildung 6: Grundstruktur eines Geschäftsprozesses<sup>23</sup>**

Abbildung 6 zeigt die um einen Geschäftsprozess existierende Peripherie. Hierbei sind neben notwendigen Einsatzmitteln sowohl Datensätze als auch Informationstechnik (IT) relevante Größen. Zusätzlich kann ein definierter Prozess zeitgleich einen untergeordneten Prozess triggern.

Grundsätzlich ist jedoch zu definieren, dass ein Prozess eine unterstützende Funktion unternehmensbezogener Ziele hat, welche sich an der Strategie des Unternehmens ausrichten. Dessen Durchführung geschieht arbeitsteilig durch mehrere daran beteiligte Personen, Bereiche und Abteilungen, während die Abarbeitung in mehreren, definierten Einzelschritten unter simultaner Unterstützung durch ein oder mehrere IT-Systeme abläuft.<sup>24</sup> Zur systematischen Gestaltung, Steuerung, Überwachung sowie der Weiterentwicklung eines Prozesses wird sich des Prozessmanagements bedient.<sup>25</sup>

## 2.2 Prozessmanagement

Für den langfristigen Erfolg eines Unternehmens ist die kontinuierliche Anpassung der Prozesse an die sich ständig ändernden Rahmenbedingungen notwendig.<sup>26</sup> Hieraus resultiert die Notwendigkeit, unternehmerische Abläufe in regelmäßigen Abständen zu analysieren und adäquat zu optimieren. Diese Tätigkeit ist unter dem Begriff des Prozessmanagements zusammenzufassen. Seine Anfänge sind auf die

<sup>23</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Wagner und Patzak 2015, S. 103; Koch 2015, S. 4.

<sup>24</sup> Vgl. Gadatsch 2017, S. 5.

<sup>25</sup> Vgl. D'Aloia et al. 2018, S. 2.

<sup>26</sup> Vgl. Gadatsch 2017, S. 34.

1930er Jahre datiert. Nordsieck weist bereits 1932 auf die Dualität der Aufbau- und Ablauforganisation hin. Er verdeutlicht die Relevanz der Ausrichtung des Unternehmensaufbaus an den herrschenden unternehmerischen Abläufen.<sup>27</sup> 1934 beschreibt er ein Unternehmen als zusammenhängende Leistungskette. Folglich unterstreicht er damit die Relevanz, ein Unternehmen in Prozesse zu untergliedern.<sup>28</sup>

Durch die Unterteilung soll das Prozessmanagement eine Unterstützung der Planung, Steuerung sowie Ausführung unternehmerischer Arbeitsabläufe im direkten und indirekten Bereich bieten.<sup>29</sup> Wobei der direkte Bereich wertschöpfende Tätigkeiten und der indirekte Bereich unterstützende Prozesse, die zur Leistungserbringung notwendig sind, einschließen.<sup>30</sup>

Folglich ist das Ziel des Prozessmanagements eine Optimierung der Prozesseffektivität sowie der -effizienz, die Erhöhung der Flexibilität und die Erreichung der Pünktlichkeit eines Prozesses zu erwirken.<sup>31</sup> Unter der Optimierung von Prozessen wird einerseits die kontinuierliche Verbesserung ihrer Leistungen verstanden und/oder jedoch jene Leistungen sprunghaft zu steigern, indem radikale Neuerungen genutzt werden.<sup>32</sup>

Grundsätzlich steht bei der Optimierung von Prozessen die Effizienz im Zentrum der Aufgabe. Somit ist das Ziel Ergebnisse mittels minimalen Einsatzes an Zeit und dafür notwendigen Ressourcen zu erreichen, nachdem eine Überprüfung bezüglich der Möglichkeit einer Effizienzsteigerung stattgefunden hat.<sup>33</sup> Weiter sollen die Komponenten des magischen Dreiecks anhand der Prozessoptimierung positiv beeinflusst werden. So soll neben einer Steigerung der Prozessqualität ebenfalls eine Senkung sowohl der Kosten als auch Dauer der Prozesse erreicht werden. Zusätzlich dazu soll das Streben nach qualifizierten, prozessbezogenen Diskussionen und folglich deren Verbesserungen durch eine Erhöhung der Transparenz von Prozessen erreicht werden.<sup>34</sup> Insgesamt soll demnach die Qualität des Prozesses gesteigert werden.

---

<sup>27</sup> Vgl. Schmelzer und Sesselmann 2013, S. 42.

<sup>28</sup> Vgl. Nordsieck 1934, 76f.

<sup>29</sup> Vgl. Gadatsch 2015, S. 7.

<sup>30</sup> Vgl. Hilmer 2016, 60f.

<sup>31</sup> Vgl. Brecht-Hadraschek und Feldbrügge 2015, S. 17.

<sup>32</sup> Vgl. Schmelzer und Sesselmann 2013, 407ff.

<sup>33</sup> Vgl. Fleischmann et al. 2011, S. 190.

<sup>34</sup> Vgl. ebd., S.192ff.

## 2.3 Einordnung des Qualitätsbegriffs

Allgemein wird der Begriff der Qualität unterschiedlich diskutiert, sodass keine einschlägige Definition existiert. Zunächst wird laut Duden prinzipiell zwischen Eigenschaften bzw. der Gesamtheit charakteristischer Eigenschaften von Sachen oder Personen unterschieden. Es wird jedoch weder Spezifikation noch Wertung dieser Eigenschaften vorgenommen, sodass sie als neutral einzustufen sind.

Normiert wurde der Begriff der Qualität durch die DIN EN ISO 9000 als „[...] Grad in dem ein Satz inhärenter Merkmale [...]“<sup>35</sup> Anforderungen erfüllt. Hierbei sind Anforderungen eindeutig feststehend und sollten die allgemeine Erwartungshaltung erfüllen. Die in der Norm beschriebenen Merkmale sind als fester Bestandteil und nicht als Zuordnung innerhalb eines Systems, Produktes oder Prozesses zu verstehen. Hierbei sind die Merkmale klar gegliedert, definiert und beziehen sich vor allem auf Zuverlässigkeit, Haltbarkeit sowie auf Sicherheit als auch Funktion.<sup>36</sup>

Bruhn leitet daraus zwei Haupt- und drei unterstützende Begriffe der Qualität ab. Zunächst differenziert er zwischen dem leistungs- und produktorientierten Qualitätsbegriff. Der leistungsorientierte Ansatz beschreibt die Wahrnehmung bzw. Zufriedenheit eines Konsumenten in Bezug auf seine subjektiven Anforderungen, während die Produktqualität charakteristische Eigenschaften eines Gutes beschreibt und Auskunft über die kumulierten Leistungsfaktoren gibt. Weiter beschreibt Bruhn den absoluten Qualitätsbegriff, welcher die Wertung eines Gutes bzw. einer Dienstleistung zulässt. Somit kann es in verschiedene Klassifikationen unterteilt werden. Zum Schluss diskutiert Bruhn den wertbezogenen und herstellungsorientierten Qualitätsbegriff. Der wertbezogene Qualitätsbegriff kategorisiert das PreisLeistungsverhältnis, während der herstellungsorientierte eine Wertung der Produkte nach ihrer Erzeugung hinsichtlich der betrieblichen Vorgaben ermöglicht.<sup>37</sup>

Schönsleben definiert Qualität im Unternehmen und bezieht sich dabei insbesondere auf die Qualität der im Unternehmen hergestellten Erzeugnisse, sowie der zum Ziel führenden Prozesse. Zusätzlich dazu beschreibt er einen hierarchisch übergeordneten Begriff. Demnach wird die Organisationsqualität an der Wahrnehmung bzw. Zufriedenheit von Stake- und Shareholdern gemessen.<sup>38</sup>

Die Bedeutung der Qualität innerhalb vorliegender Arbeit basiert insbesondere auf Prozessen. Aus diesem Grund wird dieser Begriff als Merkmal einer erbrachten

---

<sup>35</sup> DIN EN ISO 9000:2015-11.

<sup>36</sup> Vgl. ebd.

<sup>37</sup> Vgl. Bruhn 2016, S. 30.

<sup>38</sup> Vgl. Schönsleben 2016, S. 760.

Leistung, der dadurch entstandenen Ergebnisse sowie des dafür benötigten Arbeitseinsatzes im Verhältnis zur investierten Zeit definiert.

Steigende Anforderungen an eine hohe Qualität führten zur Entwicklung der Qualitätskontrolle über die Qualitätssicherung, bis hin zum QM.<sup>39</sup>

## 2.4 Qualitätsmanagement und Qualitätsmanagementsysteme

Das QM wird durch die DIN EN ISO 9000:2015 als „[...] aufeinander abgestimmte Tätigkeiten zum Leiten und Lenken einer Organisation bezüglich Qualität [...]“<sup>40</sup> definiert. Das bedeutet, die Aufgabe des QM ist das Unternehmen hinsichtlich der Qualität zielkonform zu führen. Somit ist dies eine systematische Steuerung und Organisation von Prozessen, deren Ziel die Erfüllung der Anforderungen seitens des Kunden anhand der Eigenschaften eines Produktes bzw. einer Dienstleistung ist. Dies wird unter der Prämisse einer kontinuierlichen Verbesserung der Leistungen sowie Organisation verfolgt.<sup>41</sup>

Czaja ergänzt dies und ordnet die Verantwortung bezüglich Erreichung und Erhalt der Qualitätsziele und des Qualitätsniveaus der Unternehmensführung zu. Sie hat zur Aufgabe, sämtliche relevanten Arbeitsvorgänge und Methoden festzulegen und zu überwachen. Insofern ist das Qualitätsmanagement das Instrument zur Verhinderung auftretender Mängel bzw. Fehler innerhalb der erbrachten Leistung, sowie das methodische Isolieren möglicher Fehlerquellen.<sup>42</sup> Die Qualität von Produkten und Prozessen steht somit im direkten Zusammenhang mit der Wirtschaftlichkeit eines Unternehmens. Diese spiegelt sich in den Qualitätskosten, die sich aus Prüfkosten, Fehlerverhütungskosten und Fehlerkosten zusammensetzen, wider.<sup>43</sup> Etwa 70 – 80 % der Fehler und somit Kosten haben ihren Ursprung bereits in der Entwicklungs- und Konstruktionsphase, werden allerdings zu 80 % erst bei der Endprüfung oder gar beim Kunden entdeckt.<sup>44</sup> Je später ein Fehler entdeckt wird, desto schwieriger und teurer ist es den Fehler zu beheben. Bestätigt wird dies durch die sogenannte „Rule-of-Ten der Fehlerkosten“ (Abbildung 7).

---

<sup>39</sup> Vgl. Kamiske und Kripfgans 2006, S. 23.

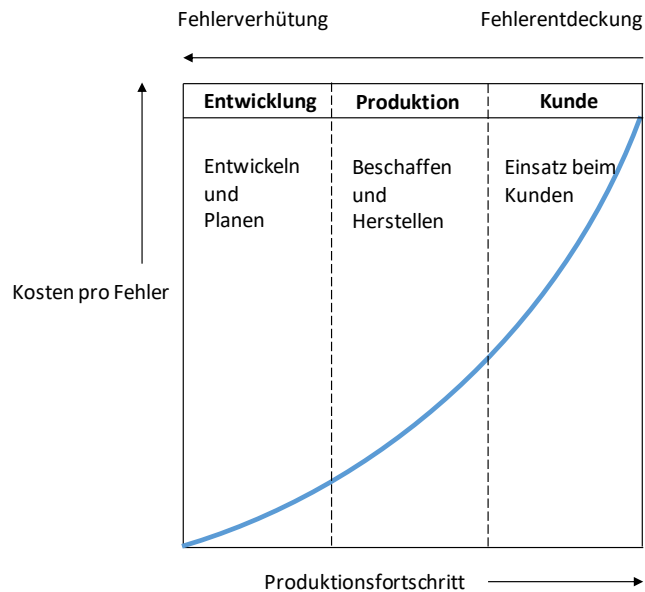
<sup>40</sup> DIN EN ISO 9000:2015-11.

<sup>41</sup> Vgl. ebd.

<sup>42</sup> Vgl. Czaja 2009, 297ff.

<sup>43</sup> Vgl. Piontek 2005, S. 196.

<sup>44</sup> Vgl. Koch 2015, S. 24.



**Abbildung 7: Rule of Ten<sup>45</sup>**

Diese besagt, dass die Fehlerkosten von einer Phase zur nächsten logarithmisch ansteigen.<sup>46</sup> Daraus lässt sich schließen, dass eine frühzeitige Fehlerentdeckung sowie -behebung einen positiven Beitrag zur Wirtschaftlichkeit des Unternehmens leistet. Aus diesem Grund stellt dies ein Qualitätsziel des VSC dar.

Um die systematische Umsetzung der Qualitätsziele zu erreichen, werden Qualitätsmanagementsysteme (QMS) aufgebaut. Unter der Berücksichtigung der allgemein bekannten Definition eines Systems, welches die Wechselwirkungen einzelner Elemente innerhalb eines klar definierten Bereichs beschreibt und des Begriffs des Managementsystems, welches die notwendigen Maßnahmen zum Erreichen eines Ziels definiert, kann der Begriff des Qualitätsmanagementsystems abgeleitet werden. Es beschreibt die gesamte Organisation der Unternehmensstruktur unter Berücksichtigung aller systemrelevanten Faktoren zur Erreichung unternehmensspezifischer Ziele bezüglich Qualität.<sup>47</sup>

## 2.5 Einbindung der Prozesse in das Qualitätsmanagement

Aufgabe des Prozessmanagements ist es, durch nachhaltige Optimierung der Prozesse eine Verbesserung der Qualität zu erreichen. Durch Aspekte wie das Anliegen, Fehler zu minimieren, Abläufe zu systematisieren und beschleunigen, wird die thematische Nähe des QM zum Prozessmanagement deutlich.

<sup>45</sup> Eigene Abbildung in Anlehnung an Koch 2015, S. 24; Schmitt und Pfeifer 2015, S. 25.

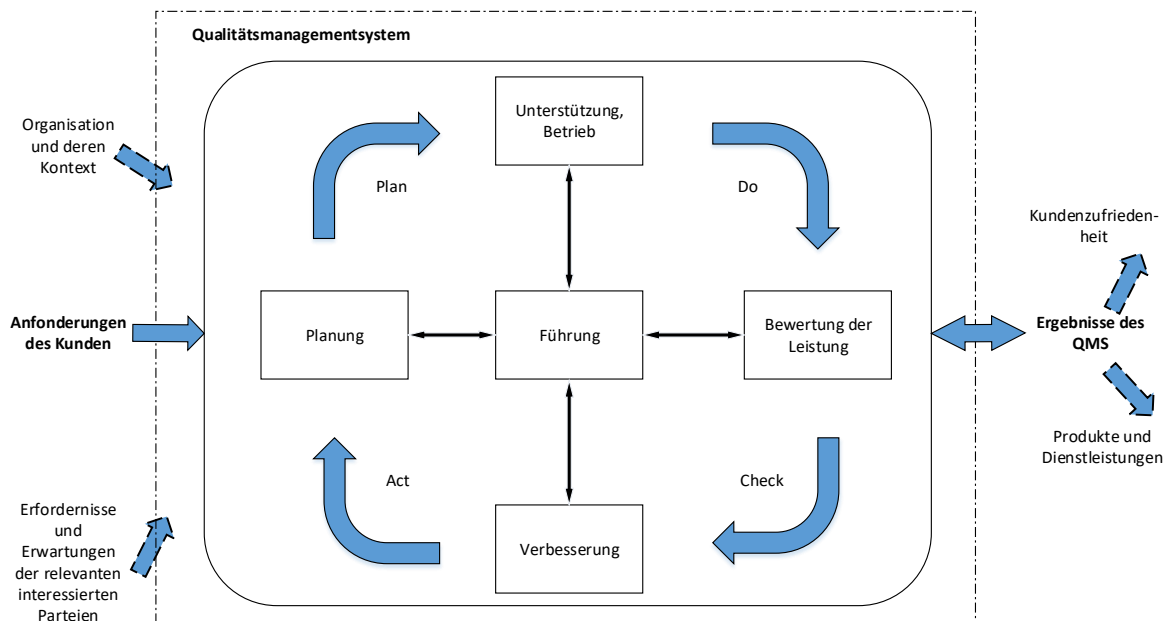
<sup>46</sup> Vgl. Koch 2015, 24f.

<sup>47</sup> Vgl. ebd.



Demnach unterstützt das Prozessmanagement das QM<sup>48</sup>, indem der prozessorientierte Ansatz eine enge Kopplung mit dem QM sicherstellt. Hierdurch wird der methodische Aspekt des QM mit der ablauf- und zielorientierten Systematik des Prozessmanagements im „Prozessorientierten Qualitätsmanagement“ kombiniert und realisiert.<sup>49</sup>

Das prozessorientierte QM leistet einen erheblichen Beitrag zur kontinuierlichen Verbesserung. Es basiert auf dem durch DIN EN ISO 9001 geförderten prozessorientierten Ansatz. Grundsätzlich soll hierbei einem Unternehmen ermöglicht werden, vorhandene Prozesse und deren Wechselwirkungen zu begreifen, und somit eine Verbesserung der unternehmerischen Gesamtleistung einzuleiten. Hierbei dient der Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA-Zyklus) oder Demingkreis als Unterstützung. Angewandt wird dieser sowohl auf isolierte Prozesse als auch auf das QMS in seiner Gesamtheit. Anhand der folgenden Abbildung kann der PDCA-Zyklus in die Norm eingegliedert werden und deren Struktur verdeutlichen.



**Abbildung 8: Darstellung der Norm DIN EN ISO 9001:2015-11 im PDCA-Zyklus<sup>50</sup>**

Mithilfe dieses Ansatzes sollen demnach unter Berücksichtigung der notwendigen, kontinuierlichen Verbesserung folgende, für das Unternehmen relevante, Aspekte ermöglicht bzw. erfüllt werden:

- Unternehmerische Prozesse im Hinblick auf Wertschöpfung zu betrachten

<sup>48</sup> Vgl. Schmelzer und Sesselmann 2013, S. 17.

<sup>49</sup> Vgl. Wagner und Käfer 2017, S. 25; Koch 2015, S. 23.

<sup>50</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an DIN EN ISO 9001:2015-11, Kapitel 0.3.2.

- Anforderungen an das Unternehmen und deren fortlaufende Einhaltung zu verstehen
- Prozesse basierend auf der Bewertung von Daten und Informationen zu verbessern
- Wirksame Prozessleistungen für einen allgemeinen Erfolg zu erreichen.<sup>51</sup>

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, bedient sich das QM dedizierter Methoden zur gezielten Prozessoptimierung, die nachfolgend näher erläutert werden.

## 2.6 Qualitätsmanagementmethoden zur Prozessoptimierung

Grundsätzlich beinhaltet das QM zwei Ansätze der Prozessoptimierung, welche wiederum verschiedene Methoden beinhalten. So ist es möglich die Prozessoptimierung stringent in die Prozesserneuerung (Revolution) sowie Prozessverbesserung (Evolution) zu unterteilen. Hierbei beschreibt die Revolution eine sprunghafte Verbesserung ausgelöst durch radikale Änderungen unternehmerischer Prozesse. Ausgelöst wird dies meist durch eine direkte Vorgabe des Managements. Im Gegensatz dazu weist die Evolution vielmehr eine Orientierung auf bestehende Prozesse auf. Hierbei wird der Prozess durch iterative Handlungen langfristig und kontinuierlich verbessert. Sprunghafte Verbesserungen sind mithilfe dieses Ansatzes dennoch erreichbar, indem die Gesamtheit am Prozess beteiligter Mitarbeiter bei dieser Handlung integriert wird. Die Ergebnisse der Evolution werden wiederum durch darauffolgende Iterationen gefestigt und gestärkt.<sup>52</sup>

Im vorliegenden Fall soll jedoch keine grundlegende Reorganisation des Unternehmens erfolgen. Stattdessen soll mit Hilfe bestehender Prozesse eine Schwachstellenanalyse durchgeführt werden. Auf dessen Basis werden Optimierungspotenziale herauskristallisiert, sodass die notwendigen Leistungssprünge im Prozess erreicht werden können. Aus diesem Grund befasst sich diese Arbeit nicht mit revolutionären Ansätzen, sodass nachfolgend Methoden des evolutionären Ansatzes erarbeitet werden.

### 2.6.1 Lean Management

Wird Lean Management übersetzt, so bedeutet dies „schlankes Management“ oder auch „schlanke Verwaltung“.<sup>53</sup> Grundsätzlich verfolgt die Kurzdefinition von Lean Management eine Abkehr vom traditionellen hierarchischen Ansatz bzw. dessen

---

<sup>51</sup> Vgl. DIN EN ISO 9001:2015-11.

<sup>52</sup> Vgl. Koch 2015, 115f.

<sup>53</sup> Vgl. Hochheimer 2011, S. 151.

Abbau. Stattdessen wird die Verantwortung direkt in die Leistungsbereiche des Unternehmens delegiert. Zusätzlich dazu soll die Arbeit in Gruppen fokussiert werden. Sodass letztlich eine ablaufoptimierte Organisation entsteht.

Allgemein kann das Lean Management in vier Segmente unterteilt werden. Es werden alle Stadien eines Produktes betrachtet. Hierbei sollen die Produktentwicklung, Beschaffungskanäle, Fertigung und Vertriebskanäle schlank sein.<sup>54</sup> Historisch entwickelte sich die schlanke Produktion (Lean Production) zu allererst. Dieser Bereich steht jedoch in Abhängigkeit zu produktionsfernen Bereichen. Aus diesem Grund wurde es um eben diese erweitert. Das Ergebnis dessen ist das Lean Management. Originär stammt diese Methode aus Japan, genauer vom Unternehmen Toyota, welches damit eine Vorreiterrolle eingenommen hat. Wichtige Elemente des Toyota Production Systems sind eine allgemeine Reduktion des Flächenbedarfs, eine Zentrierung auf den Menschen, indem hohe Arbeitsteilung und Handlungsspielräume für Mitarbeiter angestrebt wird und eine kundenorientierte Fertigung.<sup>55</sup> Doch Hauptziel des Systems und auch des Lean Managements ist die Reduktion der Verschwendung. Dadurch sollen unnötige Abläufe minimiert und eine schnellere sowie kostengünstigere Produktion erreicht werden. „Verschwendung“ ist innerhalb dieser Philosophie als unnötiger und zusätzlich nicht zielführender Einsatz von Ressourcen definiert. Diese Verschwendung ist im Lean Management in sieben Kategorien, die sowohl für den produktiven als auch administrativen Bereich eines Unternehmens gelten, unterteilt. Die Unterteilung erfolgt in Überproduktion, Wartezeiten, Transport, Arbeitsprozess, hohe Bestände, Bewegung und Produktionsfehler.<sup>56</sup>

Typische Instrumente innerhalb dieser Methode sind die 5S und die Wertstromanalyse. Beim 5S-Instrument ist das Ziel, die Arbeitsabläufe effizient und zuverlässig zu gestalten und somit Unfälle und Fehler zu vermeiden. 5S besteht dabei aus fünf japanischen Begriffen. Sie sollen in der folgenden Reihenfolge aufgeführt werden:

- Seiri (Aussortieren)
- Seiton (Aufräumen)
- Seiso (Arbeitsplatz sauber halten)
- Seiketsu (Anordnung zur Regel machen)
- Shitsuke (Alle Vorgaben einhalten und kontinuierlich verbessern)<sup>57</sup>

---

<sup>54</sup> Vgl. Zink 2004, 20f.

<sup>55</sup> Vgl. ebd., S. 22f.

<sup>56</sup> Vgl. Krampf 2016, 49f.

<sup>57</sup> Vgl. Liebetruhl 2016, 106f.

Mithilfe einer Wertstromanalyse werden unternehmerische Tätigkeiten anhand ihres Wertschöpfungsgrades in drei Arten unterteilt. Die Kategorisierung erfolgt anhand einer Abfrage hinsichtlich ihres Wertschöpfungsgrades. Ist die Tätigkeit wertschöpfend, wird nicht weiter unterteilt. Im Fall eines Gegensatzes, wird sie weiterhin untersucht. Der nächste Schritt ist die Abfrage, ob sie trotz fehlender Wertschöpfung notwendig oder vermeidbar ist. Auf diese Weise entsteht die genannte Unterteilung. Sobald die Aufnahme abgeschlossen ist, wird angestrebt, die nicht wertschöpfenden und vermeidbaren Tätigkeiten zu eliminieren. Wichtig ist jedoch, dass dabei keine Wechselwirkungen außer Acht gelassen werden, sodass wertschöpfende Tätigkeiten nicht negativ beeinflusst werden.<sup>58</sup>

### 2.6.2 Kaizen

Originär stammt Kaizen aus dem Japanischen und setzt sich aus zwei Schriftzeichen zusammen. So steht „Kai“ für Veränderung und „Zen“ für gut. In diesem Beispiel lautet die sinngemäße Übersetzung jedoch die Veränderung zum Besseren.<sup>59</sup> Im deutschsprachigen Raum wird auch vom Kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) gesprochen. Dieser eignet sich nach Schmelzer und Sesselmann „[...] zur Stabilisierung von großen Leistungssprüngen in Geschäftsprozessen, zur kontinuierlichen Steigerung der Prozessperformance“.<sup>60</sup> Im Zentrum der Philosophie nach Kaizen steht eine stetige, graduelle und systematische Verbesserung. Vor allem soll diese unter Einbindung der Mitarbeiter geschehen.<sup>61</sup>

Den klassischen Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung stellt der PDCA-Zyklus dar. So soll der erste Schritt „Plan“ einen Soll-Zustand als Output Größe generieren. Aus diesem Grund werden zunächst Ziele festgelegt. Diese sollen eindeutig und realistisch definiert sein, sodass eine anschließende Erfolgskontrolle durchgeführt werden kann. Hierzu müssen die zur Zielerreichung notwendigen Maßnahmen festgehalten werden.

Passend zum Soll-Zustand aus der ersten Phase wird in der Do-Phase eine Ist-Analyse durchgeführt. Sie bezieht sich auf die aktuelle Situation im unternehmerischen Prozess und schließt auch die Rahmenbedingungen ein. So werden in dieser Phase etwaige Probleme und deren Ursachen untersucht. Anschließend werden Verbesserungsmöglichkeiten evaluiert und mit konkreten Maßnahmen belegt.

In der darauffolgenden, dritten Phase „Check“ erfolgt ein Ist-Soll-Vergleich der Erreichten Ergebnisse mit den definierten Zielen. Demnach wird also die Wirksamkeit

---

<sup>58</sup> Vgl. Krampf 2016, 50f.

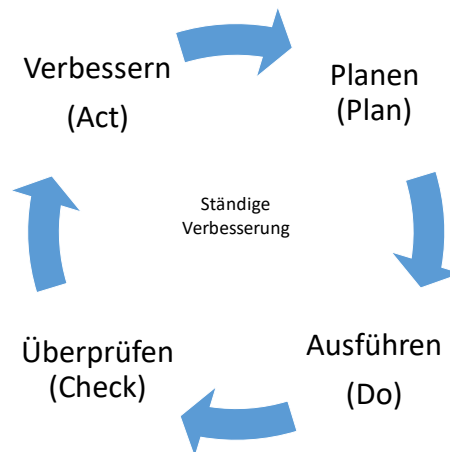
<sup>59</sup> Vgl. Kostka und Kostka 2002, S. 11; Krampf 2016, 50f.

<sup>60</sup> Schmelzer und Sesselmann 2013, S. 26.

<sup>61</sup> Vgl. Krampf 2016, S. 55.

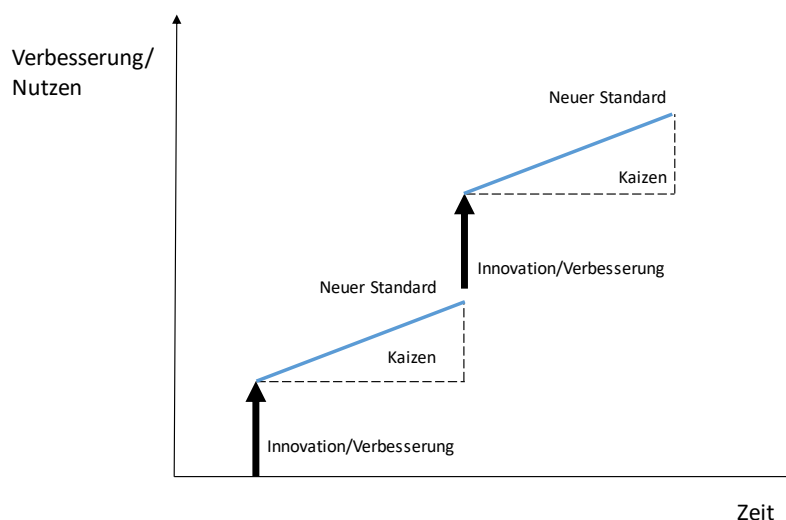
der Maßnahmen überprüft beziehungsweise bewertet. Sollten die Ergebnisse noch nicht zufriedenstellend sein, werden bei Bedarf weitere Maßnahmen eingeleitet.

Schließlich wird die erreichte Verbesserung in der letzten Phase als neuer Standard definiert. Um den Regelkreis nach Deming zu schließen, wird der neue, verbesserte Prozess als Basis für den nächsten Zyklus verwendet. Somit ist der Output der ersten Iteration gleichzeitig der Input der Zweiten.<sup>62</sup> Dieser Zyklus ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 9: Der PDCA-Zyklus**<sup>63</sup>

Unter der Prämisse, dass dieser Zyklus kontinuierlich angewandt wird, besteht die Möglichkeit, dass eine stetig wachsende Verbesserung eintritt. In anderen Worten wird konstant ein höherer Standard erreicht. Bildlich dargestellt, wird hier vom Kaizen-Dreieck gesprochen. Dieses ist in Abbildung 10 dargestellt.



**Abbildung 10: Innovation in Ergänzung mit Kaizen**<sup>64</sup>

<sup>62</sup> Vgl. Schmitt und Pfeifer 2015, S. 66; Linß 2011, S. 59.

<sup>63</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Schmitt und Pfeifer 2015, S. 66; Linß 2011, S. 59.

<sup>64</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Schmitt und Pfeifer 2015, S. 67; Grabner 2019, S. 148.

Die beschriebene Verbesserung ist nach jeder Iteration klar erkennbar. Auch das Kaizen-Dreieck, welches im eigentlichen Sinne lediglich ein aus der Mathematik bekanntes Steigungsdreieck ist, ist ebenfalls gut sichtbar. Dies spiegelt die Kurzdefinition, dass Kaizen eine Verbesserung zum Besseren bedeutet, wider. Addiert zur iterativen Charakteristik des PDCA-Zyklus entsteht die kontinuierliche Verbesserung.

### 2.6.3 Six-Sigma

Die Idee hinter dieser Methode ist mathematisch-statistisch basiert. Grundsätzlich wird sich hierbei der aus der Mathematik bekannten Gauß'schen Normalverteilung oder auch Gauß'schen Glocke bedient, wobei eine Verteilung bestimmten Ereignissen eine Wahrscheinlichkeit zuweist. Dabei ist Sigma ( $\sigma$ ) die Standardabweichung (um den arithmetischen Mittelwert  $\mu$ ) eines Prozesses der einer Normalverteilung folgt. Es wird die Streuung beziehungsweise Abweichung vom Idealzustand in Beziehung zur Toleranz gesetzt.<sup>65</sup>

Hierbei sollen vor allem die Produktqualität und Effizienz des Unternehmens und folglich auch die Unternehmensrentabilität gesteigert werden. Dies soll erreicht werden, indem Prozesse derart gestaltet beziehungsweise verbessert werden, dass deren Ergebnisse eine möglichst geringe Streuung um den bereits erwähnten Mittelwert aufweisen. Explizit soll die Standardabweichung eines Prozesses sechs Mal zwischen den Mittelwert und die definierten Spezifikationsgrenzen liegen. Befindet sich der Prozess in diesem Bereich, hat er das Six-Sigma-Niveau erreicht und hat somit eine Fehlerfreiheit von 99,99966%.<sup>66</sup>

Umgekehrt hat der hohe Prozentsatz an Fehlerfreiheit eine sehr geringe Fehlerquote. In Zahlen bedeutet dies, dass auf eine Million produzierte Einheiten eines Gutes lediglich 3,4 Einheiten beziehungsweise real vier Einheiten fehlerbehaftet sind. Wobei zu beachten ist, dass der Fehlerbegriff sehr breit gefasst ist. So werden der Lieferzeitpunkt und Zielpreis eines Gutes neben der bereits angesprochenen Produktqualität berücksichtigt. Zusätzlich dazu sollen auch die den eigentlichen Wertschöpfungsprozessen vorgelagerten Prozesse betrachtet werden, um Fehler und Schwankungen zu minimieren. Das wiederum bedeutet, dass auch Lieferanten miteinbezogen werden. Folglich ist Six-Sigma eine Methode zur Prozessverbesserung und Fehlerprävention mit Einschluss der Prozessschnittstellen.<sup>67</sup>

Um den Gedanken dieser Methodik zu verdeutlichen, wird ein von der Theorie abgeleitetes, willkürlich gewähltes Beispiel mit einfachen Zahlen herangezogen.

---

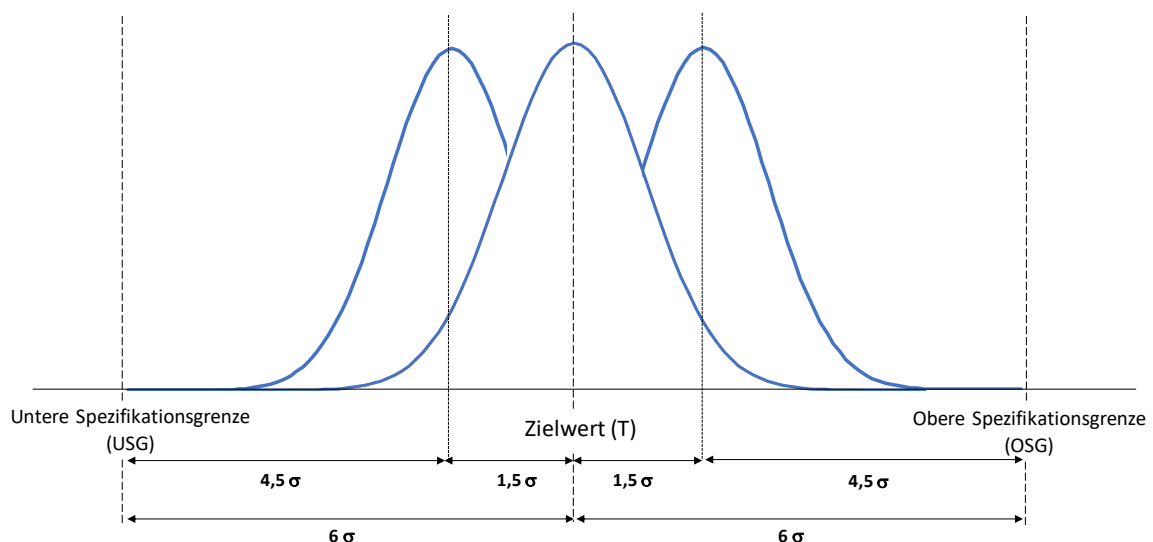
<sup>65</sup> Vgl. Krampf 2016, 67f.

<sup>66</sup> Vgl. Koch 2015, S. 169.

<sup>67</sup> Vgl. Pande et al. 2002, 13ff.

Stanzt ein Unternehmen Türen für einen Automobilhersteller, so müssen diese eine bestimmte Länge  $x$  aufweisen. In diesem Beispiel wird der Wert  $x=1000$  mm gewählt. Dies entspricht gleichzeitig dem Mittelwert  $\mu$ . Während der Produktion der Türen wird eine Standardabweichung von 3 mm ermittelt. Bedeutet, dass die Türen eine Länge  $x$  zwischen 997 mm und 1003 mm aufweisen. Da der Kunde jedoch eine Toleranz von 6 mm zulässt, entspricht der Produktionsprozess der Türen  $2\sigma$ . Wird nun der Produktionsprozess der Türen optimiert und dadurch eine Standardabweichung von 1 mm erreicht, so hätte der Prozess das Six-Sigma-Niveau erreicht.

In der Realität bleibt der Mittelwert jedoch nicht konstant, da Einflüsse wie variierende Mitarbeiter, Verschleiß oder Materialermüdung den Mittelwert verschieben. In der Regel wird von einer Verschiebung mit dem Wert  $\sigma=1,5$  ausgegangen. Dadurch werden aus vermeintlichen  $6\sigma$  lediglich  $4,5\sigma$ , was bei einer Fehlerfreiheit von 99,99966% auch den Werten der ursprünglichen Gauß'schen Normalverteilung entspricht. Dieses Phänomen ist in der folgenden Abbildung nochmals dargestellt.<sup>68</sup>



**Abbildung 11: Normalverteilung<sup>69</sup>**

Dieser Ansatz ist jedoch rein mathematisch geprägt. Er wird meist in Produktionsprozessen angewandt, da deren Fehlerraten messbar sind und somit auch konsequent berechnet werden können. Somit ist folglich auch eine daraus resultierende Verbesserung des Prozesses konsequent messbar und mühelos bewertbar.

Wird diese Ansatz jedoch rein methodisch betrachtet, so führt die Verringerung der Streuung zu einer Optimierung des Nutzungsgrades sowie der Durchlaufzeiten eines Prozesses. Somit dient diese Methode zur Detektion von Fehlerursachen, die

<sup>68</sup> Vgl. Magnusson et al. 2004, S. 7; Schmitt und Pfeifer 2015, S. 80; Koch 2015, S. 170.

<sup>69</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Koch 2015, S. 170; Schmitt und Pfeifer 2015, S. 80; Kamrani und Nasr 2008, S. 44.

infolgedessen minimiert oder idealerweise gänzlich abgestellt werden können. Folglich führt dies zu einer Reduktion der Prozessvariation oder in anderen Worten zu einer Prozessstandardisierung.<sup>70</sup>

#### 2.6.4 Lean Six Sigma

In den frühen 2000er Jahren trafen Six Sigma und der Gedanke hinter Lean Management aufeinander, während George und Smith die Entstehung von Lean Six Sigma begleiteten.<sup>71</sup> Die Kombination der beiden Ansätze erscheint sinnvoll, da Lean Six Sigma nach kurzer Zeit als etabliertes System zur Prozessoptimierung galt, wie mehrere Autoren Mitte der 2000er Jahre bestätigten.<sup>72</sup>

Nach Waurick bringt diese Methode die grundsätzlichen Ideen des Lean Managements und der Six-Sigma-Methode in Einklang zueinander. So entsteht durch die Verbindung der Methoden das Ziel nach Lean Management, Verschwendungen zu minimieren, dadurch Durchlaufzeiten zu verkürzen und zusätzlich eine minimale Streuung des Prozesses nach Six Sigma zu erzielen. In anderen Worten werden die Produktivität im Allgemeinen sowie Qualität der Erzeugnisse verbessert, während simultan Kundenwünsche berücksichtigt werden. Somit ist ersichtlich, dass Lean Six Sigma eine möglichst gewinnbringende Kombination aus beiden Methoden darstellt. Dabei ist zwar weder einheitlich definiert, welcher Ansatz den Beginn der Tätigkeiten darstellt und noch, welche Reihenfolge zur Analyse und Optimierung der Prozesse mithilfe der Ansätze angestrebt werden soll, doch stellt Lean Six Sigma die Ideen sowie Instrumente beider Ansätze zur Verfügung und fordert nach der Findung der bestmöglichen Kombination.<sup>73</sup>

Grundsätzlich kann die Theorie nach Waurick als richtig aufgefasst werden. Grund hierfür ist die Ansicht des Six-Sigma-Ansatzes, welcher Prozessvariationen und folglich die Streuung und Fehler verursacht. Lean betrachtet alle nicht wertschöpfenden Aktivitäten ohne Mehrwert als Verschwendung und konzentriert sich somit auf Prozessabläufe und Durchlaufzeiten. Werden nun beide Gedanken kombiniert, so wird ein Prozess angestrebt, der Streuung und folglich Fehler verhindert und gleichzeitig Verschwendung im Allgemeinen vermeidet, um die Effizienz zusätzlich zu steigern. Kurz, ein akkurater und qualitativ hochwertiger Prozess.

---

<sup>70</sup> Vgl. Koch 2015, S. 169.

<sup>71</sup> Vgl. George 2002;

<sup>72</sup> Vgl. Arnheiter und Maleyeff 2005, S. 5–18; Kumar et al. 2006, S. 407–423; Wedgwood und Zinkgraf op. 2007.)

<sup>73</sup> Vgl. Waurick 2014, 7ff.



### 2.6.5 Evaluierung der Methoden

Da diese Arbeit eine Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung mit Berücksichtigung der Schnittstellen sowie eine Vermeidung von Mehrarbeit beabsichtigt, wird der Vergleich der Methoden anhand der folgenden Tabelle vorgenommen. Die Einstufung der Methoden basiert auf den erfolgten Erläuterungen in Kapitel 2.6.

**Tabelle 3: Bewertung der Methoden zur Prozessoptimierung<sup>74</sup>**

	Lean Management	Six Sigma	Kaizen	Lean Six Sigma
Schnittstellenorientiert	✓	✓	✓	✓
Verschwendung minimieren	✓	–	✓	✓
Kontinuierliche Verbesserung	✓	✓	✓	✓
Fehlerprävention	–	✓	–	✓
Messbarkeit	–	✓	–	✓

Durch den Vergleich der Methoden wird zunächst die nahezu vollständige Abdeckung sämtlicher Kriterien durch den Six-Sigma-Ansatz ersichtlich. Durch die Erweiterung des Ansatzes um Lean Elemente zur Minimierung der Verschwendung durch innerbetriebliche Arbeitsabläufe wird die Erfüllung sämtlicher Kriterien durch Lean Six Sigma gewährleistet. So ist ersichtlich, weswegen Lean Six Sigma, wie auch bereits in der Literatur belegt, mittlerweile etabliert ist und somit im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit angewandt wird.

Unter zusätzlicher Betrachtung der Instrumente des Ansatzes wird eine gemeinsame Basis deutlich. Grund für diese Annahme ist, dass sowohl Six Sigma als auch Lean Six Sigma vor allem auf dem DMAIC-Zyklus, der im Folgenden detailliert erläutert wird, aufbauen.<sup>75</sup>

### 2.6.6 DMAIC – Das Instrument des Lean-Six-Sigma-Ansatzes

Grundsätzlich beinhaltet dieses Instrument fünf Schritte zur strukturierten Prozessverbesserung, auf denen die Namensgebung basiert. DMAIC steht für Define, Measure, Analyze, Improve und Control.<sup>76</sup> Nach Watson ist dieses Instrument eine logische, schrittweise und konsequente Handlungsweise, um kritische Probleme bei der Verbesserung von Prozessen zu definieren, statistisch zu beschreiben und

<sup>74</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Kapitel 2.6.1. – 2.6.4.

<sup>75</sup> Vgl. Kaufmann 2012, 2f.

<sup>76</sup> Vgl. Stoesser 2019, S. 17; Kaufmann 2012, 2f.

letztlich standardisiert zu lösen.<sup>77</sup> Somit ist DMAIC als Prozess zur Problemlösung anzusehen.

### **Define (Definieren)**

Der erste Schritt des Prozesses beginnt mit der Problemerkennung, welches beispielsweise mit Prozessineffizienz oder Produktversagen zusammenhängen kann. Wichtig ist die exakte Definition des eigentlichen Problems, sodass die Ziele dementsprechend abgeleitet werden können. Zusätzlich wird in dieser Phase empfohlen, Ressourcen wie die für die Durchführung notwendiges Personal zu definieren. Diese Informationen werden in einer Projektcharta festgehalten. Hierin werden auch weitere Details festgehalten, wie beispielsweise Projektmeilensteine oder auch die Projektteamstruktur.<sup>78</sup>

### **Measure (Messen)**

Nach der Definition des Problems geht der Prozess in den zweiten Schritt über. Hierbei werden die das Problem verschuldenden Arbeitsprozesse identifiziert. Daraufhin müssen die identifizierten Prozesse anhand ihrer Abläufe beispielsweise in Modellen abgebildet werden. Dies ist notwendig, um ein besseres Verständnis der Prozesse zu ermöglichen.<sup>79</sup> Daraufhin müssen Messgrößen definiert werden, um die erkannten Probleme innerhalb der Prozesse faktisch greifen zu können. Das Ergebnis dessen ist die Prozessleistung des Ist-Zustands, was wiederum eine Diskussionsbasis für Verbesserungen schafft.<sup>80</sup> Nachdem das Leistungsniveau aufgenommen wurde, empfiehlt es sich die bestmögliche Leistung mit geringem Ressourcenverbrauch anzustreben. Ein oft genutztes Mittel ist das Benchmarking, bei dem der eigene Prozess mit den aktuell besten verglichen wird. Letztendlich kann anhand der erkannten, idealen Leistung und der aktuellen Ist-Leistung im Unternehmen ein Nutzen des Vorhabens bestimmt werden.<sup>81</sup>

### **Analyze (Analysieren)**

Das Ziel dieses Schrittes ist die Hauptursachen für Streuungen innerhalb der identifizierten Prozesse herauszukristallisieren. Auf dessen Basis ist eine Ermittlung der Ursachen des eigentlichen Problems vor Antritt des DMAIC-Zyklus möglich. Die Ergebnisse werden in der darauffolgenden Phase benötigt. Zusammengefasst bedeutet das, dass aufgrund der Kenntnis über die Outputs des Prozesses in dieser Phase eine Untersuchung der Inputs unternommen wird, welche die Leistung der Outputs

---

<sup>77</sup> Vgl. Watson 2004, 93ff.

<sup>78</sup> Vgl. Pham 2006, S. 961; Watson 2004, 71ff.; Watson 2005, S. 52.

<sup>79</sup> Vgl. Watson 2004, 105f.

<sup>80</sup> Vgl. Lunau et al. 2014, 77f.

<sup>81</sup> Vgl. Pham 2006, S. 961; Watson 2004, 106ff.; Watson 2005, 52f.

bestimmen. Die für diese Arbeit notwendigen Mittel basieren auf statistischen Analysewerkzeugen. Sie werden angewandt, um herauszufinden, inwieweit die einzelnen Faktoren die Streuung des Prozesses beeinflussen. Hierdurch können die relevantesten, für die Prozessleistung verantwortlichen, Inputs erkannt werden.<sup>82</sup>

### Improve (Verbessern)

Die Improve-Phase setzt ihren Fokus auf mögliche Optimierungspotenziale. Demnach werden explizit Maßnahmen zur Optimierung abgeleitet sowie nach gewünschten Resultaten hinsichtlich der Leistung des Gesamtsystem validiert.<sup>83</sup>

Hierbei ist die Untersuchung der Maßnahmen von hoher Relevanz, um die gewählten Lösungen praktikabel zu definieren. Zusätzlich soll eine Variationsreduktion oder eine mittlere Verschiebung der Normalverteilung anhand der gewählten Lösungen gewährleistet sein.

Methodisch sollen die Lösungen unter Beachtung ihrer Korrelationen die erkannten Schwachstellen im Allgemeinen beheben. Kollidieren sie und verursachen dadurch Dyssynergien, so müssen Lösungsansätze priorisiert werden.<sup>84</sup>

### Control (Kontrollieren)

Im letzten Schritt des DMAIC-Zyklus werden die erkannten, validierten Lösungen implementiert und überwacht. Demnach werden kritische Prozessinputs angepasst und deren Outputs beobachtet, wodurch die neue Prozessleistung sichergestellt wird. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit einer Reaktion auf das Scheitern einer Lösung. Somit ist das Ziel dieser Phase die erarbeiteten Optimierungen unter Garantie als Prozessstandard zu etablieren.<sup>85</sup>

Insgesamt ist der DMAIC-Zyklus ein literarisch geeignetes Instrument zur strukturierten und definierten Prozessoptimierung suboptimaler Geschäftsprozesse. Die nacheinander klar abgegrenzten Schritte sind vor allem für Produktionsprozesse sehr geeignet. Grund hierfür ist die eindeutige Messbarkeit der Prozesse. Grundsätzlich eignet sich dieser Zyklus gemäß seiner Grundidee auch für physisch nicht fassbare und folglich nicht direkt messbare Prozesse.

Da es sich in vorliegender Arbeit um jene handelt, wird die Richtung und grundlegende Idee des Instruments verfolgt. Somit gilt die Define-Phase anhand der

---

<sup>82</sup> Vgl. Kamrani und Nasr 2008, 51ff.; Watson 2004, 111ff.

<sup>83</sup> Vgl. Melzer 2019, 81f.

<sup>84</sup> Vgl. Pham 2006, 961f.; Toutenburg und Knöfel 2009, 213f.; Watson 2004, 115ff.; Watson 2005, 52f.

<sup>85</sup> Vgl. Pham 2006, S. 962; Stoesser 2019, S. 23; Toutenburg und Knöfel 2009, 280ff.

Problemstellung, Zielsetzung, Vorgehensweise sowie Abgrenzung des Themas in Kapitel 1 als abgeschlossen. Die Measure-Phase erfolgt anhand der Bestandsaufnahme der Ist-Prozesse der Audi AG in Kapitel 3. Hierzu werden im vierten Kapitel die Hauptursachen analysiert und folglich konkrete Maßnahmen zur Optimierung definiert (Analyze & Improve). Die Priorisierung der Maßnahmen erfolgt in Kapitel 5. Eine tatsächliche Implementierung der Ergebnisse und folglich eine Control-Phase sind in vorliegender Arbeit, aufgrund zeitlicher Beschränkungen nicht realisierbar.

Zur Einbindung der Theorie in die für die vorliegende Arbeit relevanten Prozesse, werden nachfolgend Grundlagen der internen Arbeitsabläufe und Systeme der Audi AG dargestellt.

## **2.7 Grundlagen zur Produkt- und Prozessabsicherung**

Die Grundlagen zur Produkt- und Prozessabsicherung basieren auf internen Arbeitsanweisungen (AA), welche das Ziel haben, bestimmte Aufgaben bzw. Prozesse explizit und standardisiert in der Arbeitswelt der Audi AG zu verankern. Zunächst werden der Prozess und die dazugehörigen Arbeitsabläufe erläutert.

Zu Beginn werden die beiden explizit für die Absicherung zuständigen AA herangezogen. Sie definieren die Absicherung von Produkt und Prozess im Bereich der Elektronik separat voneinander. So ist „AA\_VSC\_P-V4\_18\_33“ der „Absicherung Produkt Elektronik“ und „AA\_VSC\_P-V4\_18\_34“ der „Absicherung Prozess Elektronik“ gewidmet. Werden deren Inhalte zusammengefasst, so ergeben sich für die Produkt- und Prozessabsicherung im Bereich der Elektronik folgende Aufgabenbereiche:

### **Absicherung der Prozessorte**

Dieser Aufgabenbereich schließt alle in Kapitel 1.4 beschriebenen, relevanten Prozessorte zur reibungslosen Inbetriebnahme eines Fahrzeugs entlang des Herstellungsprozesses ein. So sollen die Prozessorte unterstützend abgesichert, verifiziert und validiert werden. Die Prozessorte beinhalten die Absicherung des eigentlichen Teilverbaus, sowie der eingesetzten Prüftechnik inklusive deren Systemsoftware zur Inbetriebnahme der SG. Diese Prüftechnik wird „Universelles Prüfsystem“ (UPS) genannt und wird in Kapitel 2.8 erläutert.<sup>86</sup>

Wichtige Schnittstelle in diesem Bereich ist die Planung. So werden sowohl die notwendige Prüftechnik (Produktintegrator) und dazugehörigen Prüfprogramme

---

<sup>86</sup> Vgl. Bauer et al. 2018, 2ff.; Schwarz und Sylva 2018, 2ff.

(Prüfprogrammierer) sowie der Inbetriebnahmeprozess (Prozessplaner) von diesem Fachbereich bereitgestellt.<sup>87</sup>

### **Absicherung Software**

Die Absicherung der Software (SW) wird in zwei Subkomponenten gegliedert. Zunächst verfügt jede Hardware bzw. jedes SG über eine Basissoftware. Diese ist vergleichbar mit dem Betriebssystem des SG. Zusätzlich existiert für jedes SG, je nach benötigter Funktion, eine Funktionssoftware. Diese ist vergleichbar mit einer allgemein bekannten Anwendersoftware zur Lenkung der gewünschten Funktionen.

Zusätzlich befasst sich dieser Bereich mit fahrzeugspezifischen Datensätzen der zum Verbau benötigten SG. Für die im Fahrzeug benötigten Datensätze besteht ein separater, expliziter Datenbereitstellungsprozess, die Datenlogistik<sup>24</sup> (DL<sup>24</sup>). In diesem Aufgabenbereich werden lediglich auftretende Datenfehler innerhalb der DL<sup>24</sup>, jedoch nicht der Prozess abgesichert.<sup>88</sup>

### **Absicherung Hardware**

Unter diesem Aufgabenbereich wird vor allem die Absicherung der SG verstanden. Ziel ist die fehlerfreie Konzeption sowie Entwicklung der zu verbauenden SG zu gewährleisten. Zudem muss die Kompatibilität der SG mit dem Leitungssatz (Verkabelung) innerhalb des Fahrzeugs sichergestellt werden. Demnach befasst sich dieser Schritt mit der Absicherung elektronischer Bauteile bzw. SG.

Die Konzeption und Bereitstellung der zur Inbetriebnahme und folglich Absicherung notwendigen Soft- sowie Hardware (HW) erfolgt durch die Technische Entwicklung.<sup>89</sup>

Insgesamt besteht die Produkt- und Prozessabsicherung aus einem Zusammenschluss dreier großer Aufgabenbereiche mit einem konkreten Ziel. Verfolgt wird hierbei die Gewährleistung der Serienreife des Fahrzeugs sowie Herstellungsprozesses und deren fristgerechte Übergabe an die Serie. Folglich gilt es diesen Prozess in seiner Gesamtheit nach der Theorie des DMAIC-Zyklus sowie der Aufgabenstellung zu optimieren.

---

<sup>87</sup> Vgl. Boehringner 2019.

<sup>88</sup> Vgl. Bauer et al. 2018, 2ff.; Schwarz und Sylva 2018, 2ff.

<sup>89</sup> Vgl. ebd.

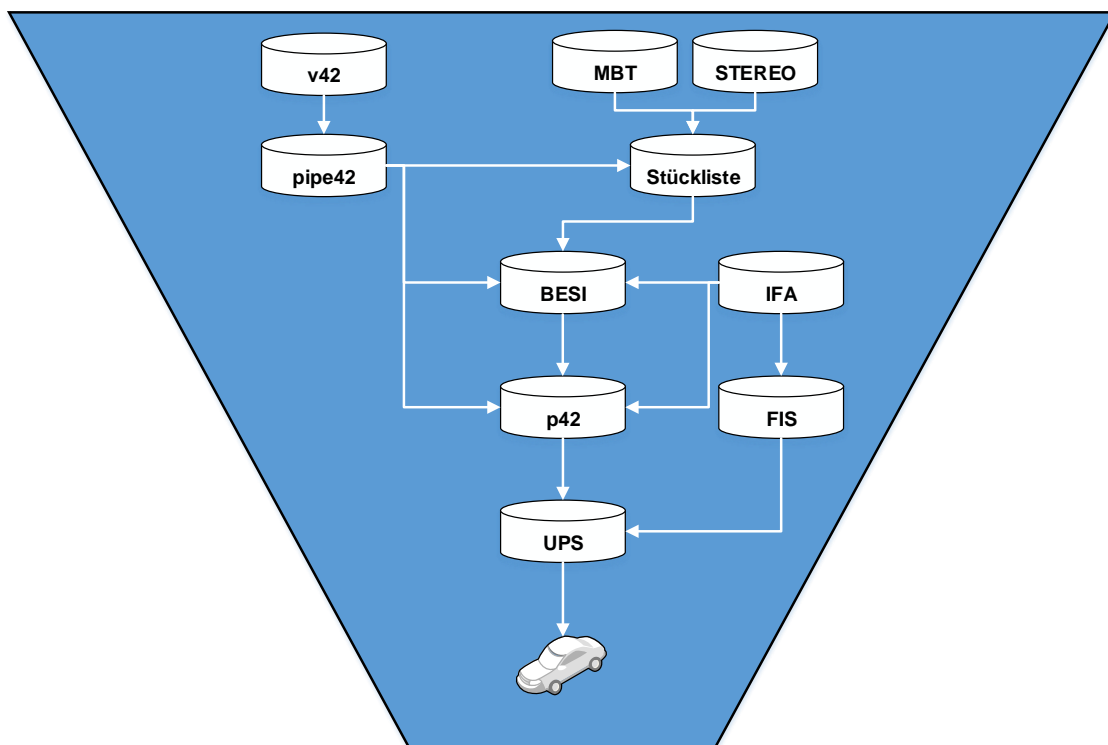
## 2.8 Datenlogistik 24

Der Prozess DL24 beschreibt die Zuordnung von Datencontainer bzw. Datensätze zu SG. Diese Zuordnung erfolgt für jedes individuelle Fahrzeug. Zusätzlich beschreibt DL24 den Transportweg der Daten von der TE zur Produktion. Grundsätzlich ist dieser Prozess für die korrekte Bedatung (Ausstattung mit einem Datensatz) von SG innerhalb des Produktionsprozesses zuständig.

Hierzu stellt DL24 dem UPS die notwendigen, fahrzeugspezifischen Daten zur Verfügung. Das UPS schreibt diese simultan in jedes verbaute SG, sodass die korrekten Funktionen ausgeführt werden. Auf dieser Basis kann jedes individuelle Fahrzeug in der Linie an den jeweiligen Prozessorten (Kapitel 2.7) korrekt aufgebaut sowie bedatet werden. Hierdurch stellt DL24 eine Verknüpfung zwischen jedem kundenspezifischen Fahrzeug und den dafür benötigten Datensätzen her.

DL24 verfügt über zahlreiche Quellsysteme, gegliedert in die Bereiche Logistik, System42-Familie und Diagnose/Funktionsfreischaltung. Die Datenströme aus den Systemen der unterschiedlichen Bereiche werden in einem zentralen System zusammengeführt und im DL24-Prozess verarbeitet.<sup>90</sup>

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Systeme der Bereiche des Datenflussmodelles (Abbildung 12) erläutert.



**Abbildung 12: Vereinfachte Systemlandschaft DL24<sup>91</sup>**

<sup>90</sup> Vgl. Hilscher 2011, 3ff.

<sup>91</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 4.

Begonnen wird mit der **Modulbeschreibung Technik (MBT)**. Hierin werden sämtliche relevanten Daten sowie technische Regeln hinsichtlich der Baubarkeit eines Fahrzeugs von der TE gepflegt. Diese Regeln sollen sicherstellen, dass lediglich Aufträge technisch realisierbarer Fahrzeugkonfigurationen zugelassen werden. Anhand dieser Regeln und Primärreferenznummern (PR-Nummer) werden Eigenschaften eines Fahrzeugs beschreiben, wobei die Regeln innerhalb der PR-Nummern hinterlegt sind. Eine Konfiguration eines jeden individuellen Fahrzeugs wird somit durch eine Kombination bestimmter PR-Nummern, die nach den technischen Regeln zulässig sind, beschrieben.<sup>92</sup>

Im System **Stücklisten-Termin erfassung-Online (STEREO)** werden Einsatztermine und folglich auch zeitliche Gültigkeiten der einzelnen Komponenten in der Montage definiert. Jede Komponente sowie PR-Nummernkombination beinhaltet somit bestimmte Einsatz- und Entfalltermine.<sup>93</sup>

Anhand der Daten aus der MBT und STEREO wird die **Stückliste** erstellt. Hierin befindet sich eine Auflistung aller Einzelkomponenten eines Fahrzeugs. Jede Komponente verfügt über eine eigene, einzigartige Teilenummer (TNR) mit entsprechendem Termin.<sup>94</sup>

Zur Erklärung kann eine PR-Nummer zur Beschreibung der Eigenschaft „Rückfahrkamera“ aus mehreren Komponenten und folglich auch aus mehreren TNR bestehen. Dies involviert ebenfalls bestimmte SG und zur Funktion zugehörigen Datensätze. Diese Datensätze werden in einem Zieldatencontainer (ZDC) mit eigenständiger TNR gesammelt. Diese TNR ist für die spätere Bedarfsermittlung notwendig.<sup>95</sup>

Das letzte System im Bereich der Logistik ist das **Bedarfsermittlungssystem (BESI)**. Dieses stellt einen wichtigen Bestandteil der Datenbereitstellung für **production42 (p42)** dar. Darin werden alle vorgelagerten Informationen aus der Logistik und Entwicklung berechnet und an p42 übermittelt. Diese Daten werden in einem BESI-Bauftrag hinterlegt und bilden die Basis für den DL24-Prozess.<sup>96</sup>

Die System42-Familie stellt weitere Quellsysteme der DL24 dar. Sie sind durch ihre Endung „42“ erkenntlich und beinhalten Informationen zu für den Verbau relevanten SG. Die Hauptkomponente in dieser Familie ist das System **version42 (v42)**. Dieses ist das marken- und bereichsübergreifende Datenmanagementsystem für Elektrik- und Elektronikkomponenten im Volkswagenkonzern. v42 dient somit der durchgängigen Bereitstellung von SG-Informationen für verschiedene

---

<sup>92</sup> Vgl. Audi Medienkommunikation 2019.

<sup>93</sup> Vgl. Audi Medienkommunikation 2016, S. 25.

<sup>94</sup> Vgl. ebd., S. 20.

<sup>95</sup> Vgl. Wotzka 2017, 33f.

<sup>96</sup> Vgl. ebd.

Geschäftsbereiche. Durch **pipe42** werden Listen mit SG-Informationen aus v42 an unterschiedliche Systeme verteilt.<sup>97</sup>

Der letzte Zweig der Datenbereitstellung besteht aus spezifischen Fahrzeugdatensätzen. Bestellt ein Kunde ein Fahrzeug, wird dieses zuvor mithilfe eines Konfigurators zusammengestellt. So entspricht jede Bestellung spezifischen Fahrzeugdatensätzen, welche im System **Integrierte Fahrzeug- Auftragssteuerung (IFA)** mithilfe von PR-Nummernkombinationen abgelegt werden. Diese werden sowohl an BESI, p42 als auch an das **Fertigungs-Informations- und Steuerungssystem (FIS)** übermittelt.<sup>98</sup>

p42 stellt das zentrale System in DL24 dar. Es handelt sich hierbei um ein einheitliches IT-System, welches speziell für die Datenlogistiker in den Werken zur Werksfeinsteuerung entwickelt wurde. p42 ist die „Datenkrake“, die alle Informationen sowie Nutzdaten anfordert, um den Output des DL24 bereitzustellen.<sup>99</sup>

Das **UPS** empfängt Daten aus den Systemen p42 und FIS. Anhand dieser Daten wird ein Soll-/Ist-Abgleich der verbauten Komponenten durchgeführt. Dies geschieht mittels der PR-Nummern des Bauauftrags und der tatsächlich verbauten Komponenten. Ist diese Verbauprüfung erfolgreich, so werden elektronische Bauteile innerhalb des Fahrzeugs korrekt bedatet (Flashen, Codieren und Parametrieren).<sup>100</sup>

Zur Einleitung weiterführender Schritte nach DMAIC wird nach erfolgter Darstellung relevanter, interner Prozesse eine explizite Bestandsaufnahme der jeweiligen Ist-Zustände durchgeführt.

---

<sup>97</sup> Vgl. Volkswagen AG.

<sup>98</sup> Vgl. Hilscher 2011, S. 7.

<sup>99</sup> Vgl. Volkswagen AG.

<sup>100</sup> Vgl. Jochim 2016, 4ff.



### 3 Bestandsaufnahme Produkt- und Prozessabsicherung

Die internen Prozesse aus Kapitel 2.7 und 2.8 sowie die aus Kapitel 1.1 beschriebene Problematik der Asynchronität und späten Fehlerabstellung bilden die Basis für die folgende Bestandsaufnahme. Diese dient der Identifikation konkreter Schwachstellen der Produkt- und Prozessabsicherung und folglich Definition konkreter Handlungsfelder und zugehöriger Verbesserungspotenziale.

Anhand der durchgeführten Untersuchung wurden weitere, zusätzliche Defizite innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung identifiziert. So besteht eine zu untersuchende Abhängigkeit zwischen der Absicherung elektronischer Komponenten und der Varianz von Fahrzeugaufbauten. Zusätzlich besteht eine direkte Gefährdung der Produkt- und Prozessabsicherung hervorgerufen durch eine Stagnation von Fahrzeugaufbauten in der Serienentwicklung.<sup>101</sup> Aus diesem Grund werden hiermit vier Prozessoptimierungszyklen eingeleitet.

#### 3.1 Asynchronität der Standorte

Zur Untersuchung der Asynchronität werden zunächst zwei AA herangezogen. Sie regeln die Zeitschiene der Produkt- und Prozessabsicherung. Begonnen wird hierbei mit der für die Standorte Neckarsulm und Ingolstadt gültigen AA\_VSC\_P-V4\_12\_016 „Übergabe an das Standort-VSC zur VFF“. Laut Prozess beginnt die eigentliche Arbeit der Produkt- und Prozessabsicherung zum Meilenstein VFF und somit zehn Monate vor SOP. Die Bearbeitung auftretender Fehler wird nach erfolgreicher Übergabe durch das jeweilige Standort-VSC mithilfe des FAP verfolgt.<sup>102</sup>

Zur weiteren Aufnahme wird der Entwurf einer AA „Übergabe an die Fertigung“ mit derselben Kennnummer herangezogen. Sie stellt eine Erweiterung der oben aufgeführten AA\_VSC\_P-V4\_12\_016 dar. Das Dokument regelt die Übergabe des Fahrzeugprojekts an die Serienfertigung des jeweiligen Standorts und folglich laut Prozess das Ende der Produkt- und Prozessabsicherung durch das Standort-VSC. Insgesamt geben diese AA einen eindeutigen Verantwortungszeitraum durch P-V4 von VFF bis OS vor.<sup>103</sup>

Parallel zu den AA besteht eine separate Darstellung der Abteilung P-V44 in Neckarsulm. Hierbei handelt es sich um ein inoffizielles Dokument zur Beschreibung der Rolle des VSC in der Elektronik. Die Aufgabenbereiche des Dokuments und der

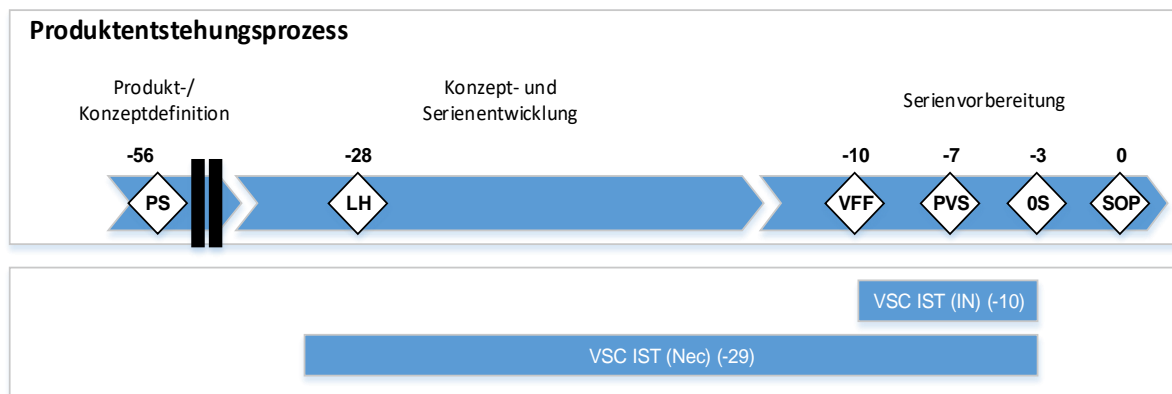
---

<sup>101</sup> Vgl. Audi AG 2019c.

<sup>102</sup> Vgl. Lemke 2017, 2ff.

<sup>103</sup> Vgl. Fleeth 2018, 2ff.

AA sind deckungsgleich, allerdings ist ein Unterschied im Zeitraum der Arbeitsabläufe zu verzeichnen. Diese Asynchronität wird in Abbildung 13 dargestellt.<sup>104</sup>



**Abbildung 13: Zeitstrahl VSC-Ist Ingolstadt und Neckarsulm<sup>105</sup>**

Laut Aussage des VSC in Neckarsulm, beginnt die Mitwirkung der Elektronik an Fahrzeugprojekten bereits ab dem ersten TT. Werden diese Zahlen miteinander verglichen, lässt sich laut Prozess eine aktive Arbeitsspanne von sieben Monaten feststellen, während die tatsächliche Arbeitsspanne etwa 26 Monate beträgt. Hierdurch entsteht eine Differenz von 19 Monaten.

Um diesen Sachverhalt zu belegen, wird zunächst eine bestehende Umfrage zu den unterschiedlichen Arbeitsweisen der Standorte aufgezeigt, woraufhin zusätzlich Statistiken aus dem internen Problemtrackingsystem (ProTIX) verglichen werden. ProTIX gilt im VSC als Werkzeug zur Dokumentation von serienrelevanten Fehlern. Anhand der analytischen Gegenüberstellung sollen mögliche Gründe für die Abweichungen aufgedeckt werden.

### 3.1.1 Vergleich der Standorte mithilfe einer Umfrage

Die Umfrage untersucht die prozentuale Fehlererkennung zu bestimmten Zeitpunkten innerhalb eines Fahrzeugprojekts. Hierbei ist abzugrenzen, dass lediglich der Zeitpunkt der Fehlererkennung und nicht der Fehlerabstellung untersucht wird. Die Fehlererkennung gleicht der Überführung der Fehler in den FAP und gleichzeitig dem Beginn der Arbeit innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung.<sup>106</sup>

Die Ergebnisse werden in folgender Tabelle (Tabelle 4) dargelegt.

<sup>104</sup> Vgl. Audi Vorseriencenter VSC 2017.

<sup>105</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 1; Audi Vorseriencenter VSC 2017.

<sup>106</sup> Vgl. Bihlmayer 2019.

**Tabelle 4: Ergebnisse des Workshops<sup>107</sup>**

Neckarsulm	GV1 (TT)	GV2 (PT)	GV3	GV3LF	GV4 (VFF)
Komfort	0 %	10 %	30 %	60 %	100 %
Fahrwerk	20 %	30 %	40 %	60 %	100 %
Antrieb	50 %	60 %	70 %	90 %	100 %
Infotainment	0-20 %	30 %	50 %	80 %	100 %
FAS	0 %	10 %	30 %	50 %	100 %

Ingolstadt	GV1 (TT)	GV2 (PT)	GV3	GV3LF	GV4 (VFF)
Komfort	0 %	0 %	0 %	30 %	100 %
Fahrwerk	0 %	0 %	0 %	20 %	100 %
Antrieb	0 %	0 %	0 %	20 %	100 %
Infotainment	0 %	0 %	0 %	20 %	100 %
FAS	0 %	0 %	0 %	20 %	100 %

Zunächst werden Abweichungen der einzelnen Module hinsichtlich der Fehlererkennung ersichtlich. So weist beispielsweise der Antrieb zum Zeitpunkt der ersten Technikträger bereits einen Wert von etwa 50 % auf, während die FAS zu diesem Zeitpunkt noch keine Fehlererkennung aufweist. Grund hierfür ist die zeitliche Versetzung hinsichtlich des Entwicklungsplans der Module.

Zudem belegt die Tabelle den enormen Unterschied der standortspezifischen Arbeitsweisen (Abbildung 13). Die Fehlererkennungsquote beträgt in Neckarsulm bereits zu GV1 26,6 % und weist einen streng monotonen Anstieg bis VFF (100%) auf. Im Gegensatz dazu beginnt die Fehlererkennung in Ingolstadt zu einem deutlich späteren Zeitpunkt und weist somit einen plötzlichen Anstieg auf.

### 3.1.2 Vergleich der Standorte durch Auswertung realer Projekte

Um die bisherigen Ergebnisse zu validieren, wird ein Vergleich zweier realer, vergangener Fahrzeugprojekte der Fahrzeugklassen D und C durchgeführt. Hierzu werden Fehlerdaten des D5 sowie C8 aus ProTIX ausgewertet. Gewählt wurden die Projekte nach ihrer Vollständigkeit im System.

<sup>107</sup> Eigene Tabelle in Anlehnung an Bihlmayer 2019.

Eine eingeschränkte Selektionsmöglichkeit hinsichtlich der Zeit in ProTIX führt zum Ausschluss der Untersuchung weit in der Vergangenheit zurückliegender Projekte, da sie nicht vollständig einsehbar sind.

Der wesentliche Unterschied dieser Projekte beruht auf dem Zeitpunkt der Übergabe an das verantwortliche Standort-VSC Neckarsulm. So wurde der D5 bereits ab dem Zeitpunkt der ersten TT in Neckarsulm betreut, während der C8 erst kurz vor VFF übergeben wurde. Dies wird durch den jeweiligen Produktionsort begründet. Sämtliche Derivate des D5 werden ausschließlich in Neckarsulm, während Derivate des C8 an beiden Standorten hergestellt werden. Da die frühe Projektphase dieser Fahrzeugprojekte an verschiedenen Standorten stattfand, eignen sie sich für den Vergleich der Arbeitsweise.

Zu diesem Zweck wird zunächst die dokumentierte Fehleranzahl der vollständigen Projekte aus ProTIX betrachtet. Bis zum Zeitpunkt VFF kann nicht dieselbe Granularität der Umfrage (Kapitel 3.1.1) gewährleistet werden, weshalb der Zeitraum erweitert wird. Betrachtet wird somit der Zeitraum vom Aufbau der ersten PT bis SOP. Die Fehleranzahl ist in Tabelle 5 dokumentiert.

**Tabelle 5: Dokumentierte Fehler des AU651 (D5) und AU583 (C8)<sup>108</sup>**

AU651	1.PT 35/15	100 % SW 08/16	VFF 34/16	PVS 47/16	OS 11/17	SOP 24/17
Komfort	252	368 (+116)	477 (+109)	510 (+33)	590 (+80)	623 (+33)
Fahrwerk/ FAS	143	295 (+152)	500 (+205)	612 (+112)	819 (+207)	873 (+54)
Antrieb	130	210 (+80)	260 (+50)	285 (+25)	324 (+39)	337 (+13)
Infotainment	49	70 (+21)	114 (+44)	199 (+85)	279 (+80)	332 (+53)
<b>Gesamt</b>	<b>574</b>	<b>943 (+369)</b>	<b>1351 (+408)</b>	<b>1606 (+255)</b>	<b>2012 (+406)</b>	<b>2165 (+153)</b>

AU583	1.PT 35/15	100 % SW 08/16	VFF 34/16	PVS 47/16	OS 11/17	SOP 24/17
Komfort	0	0 (+0)	34 (+34)	92 (+58)	126 (+34)	154 (+28)
Fahrwerk/ FAS	0	1 (+1)	67 (+66)	142 (+75)	175 (+33)	195 (+20)
Antrieb	0	11 (+11)	37 (+26)	65 (+28)	86 (+21)	98 (+12)
Infotainment	0	0 (+0)	24 (+24)	47 (+23)	68 (+21)	93 (+25)
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>12 (+12)</b>	<b>162 (+150)</b>	<b>346 (+184)</b>	<b>455 (+109)</b>	<b>540 (+85)</b>

<sup>108</sup> Eigene Tabelle in Anlehnung an Systemauszug ProTIX

Beim AU651 handelt es sich um den Anlauf des neuen D5 in Neckarsulm, während die Zahlen des AU583 den Anlauf des C8 Sportback beschreiben. Anhand dieser Tabelle fällt zunächst ein deutlicher Unterschied bezüglich des Umfangs der Fahrzeugprojekte auf. Dies lässt sich auf die hohe Anzahl an Neuentwicklungen des D5 zurückführen.

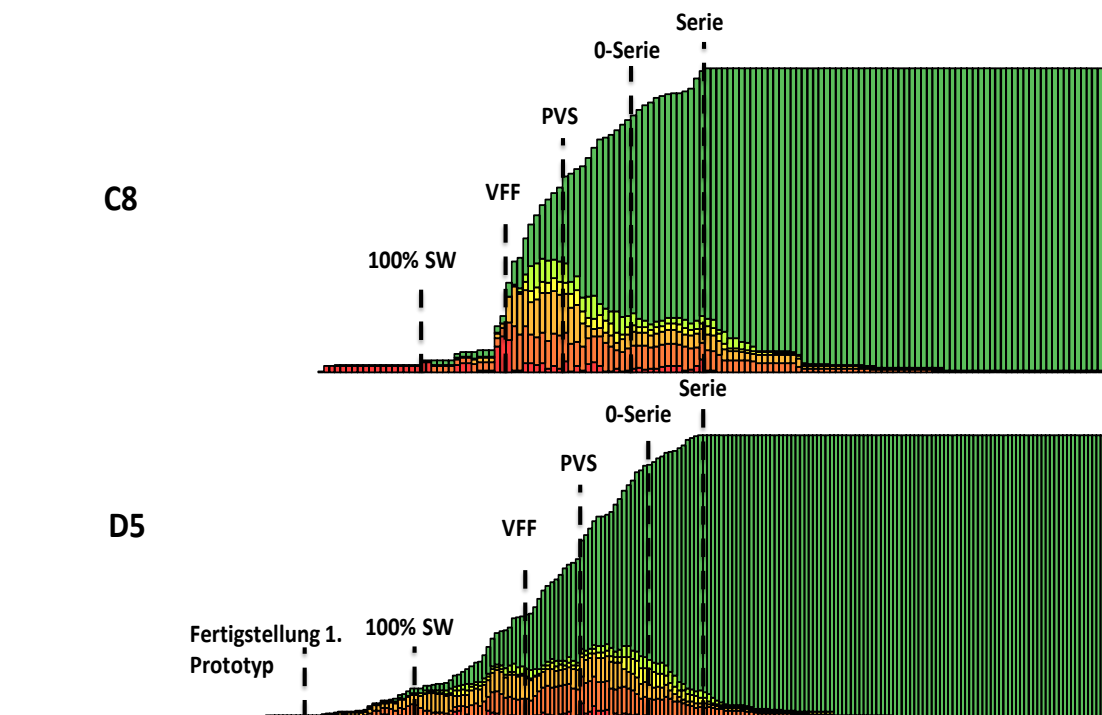
Das Verhältnis zwischen null und 574 erkannten, serienrelevanten Fehlern zum Meilenstein 1. PT verdeutlicht den Unterschied der Arbeitsweise zwischen Neckarsulm und Ingolstadt. Während in Neckarsulm zu diesem Zeitpunkt bereits eine Produkt- und Prozessabsicherung durchgeführt wird, ist in dieser Phase keinerlei Aktivität in Ingolstadt zu verzeichnen.

Während in Tabelle 4 der Meilenstein VFF eine optimistische 100 % Marke darstellt, wird im Vergleich zur Realität die Utopie des Wertes deutlich. Die Annahme einer vollumfassenden Fehlererkennung zum Zeitpunkt der VFF ist nicht umsetzbar.

Zudem sind in Tabelle 5 Unregelmäßigkeiten hinsichtlich der prozentualen Fehlererkennung zu VFF ersichtlich. So besteht in Ingolstadt eine Fehlererkennungsquote von 30 % (162/540) zu VFF, während in Neckarsulm zum selben Zeitpunkt bereits 62 % (1351/2165) der serienrelevanten Fehler erkannt werden. Dies zeigt, dass bei dem C8 bis SOP noch 70 % des Arbeitsaufwands zu bewältigen sind, während der Wert des D5 nur 38 % beträgt. Daraus resultiert ein wesentlich höherer Arbeitsaufwand in der späten Projektphase.

Zur Verdeutlichung werden Statistiken aus ProTIX bezüglich der Fehlererkennung und -abstellung pro Zeiteinheit betrachtet. Untersucht werden hierzu spezifische Projekte des D5 und C8. Hierbei wird ein statistisch algebraischer Vergleich angestrebt.

Zunächst werden die realen Fehlerverläufe der Projekte D5 und C8 betrachtet. Um den Vergleich zu vereinfachen, wird das Projekt D5 dieses Mal ab dem Zeitpunkt des 1.PT betrachtet. Der gesamte Verlauf hierzu ist in Anhang 5 hinterlegt, um die tatsächlichen Ausmaße des Projekts aufzuzeigen. Die Fehlerverläufe für den Vergleich sehen dabei wie folgt aus (siehe Abbildung 14).



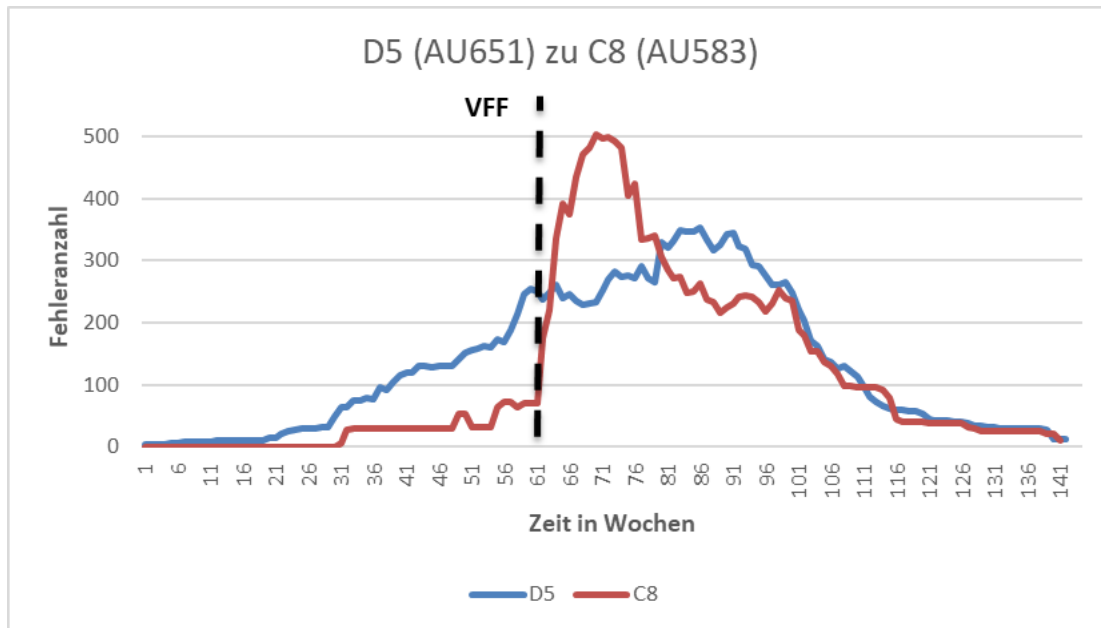
**Abbildung 14: Fehlerverläufe des C8 und D5<sup>109</sup>**

Um einen aussagekräftigen Vergleich der beiden Projekte zu ermöglichen, werden sie zunächst normiert. Dennoch wird anhand dieser Abbildung der oben beschriebene Trend bereits sichtbar. Um die Arbeitsweise und somit die Fehlererkennung darzustellen, werden die abgeschlossenen Maßnahmen, hier im Schaubild grün dargestellt, nicht betrachtet. Dadurch entsteht ein Kurvenverlauf, der bestehende Fehler pro Zeiteinheit  $t$  anzeigt.

Zur Normierung wird das Projekt des C8 zunächst an den D5 angeglichen. Die kumulierte Fehleranzahl des D5 ab der Fertigstellung der ersten PT beträgt 1356. Verglichen dazu weist der C8 eine Gesamtfehleranzahl von 546 auf. Folglich ergibt sich dadurch ein Faktor von rund 2,48. So muss die Fehleranzahl pro Zeiteinheit  $t$  mit diesem Faktor multipliziert werden, um einen Vergleich zu ermöglichen.

Zuletzt werden beide Projekte auf den Zeitpunkt VFF normiert. Das bedeutet, dass die Schaubilder ausgehend vom Punkt VFF übereinandergelegt werden. Das Ergebnis der Normierung ist in Abbildung 15 dargestellt.

<sup>109</sup> Darstellung unverändert übernommen siehe Anhang 5.



**Abbildung 15: Fehleranzahl pro Zeiteinheit t des D5 und C8 (normiert)<sup>110</sup>**

Das normierte Ergebnis gibt Aufschluss über die tatsächlichen Unterschiede der beiden Projekte. So ist beim C8 zunächst ein sprunghafter Fehleranstieg pro Zeiteinheit zu verzeichnen, während dies beim D5 nicht zu beobachten ist. Stattdessen ist die Fehlerkurve des D5 sehr homogen ansteigend. Daraus abgeleitet ist ein deutlicher Arbeitsaufwandsunterschied innerhalb der beiden Projekte zu erkennen.

Der Verlauf des D5 ermöglicht aufgrund seiner Homogenität eine zielgerechte Kapazitätsplanung, wohingegen diese Maßnahme aufgrund des sprunghaften Anstiegs beim C8 nicht effizient durchführbar ist. Dies beeinträchtigt eine akkurate Berechnung der voraussichtlichen Auslastung.

Zudem weist die Fehleranzahl bis VFF einen deutlichen Unterschied auf. So können zu VFF ca. 250 Fehler (D5) und ca. 80 Fehler (C8) verzeichnet werden. Das entspricht dem Faktor 3,125.

Zunächst wird daraus eine eindeutig höhere Effizienz in der Arbeitsweise des D5 abgeleitet. Ein weiterer Vorteil ist die mögliche Beeinflussung des Projektes. So kann jeder frühzeitig entdeckter Fehler durch seine Bearbeitung Aufschluss über mögliche Folgefehler und weiteren Handlungsbedarf geben. Diese Möglichkeit besteht beim C8 lediglich sehr eingeschränkt, wodurch der sprunghafte Anstieg ab VFF verstärkt wird.

Der beschriebene Faktor von 3,12 bezüglich frühzeitig entdeckter Fehler gespiegelt mit der „Rule of Ten“ (Abbildung 7), leitet eine enorme Einsparung hinsichtlich des Gesamtprojekts ab. Aus diesem Grund ist der Mehraufwand vor VFF beim D5,

<sup>110</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 5.

welcher anhand der eindeutig sichtbaren Integraldifferenz zu erkennen ist, vernachlässigbar.

Zusätzlich können serienrelevante Erkenntnisse aus der Arbeit vor VFF auch auf andere Projekte angewandt werden. So ist es möglich bei Projekten mit ähnlichem Umfang mithilfe angeeigneter Erfahrungswerte gezielt nach Fehlern zu suchen.

Bei Betrachtung der Endphase beider Projekte sind drei Auffälligkeiten festzustellen. Zunächst ist das Maximum der D5-Kurve zu einem späteren Zeitpunkt zu beobachten. Dies ist auf den Projekttyp („Schneeräumer“) zurückzuführen. Einen „Schneeräumer“ zeichnen große Umfänge an Neuentwicklungen aus, welche in Folgeprojekte übernommen werden. Übertragbare Komponenten werden als Carry Over Parts (COP) bezeichnet. So wurden während des Anlaufs des D5 sehr komplexe Umfänge wie das zentrale FAS (zFAS) entwickelt.<sup>111</sup> Solche Umfänge sind meist verantwortlich für eine Verschiebung des SOP und spiegeln sich in diesem Schaubild durch das Maximum der D5-Kurve wider.

Trotz des „Schneeräumer“-Verhaltens ist der Abstieg beider Kurven ab Woche 100 in etwa identisch. Dies deutet auf die Notwendigkeit einer Analyse der frühen Phase. Diese Phase wird hiermit als Zeitraum zwischen der Fertigstellung der ersten PT (GV2) und VFF definiert.

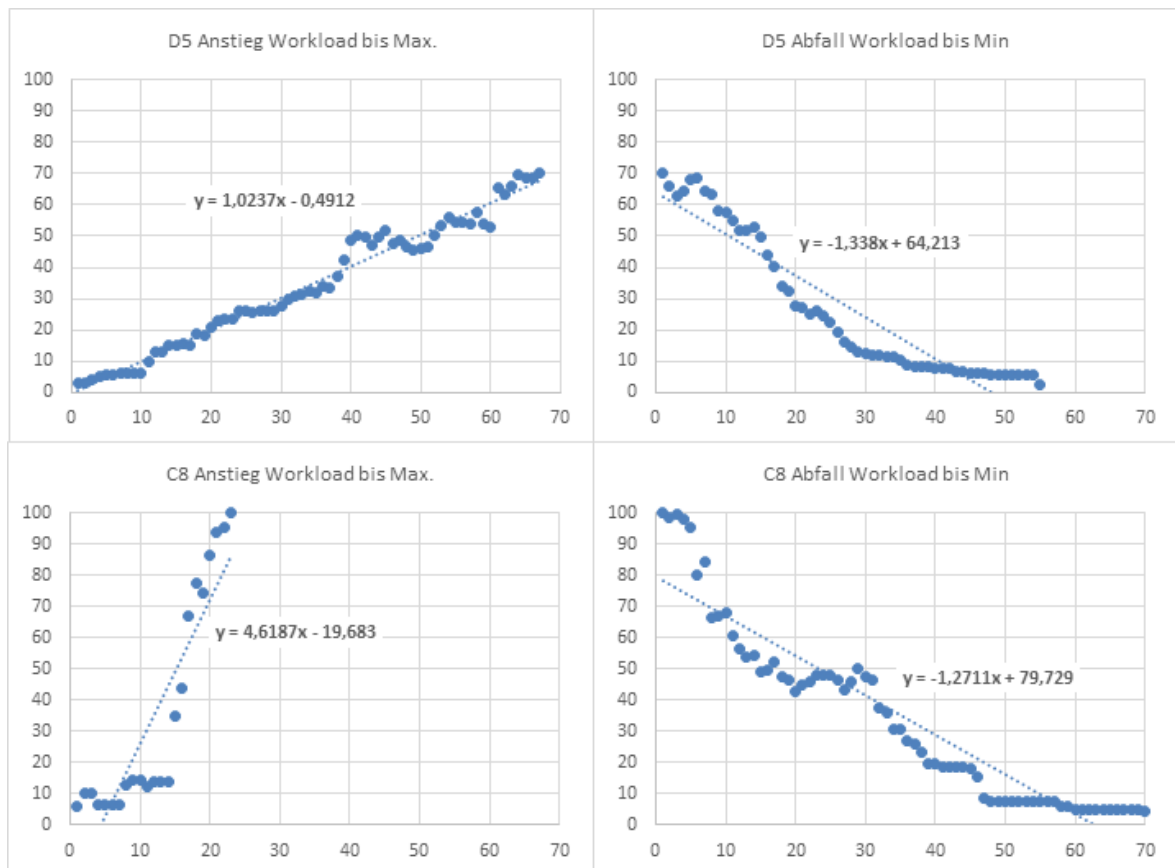
Zusätzlich sind die Integraldifferenzen nach VFF zu vergleichen, da sie aufgrund ihres späten Zeitpunkts im Projekt nach der „Rule of Ten“ monetär negativ zu bewerten sind. Hierbei gilt:  $\int C8 > \int D5$ . Hierdurch entstehen beim C8 ab VFF höhere Projektkosten.

Um eine genauere Untersuchung des Arbeitsaufwands zu ermöglichen, werden die Verläufe der Fehlerkurven in folgender Abbildung (Abbildung 16) am Höhepunkt aufgespalten und separat betrachtet.

---

<sup>111</sup> Vgl. Grauf und Reimold 2017.





**Abbildung 16: Entwicklung des Arbeitsaufwands des D5 und C8<sup>112</sup>**

Die Werte sind auf einen einheitlichen, prozentualen Wert geeicht. Betrachtet werden jeweils der Anstieg von Minimum zu Maximum, sowie der Abstieg von Maximum zu Minimum der Fehlerkurven. Mittels Tangenten wird die tatsächliche Entwicklung des Arbeitsaufwandes verglichen.

Zunächst ist ein mathematisch nahezu deckungsgleicher Abfall der Steigungen ( $-1,33x \sim -1,27x$ ) von Maximum zu Minimum erkennbar. Bei dem Anstieg von Maximum zu Minimum ist jedoch ein deutlicher Unterschied ( $4,6x >> 1x$ ) zu beobachten. Dieser Unterscheid ist auf die Arbeitsweise in der frühen Phase zurückzuführen.

Zusätzlich ist anhand der Abbildung 16 hinsichtlich der Maximalauslastung während des Fahrzeugprojekts eine eindeutige Aussage möglich. So entsprechen die Extremwerte der beiden Verläufe zum jeweiligen Zeitpunkt  $t$  einem Y-Wert von  $y \approx 350$  (D5) sowie  $y \approx 500$  (C8). Diese Werte sind ebenfalls in Abbildung 15 zu beobachten. Demnach erreicht das Fahrzeugprojekt des D5 eine Maximalauslastung von etwa 70 % der des C8. Folglich lässt sich hier nochmals eine bessere Kapazitätsverteilung prognostizieren.

Zusammengefasst werden die Ergebnisse dieses Vergleichs anhand der folgenden Tabelle (Tabelle 6) aufgezeigt.

<sup>112</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 5.

**Tabelle 6: Vergleich D5 und C8**

D5	C8
250 bekannte Fehler zum Zeitpunkt VFF	80 bekannte Fehler zum Zeitpunkt VFF
<b>→ Höhere Effizienz</b>	
Homogener Anstieg des Workloads (Tangente = ca. 1,0x)	Sprungartiger Anstieg des Workloads (Tangente = ca. 4,6x)
<b>→ Kapazitätsplanung effizienter</b>	
Maximale Fehleranzahl zu einem Zeitpunkt t ~ 350	Maximale Fehleranzahl zu einem Zeitpunkt t ~ 500
<b>→ Geringere Maximalauslastung</b>	
Effektive Fehlererkennung ab GV2	Effektive Fehlererkennung kurz vor VFF
<b>→ Frühzeitige Projektbeeinflussung</b>	

Aus dem Vergleich der beiden Fahrzeugprojekte kann der Schluss gezogen werden, dass aus Sicht der Produkt- und Prozessabsicherung für die Arbeitsweise ein Projektverlauf gemäß des D5 und folglich eine frühe Phase erstrebenswert ist.

Allgemein ist die Vorgehensweise beim D5 effizienter, kostengünstiger und zielführender. Wird die Arbeitsweise laut offiziellem Prozess betrachtet, spiegelt das den Verlauf des C8 wider. Somit gleicht dieser Verlauf dem prozessualen Ist-Zustand der Audi AG. Als Referenzwert zu dieser Schlussfolgerung ist zusätzlich der Projektverlauf des vollständig in Ingolstadt betreuten B9 in Anhang 6 beigefügt.

Werden weiterhin die Vorteile der frühen Phase betrachtet, ist diese eindeutig als standortübergreifender Soll-Zustand anzustreben. Zusätzlich sind die ausbleibenden Vorteile beim C8-Verlauf als Schwachstellen des Ist-Prozesses zu definieren.

Folglich muss im weiteren Schritt eine genaue Untersuchung der vollführten Tätigkeiten innerhalb der Fahrzeugprojekte erfolgen, um so Bedingungen für einen Standard ableiten zu können. Insgesamt ergibt sich aus diesem Vergleich das Handlungsfeld „**Die frühe Phase ermöglichen**“.

## 3.2 Datenlogistik<sup>24</sup>

Nachdem die vereinfachten Grundlagen und die Systemlandschaft von DL24 in Kapitel 2.8 aufgezeigt wurden, wird zur Ist-Aufnahme der Datenbereitstellungsprozess beleuchtet.

Grundsätzlich wird DL24 durch die Bestellung eines Fahrzeugs ausgelöst, woraufhin die Bestellung zunächst an Folgesysteme übermittelt wird.

Der nachfolgende Schritt der Datenbereitstellung wird in BESI vollzogen. Hier werden PR-Nummernkombinationen in dafür benötigte Komponenten aufgeschlüsselt. Anhand der Bestellung und der zusätzlichen SG-Informationen aus v42 verfügt BESI über das notwendige Wissen, um einen korrekten Teile- sowie Datenbedarf zu ermitteln.

Im nächsten Schritt prüft BESI in der Stückliste, ob die für den Auftrag benötigten Komponenten darin vorhanden, terminiert sowie gültig sind. Explizit ermittelt BESI immer genau eine gültige SG-TNR sowie Datencontainer-TNR je Elektronikbaugruppe. Hierbei werden unter anderem auch fehlende Teile bzw. Lücken in der Stückliste entdeckt und ergeben einen BESI-Fehler. Die berechneten TNR werden an FIS und p42 via BESI-Liste versandt.

Daraufhin wird eine Datenzusammenführung in p42 ausgelöst. Zusätzlich zur BESI-Liste werden sämtliche SG-Informationen aus v42 eingelesen. Außerdem wird die Bestellung und somit die Fahrzeugdatensätze von IFA an p42 übermittelt. Die Zusammenführung dieser Daten ist für die Erstellung eines sogenannten Alternativen Sollverbau-Releases (ASV-Release) notwendig.

Mit Hilfe des ASV-Releases werden Fahrzeugsolldaten an den UPS-Server übermittelt. Hierbei ist der Name irreführend, da neben Daten zum Verbau von Alternativen auch tatsächliche Soll-Daten übermittelt werden.

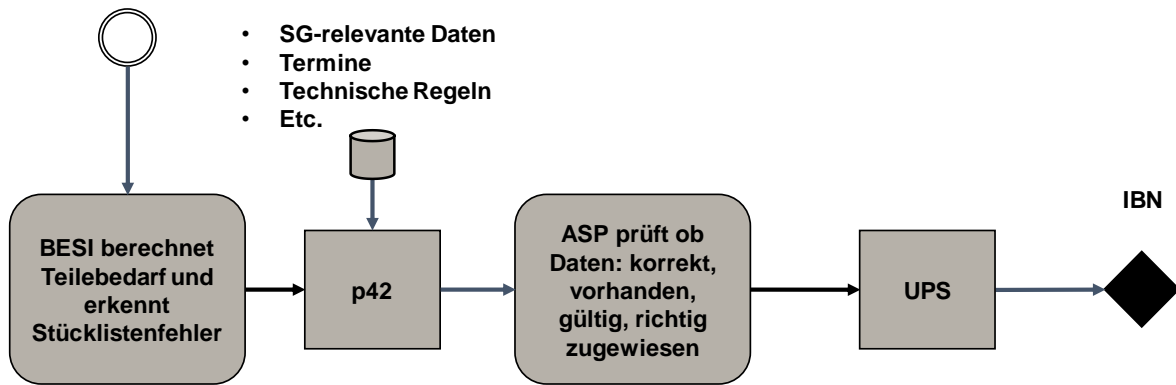
Bevor das ASV-Release erstellt wird, vollführt p42 eine finale Prüfung der zusammengeführten Daten. Diese Prüfung wird separat, nach der Beschreibung des Datenbereitstellungsprozesses ausgeführt.

Während p42 das ASV-Release erstellt, verwertet FIS die Bestellung aus IFA und die aus BESI zugehörigen Teilenummern. Aus diesen beiden Datenquellen entsteht in FIS ein kompletter, expliziter Bauauftrag, welcher an das UPS übermittelt wird.

Im letzten Schritt werden die Daten aus FIS sowie das ASV-Release im UPS zusammengeführt, um sicherzustellen, dass das Fahrzeug aus Sicht der Elektronik korrekt aufgebaut wurde. Damit ist der Prozess abgeschlossen.<sup>113</sup>

---

<sup>113</sup> Vgl. Hilscher 2011, S. 5–16.

Abbildung 17: IST-Zustand DL24<sup>114</sup>

In Abbildung 17 wird der Prozess zusammengefasst dargestellt sowie dessen Prüfzyklen separat betrachtet.

Wie bereits beschrieben, erkennt BESI anhand der Bedarfsermittlung Stücklistenfehler. Wird eine Lücke erkannt, sendet BESI eine Liste mit der Bemerkung „NOCORINF“ (no correct information) an der Stelle der vorgesehenen TNR an p42. Außerdem prüft BESI zwar die Komponenten, jedoch nicht die Gültigkeit der PR-Nummernkombination. Somit findet keine Prüfung gegen MBT statt.

Weiterhin besteht innerhalb der Datencontainer und der Stückliste eine Verknüpfung der Komponenten. So müssen Datencontainer und SG untereinander zugewiesen sein. Bedeutet, dass in diesem Fall eine Prüfung der Verfügbarkeit von Komponenten nach BESI nicht ausreicht. Es muss eine innere Prüfung der Informationen stattfinden. Letztendlich übernimmt die finale, sogenannte Absicherungs-Prüfung (ASP) durch p42 diese Aufgabe. Somit prüft die ASP ob sämtliche Daten korrekt, verfügbar, gültig und richtig zugewiesen sind, um eine Inbetriebnahme zu ermöglichen.

Ergeben die Prüfungen Fehler, wird das ASV-Release nicht übermittelt sowie eine explizite Auflistung aller Fehler aufgezeigt. Diese Fehler werden daraufhin in den FAP überführt und abgestellt. Somit besteht die Möglichkeit, die für das zu bauende Fahrzeug benötigten Datensätze abzusichern.<sup>115</sup>

Wird der Prozess in seiner Gesamtheit betrachtet, so wird eine explizite Schwachstelle deutlich. Die notwendigen Daten lassen sich zwar mithilfe der im Prozess integrierten Prüfzyklen absichern, es besteht jedoch nicht die Möglichkeit, eine allgemeine Datensicherheit zu garantieren. Grund hierfür ist, dass lediglich die Bestellung eines realen Fahrzeugs die Bedingung für das Auslösen des Prozesses erfüllt. Das bedeutet im Umkehrschluss:

<sup>114</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Hilscher 2011, S. 5–16.

<sup>115</sup> Vgl. ebd.

- Die Datensicherheit hängt davon ab, ob ein Auftrag eingestellt wird. Geschieht dies nicht, werden keine Daten geprüft. Das bedeutet, dass eine große Anzahl nach MBT baubarer Fahrzeuge nicht geprüft wird, da sie nicht bestellt werden. Lediglich die während der Serienentwicklung tatsächlich aufgebauten Konfigurationen können datentechnisch abgesichert werden. Somit herrscht zu keinem Zeitpunkt  $t$  eine allgemeine Datensicherheit.
- Wird ein Auftrag eingestellt, werden die Daten zwar geprüft, jedoch erst wenn der Produktionstermin durch die Bestellung festgelegt ist. Werden zu diesem Zeitpunkt Fehler innerhalb der Quellsysteme festgestellt, ist die planmäßige Produktion des Fahrzeugs abhängig vom Arbeitsaufwand der Fehlerabstellung.

Anhand der Erkenntnis einer sehr vorteilhaften frühen Phase verbunden mit den erkannten Schwachstellen kann das Handlungsfeld „**Datensicherheit in der frühen Phase**“ abgeleitet werden.

Zusätzlich wurde erkannt, dass die aktuelle Datensicherheit nicht nur vom Ereignis „Bestellung“ und dessen Anzahl abhängt, sondern auch von den bestellten Konfigurationen. Daraus folgt: Datensicherheit  $\sim$  Varianz.

Wird diese Proportionalität erweitert betrachtet, so wird ersichtlich, dass neben der Datensicherheit die Absicherung elektrischer Komponenten im Allgemeinen ebenfalls von der Varianz abhängt. Dies führt zur im nachfolgenden Kapitel erarbeiteten Ist-Aufnahme der Varianz in der Serienentwicklung.

### 3.3 Varianz in der Serienentwicklung

Die Problematik der Abhängigkeit zwischen Varianz und Absicherung elektronischer Komponenten, sowie dazu gehöriger Software basiert auf tatsächlich aufgebauten Konfigurationen. Lediglich durch den Aufbau und Inbetriebnahme eines Fahrzeugs besteht die Möglichkeit, den darin vorhandenen Gesamtverbund aus elektronischen Komponenten sowie Software abzusichern. Bei der geringsten Änderung der Funktionen eines Fahrzeugs ändert sich im Umkehrschluss der Gesamtverbund. Wird die abgeänderte Konfiguration nicht aufgebaut und folglich nicht in Betrieb genommen, so erfolgt keine Absicherung. Daraus resultiert: Absicherung  $\sim$  Varianz.

Nachdem die Problematik der Varianz in der Serienentwicklung dargelegt wurde, folgt die Aufnahme des Ist-Zustands hinsichtlich der Varianzabdeckung aufgebauter Fahrzeuge. Zu diesem Zweck wurde die im VSC befindliche Aufbausteuerung befragt.

Wie bereits in Kapitel 3.2 aufgezeigt wurde, ist die Varianz von bestellten Konfigurationen abhängig. Die Kunden hierbei sind diverse interne Fachbereiche der TE. Jeder Fachbereich benötigt in regelmäßigen Abständen bestimmte Funktionen und folglich Komponenten innerhalb eines Fahrzeugs, um spezifische, wiederkehrende Erprobungen durchzuführen. So werden beispielsweise für eine Langzeiterprobung in kalten Ländern Funktionen wie eine Sitzheizung oder ein beheizbares Lenkrad benötigt, während eine Erprobung der FAS die Gesamtheit an Kameras, Sensorik und weiteren Komponenten erfordert.<sup>116</sup>

Hierzu wählt der jeweilige Besteller zunächst relevante PR-Nummern für individuelle Erprobungszwecke aus (Abbildung 18). Weitere wählbare Konfigurationsoptionen werden mit einem „blank“ bzw. einer Standardauswahl befüllt.

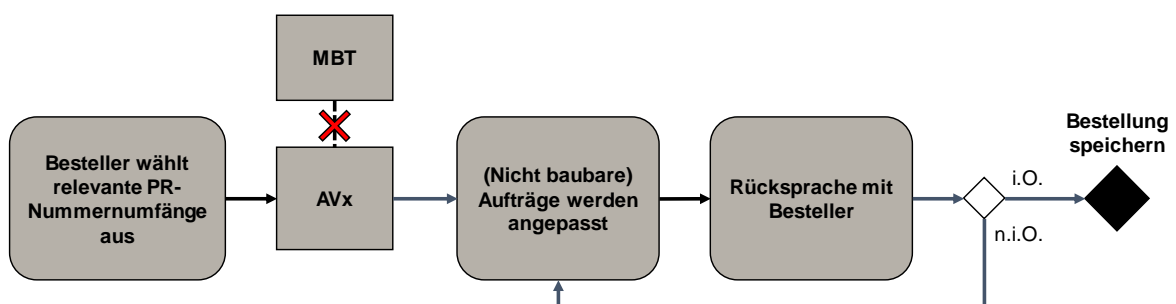


Abbildung 18: Ist-Zustand der Aufbausteuerung<sup>117</sup>

Diese Konfiguration wird im System **Auftragsabwicklung** und **Versuchsvorbereitung** aller (x) Fachbereiche der TE (AVx) eingepflegt. Jedoch verfügt AVx über keine Anbindung zu MBT und hat somit keine Kenntnis über technische Regeln hinsichtlich der Baubarkeit von Fahrzeugen. Aus diesem Grund werden regelmäßig technisch nicht realisierbare Aufträge erteilt.<sup>118</sup>

Im weiteren Verlauf des Prozesses findet eine manuelle Anpassung nicht baubarer Aufträge an technische Regeln statt. Diese Aufgabe liegt im Verantwortungsbereich der Aufbausteuerung. Wird ein baubarer Zustand erreicht, so erfolgt eine Rücksprache mit dem Besteller. Hierbei wird die Entscheidung getroffen, ob sich die angepasste Konfiguration für den jeweiligen Erprobungszweck eignet. Wird sie als in Ordnung (i. O.) eingestuft, so wird diese abgespeichert und aufgebaut. Wird sie als nicht in Ordnung (n. i. O.) eingestuft werden, so wird im Zuge einer Rückkopplung eine Anpassung des Auftrages durchgeführt, bis der Zustand i. O. erreicht wird. Hiermit ist der Prozess abgeschlossen.<sup>119</sup>

<sup>116</sup> Vgl. Wotzka 2018.

<sup>117</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Fischer 2019.

<sup>118</sup> Vgl. Audi AG 2019b, 96ff.

<sup>119</sup> Vgl. Fischer 2019.

Wird dieser Prozess in seiner Gesamtheit betrachtet, so sind mehrere Schwachstellen und folglich eine Ineffizienz abzuleiten. Sie sind nachfolgend aufgeführt:

Durch eine fehlende Anbindung an MBT werden technisch nicht realisierbare Fahrzeuge in AVx konfiguriert und verursachen einen Mehraufwand durch eine manuelle Anpassung der Aufträge innerhalb der Rückkopplung.

Da der gesamte Vorgang auf manueller Bearbeitung beruht, führt er unweigerlich zu Datenbrüchen (nicht vollständig durchgängiger, systemseitig durchgeführter Datentransport), wodurch eine hohe Fehleranfälligkeit durch fehlende Automatisierung vorliegt.

Weiterhin bietet AVx keine Möglichkeit zur Datenspeicherung. Dies führt zu einer wiederholten Eingabe relevanter PR-Nummernumfänge bei jeder Bestellung und somit zu einem Mehraufwand.

Für die Erprobung eines Fahrzeugs werden mit voranschreitendem Projektverlauf regelmäßig dieselben PR-Nummernumfänge von den Bestellern gewählt. Dies führt im Umkehrschluss zu einer hohen Anzahl identisch aufgebauter Fahrzeuge, wodurch keine bis sehr eingeschränkte Varianz in der Serienentwicklung und folglich Absicherung vorherrscht. Dieser Zustand ist aus Sicht der Produkt- und Prozessabsicherung und folglich aus Sicht des Unternehmens unzureichend.

Unter Betrachtung des Auftrags der Produkt- und Prozessabsicherung müssten sämtliche Konfigurationsmöglichkeiten eines Fahrzeugs erprobt werden. Hierdurch können Verbünde elektronischer Komponenten sowie der dazugehörigen Software abgesichert werden. Schlussfolgernd ist eine möglichst hohe Varianz während der Serienentwicklung erstrebenswert. Dieser Sachverhalt bildet das dritte Handlungsfeld der vorliegenden Arbeit: „**Varianz in der frühen Phase**“.

### 3.4 Auswirkungen stagnierender Fahrzeugaufbauten

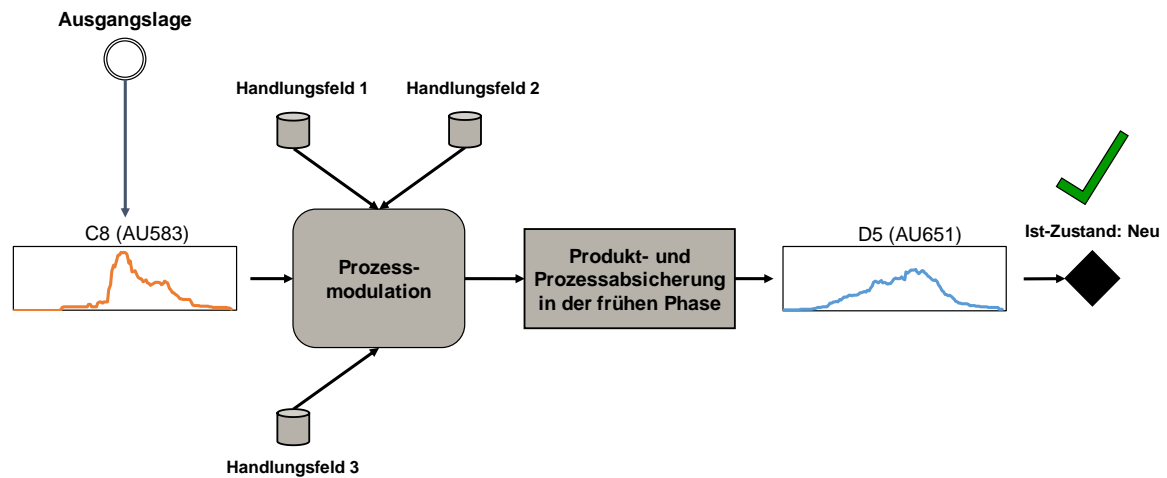
Aufgrund der vorgesehen Einsparungen durch das Unternehmen, werden die Auswirkungen stagnierender Fahrzeugaufbauten näher untersucht,<sup>120</sup> da die Zukunftsausrichtung des Unternehmens die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit direkt beeinflusst. Somit entspricht diese keiner klassischen Ist-Aufnahme eines Prozesses, sondern stellt eine Ist-Aufnahme direkter Auswirkungen dar.

Zur Erklärung der Relevanz dienen die Abbildungen 19 und 20. Hierzu wird in Abbildung 19 der durch die vorliegende Arbeit neu entstehende Ist-Zustand der Produkt- und Prozessabsicherung dargestellt. Die Ausgangslage innerhalb der

---

<sup>120</sup> Vgl. Audi AG 2019c.

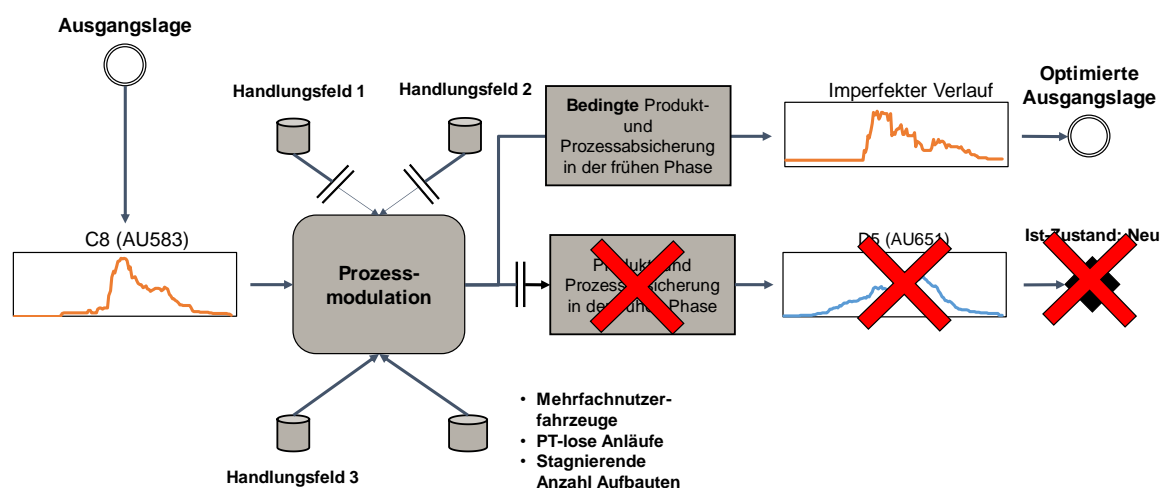
Abbildung entspricht dem in Kapitel 3.1.2 aufgezeigten C8-Kurvenverlauf ohne frühe Phase.



**Abbildung 19: Ist-Zustand Produkt- und Prozessabsicherung (neu)<sup>121</sup>**

Darauffolgend befindet sich ein Prozessmodulationskasten. Dieser ist vergleichbar mit der aus der Übertragungstechnik bekannten Signalmodulation, bei der ein Trägersignal mit Informationssignalen zu einem neuen Signal moduliert wird. So wird die Ausgangslage (C8-Verlauf) innerhalb dieser Prozessmodulation mithilfe der Handlungsfelder 1-3 zum erwünschten neuen Ist-Zustand (D5-Verlauf) moduliert. Dieser Verlauf ist durch Handlungsfelder 2 und 3 und somit einer Amplitudenglättung des D5-Kurvenverlaufs zusätzlich optimiert.

Das in Abbildung 19 dargestellte Modell, wird im Folgenden um einen weiteren Eingang des Prozessmodulationskastens erweitert. Dieser Eingang stellt die Stagnation der Fahrzeugaufbauten innerhalb der Serienentwicklung dar (Abbildung 20).



**Abbildung 20: Erweiterter Ist-Zustand Produkt- und Prozessabsicherung (neu)<sup>122</sup>**

<sup>121</sup> Eigene Darstellung.

<sup>122</sup> Eigene Darstellung.



Zunächst bestehen dieselbe Ausgangslage sowie Eingänge am Prozessmodulationskasten wie in Abbildung 19 dargestellt. Zusätzlich wird die Stagnation der Fahrzeugaufbauten in der Serienentwicklung und deren Auswirkungen berücksichtigt.

Das Handlungsfeld „frühe Phase ermöglichen“ wird durch eine Reduktion von bis zu 50 % und prototypenlosen Fahrzeugprojekten beeinträchtigt. Werden keine Prototypen ab GV2 sondern erst kurz vor VFF aufgebaut, ist das gesamte Handlungsfeld faktisch aufgehoben. Grund hierfür ist, dass eine frühe Phase dadurch nur bedingt möglich ist oder gar verhindert wird.

Zusätzlich wird die Erhöhung der „Varianz in der frühen Phase“ bei einer derartigen Stagnation der Fahrzeugaufbauten nahezu trivial. Werden kaum bis keine Fahrzeuge in der frühen Phase aufgebaut, wird auch keinerlei Varianz berücksichtigt.

Lediglich Handlungsfeld 2 bleibt von diesem Eingang unberührt. Grund hierfür ist die Idee einer vom Produktionsprozess losgelösten „Datensicherheit in der frühen Phase“. Folglich kann diese Idee nicht von der Stagnation beeinflusst werden, wodurch der Signaleingang nicht verändert wird.

Daraus abgeleitet wird der ursprüngliche Ausgang der Prozessmodulation aus Abbildung 19 nicht erreicht. Stattdessen wird lediglich eine bedingte Produkt- und Prozessabsicherung in der frühen Phase und folglich ein imperfekter Kurvenverlauf bewirkt.

So ist das Ergebnis im Idealfall eine geringfügig optimierte Ausgangslage. Die hierbei geringfügige Optimierung basiert auf der Immunität des zweiten Handlungsfelds. Aus diesem Grund besteht eine dringende Notwendigkeit präventive Lösungen zu entwickeln, da die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit andernfalls an Gültigkeit verlieren.

Diese Argumentation bzw. Ist-Aufnahme führt zum vierten Handlungsfeld **„Stagnierende Fahrzeugaufbauten in der frühen Phase“**.

### 3.5 Übersicht der Bestandsaufnahme

In diesem Kapitel erfolgt eine Zusammenfassung der in Kapitel 3.1 – 3.4 erfolgten Bestandsaufnahme. Hierzu werden die festgehaltenen Handlungsfelder kurz und übersichtlich in den Rahmen der vorliegenden Arbeit dargestellt und eingeordnet (Abbildung 21).

Zunächst wird in Kapitel 3.1 ein Vergleich der Standorte Neckarsulm und Ingolstadt vorgenommen, um die Thematik der Asynchronität zu prüfen. Dieser erfolgt anhand eines Projektvergleichs des D5 und C8, wodurch deutliche Vorteile der Arbeitsweise in Neckarsulm dargelegt werden. Schlussfolgernd ist eine standortübergreifende Produkt- und Prozessabsicherung in der frühen Phase als Soll-Zustand und somit

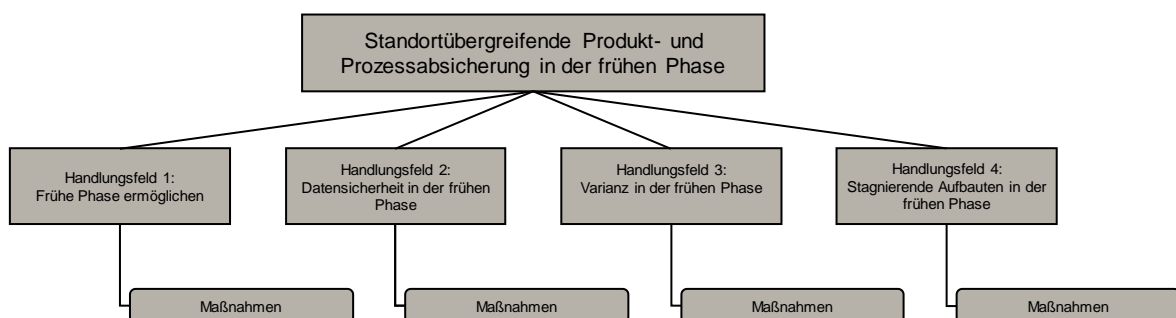
als zukünftiger Prozessstandard zu definieren. Hierzu soll in Handlungsfeld 1 untersucht werden, unter welchen Gesichtspunkten die frühe Phase zum Prozessstandard etabliert werden kann.

Die Aufnahme der DL24 gibt Aufschluss über die aktuelle Datensicherheit. Hierbei wird die Fähigkeit einer konsequenten Fehlererkennung innerhalb der Systemwelt und somit die Effizienz der darin bestehenden Prüfzyklen erarbeitet. Da der Prozess der DL24 lediglich bei Eingang einer realen Bestellung ausgelöst wird und folglich nur Datensätze des konkreten Fahrzeugauftrages prüft, kann das Fehlen einer allgemeinen Datensicherheit festgestellt werden. In Handlungsfeld 2 soll eine vom Produktionsprozess losgelöste Datensicherheit untersucht werden.

In Kapitel 3.3 ist eine varianzabhängige Absicherung elektronischer Komponenten sowie zugehöriger Software beschrieben. So kann deren Absicherung lediglich anhand eines explizit konfigurierten, aufgebauten Fahrzeugs erfolgen. Des Weiteren zeigt die Ist-Aufnahme des Aufbausteuerungsprozesses dedizierte Schwachstellen auf. Aus diesem Grund wird der Handlungsbedarf einer Erhöhung der Varianz bestätigt und in Handlungsfeld 3 untersucht.

Letztlich wird der Aspekt stagnierender Fahrzeugaufbauten innerhalb der Serienentwicklung und dessen Auswirkungen auf die vorliegende Arbeit aufgenommen. Dieser Sachverhalt ist im Stande gravierende Beeinträchtigungen der Handlungsfelder 1 und 3 zu verursachen, wodurch eine Untersuchung dringend notwendig ist. In Handlungsfeld 4 sollen mögliche Lösungsansätze zur Prävention der erkannten Risiken erarbeitet werden.

Nachdem die Zusammenfassung der Ergebnisse aus Kapitel 3 erfolgt ist, werden im Folgenden, wie in Abbildung 21 dargestellt ist, konkrete Maßnahmen je Handlungsfeld ausgearbeitet.



**Abbildung 21: Zusammenfassung Ergebnisse Bestandsaufnahme<sup>123</sup>**

<sup>123</sup> Eigene Darstellung.

## **4 Analyse und Lösungskonzepte zur Optimierung**

Grundlage dieses Kapitels bilden zuvor definierte Schwachstellen sowie Handlungsfelder aus der Bestandsaufnahme der Produkt- und Prozessabsicherung in Kapitel 3. Dabei stellt jedes Handlungsfeld eine autonome, separate Problematik dar, wodurch eine Lösungskonzeption einer individuellen Herangehensweise bedarf. Anhand einer tiefgehenden Analyse werden hierzu explizite Lösungskonzepte (Maßnahmen) erarbeitet. Konkret gekennzeichnete Steckbriefe zu den Maßnahmen befinden sich in Anhang 7.

### **4.1 Die frühe Phase ermöglichen**

Dieses Handlungsfeld verfolgt das Ziel, die aus dem Vergleich der beiden Standorte herausgearbeiteten Vorteile der frühen Phase als Prozessstandard zu etablieren und simultan die Asynchronität der Standorte zu beseitigen.

Die Arbeitsweise innerhalb des D5-Projekts erfüllt den erstrebten Aspekt und stellt somit den Soll-Prozess dar, während der C8 den Ist-Zustand beschreibt. Aus diesem Grund werden ebenjene untersucht.

#### **4.1.1 Analyse - Standortübergreifende Arbeitsweise**

Hierzu wird eine Befragung von am D5 sowie C8 beteiligten PTM durchgeführt. Anhand dessen werden konkrete Maßnahmen für einen standortübergreifenden Standard abgeleitet. Die Ergebnisse der Befragung werden anhand Tabelle 7 erläutert.

**Tabelle 7: Vergleich der Arbeitsweise<sup>124</sup>**

	D5	C8
<b>Aufbau PT inkl. Herausfiltern P-relevanter Fehler</b>	Ab 1. PT (GV2) in NEC	Kurz vor VFF (ca. 10-15 Stk.)
<b>Verantwortungsbereich</b>	Ab TT/PT	Ab VFF
<b>Fehlerabstellprozess</b>	Ab 1. PT (GV2)	Kurz vor VFF
<b>Reale Simulation IBN</b>	Ab 1. PT (GV2)	Kurz vor VFF
<b>Planercheck</b>	-	Kurz vor VFF
<b>Testen der Prüftechnik</b>	Sobald verfügbar (¼ a vor VFF)	Sobald verfügbar (½ a vor VFF, vorhanden durch D5-Projekt)
<b>Zusammenarbeit Prüfprogrammierer &amp; Produktintegratoren</b>	Ab PT (N/PV-4x + Planung), regelmäßig	Ab PT (N/PV-4x + Planung)
<b>Testbarkeit</b>	Jederzeit	1x wöchentlich

Die ersten drei Zeilen der Tabelle zeigen die Grundvoraussetzungen der Produkt- und Prozessabsicherung auf.

Die Absicherungsarbeit inklusive FAP und somit konsequenter Fehlerabstellung beginnt in Neckarsulm mit dem Aufbau der ersten Fahrzeuge (PT) durch die VSC-interne Werkstatt. Fahrzeugaufbauten in Ingolstadt werden bis VFF durch die Entwicklungswerkstatt (EW) durchgeführt. Somit befinden sich die Fahrzeuge im Verantwortungsbereich der TE. Diese bedient sich nicht des FAP, wodurch eine definierte Fehlerabstellung nicht gewährleistet ist.

Dies zeigt, dass der Zeitpunkt der Verantwortungsübernahme durch das VSC über spezifische Anläufe die Ursache für die Asynchronität innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung zwischen Ingolstadt und Neckarsulm darstellt.<sup>125</sup>

Die Zeilen vier und fünf der Tabelle („Reale Simulation IBN“ und „Planercheck“) widmen sich der gezielten Absicherung der Prozessorte (Abbildung 5). Die „Reale Simulation IBN“ beschreibt die Absicherung der Prozessorte außerhalb der Linie. Hierbei werden Fahrzeuge zunächst manuell aufgebaut, bis sie dem Prozessort IB1

<sup>124</sup> Eigene Tabelle in Anlehnung an Produkttechnologiemethodenentwickler N/P-V441 2019a.

<sup>125</sup> Vgl. ebd.

entsprechen. Das in diesem Zustand befindliche Fahrzeug wird getestet, sodass bereits Fehler erkannt und entsprechende Prozessorte frühzeitig beeinflusst werden können. Dieser Vorgang wiederholt sich, bis der letzte Inbetriebnahmeschritt abgeschlossen ist.

Durch den früher geltenden Verantwortungsbereich und folglich den Aufbau der Fahrzeuge durch die Werkstatt des Standort-VSC können die Prozessorte des D5 iterativ nach geplantem Produktionsprozess frühzeitig getestet werden. Im Umkehrschluss ist dies für den C8 nicht möglich, da der Aufbau durch die EW erfolgt, weshalb keine Kooperation mit anderen Schnittstellen gegeben ist. Die „Reale Simulation IBN“ des C8 erfolgt mit der Übergabe an das VSC Neckarsulm kurz vor VFF.

Der „Planercheck“ beschreibt eine Vorabanalyse des vorgesehenen Produktionsprozesses des C8 basierend auf Erfahrungswerten und spezifischem Wissen der Produktintegratoren. Hierbei wird lediglich eine Bewertung des geplanten Aufbauprozesses vorgenommen. Eine explizite Prüfung kann nicht erfolgen. Dadurch ist die reale Simulation IBN und folglich eine Kooperation mit dem Aufbau eindeutig zielführend.

Die Zeilen „Testen der Prüftechnik“ und „Zusammenarbeit Prüfprogrammierer & Produktintegratoren“ beschreiben eine symbiotische Situation zwischen Planung und VSC.

Die Absicherung der Prüftechnik sowie Prüfprogrammen erfolgt durch Mitarbeiter des VSC Neckarsulm ab Verfügbarkeit eines Vorabstandes in Zusammenarbeit mit der Planung. Simultan zur Absicherung der Prüftechnik werden die SG im Verbund getestet, da lediglich die Prüftechnik eine simultane Ansprache der SG über mehrere Kanäle ermöglicht. Somit stellt dies einen Stresstest des SG-Verbunds inklusive Software dar. Beim D5 ist diese Absicherung parallel zur „Realen Simulation IBN“ möglich. Durch die Übernahme der Prüftechnik des D5 beim C8 erfolgt hier die Absicherung der Prüftechnik bereits ein halbes Jahr vor VFF. Wie bei der „Realen Simulation IBN“ besteht beim C8 die Problematik der fehlenden Kooperation der EW mit anderen Schnittstellen sowie das Fehlen einer geeigneten Infrastruktur zur Verwendung des UPS. Hierdurch ist die Absicherung lediglich am vollständig aufgebauten Fahrzeug möglich. Zudem erfolgt die Absicherung in der frühen Phase beim C8 in Ingolstadt auf Eigeninitiative der Mitarbeiter des VSC Neckarsulm, wodurch eine notwendige Verankerung im Prozess ersichtlich ist.<sup>126</sup>

Um eine gemeinsame Fehlerdokumentation und -ansprache gewährleisten zu können, müssen idealerweise die Planung (Prüfprogrammierer und Produktintegratoren), Produkt- und Prozesstechnik sowie der Aufbau verfügbare Stände zu jedem

---

<sup>126</sup> Vgl. Produkttechnologiemethodenentwickler N/P-V441 2019a.

Prozessort gemeinsam am Fahrzeug prüfen und kritisch betrachten. Hierdurch ist zu erwarten, dass dieses Triumvirat an Fachgebieten bereits vor Ort Fehlerursachen erarbeiten kann.

Ein weiterer Unterschied der Arbeitsweise zeigt die Zeile „Testbarkeit“ auf. Die Arbeitsweise ist auf den Verantwortungsbereich des VSC am Produktionsort zurückzuführen. So ist eine frühzeitige Absicherung des D5 im Gegensatz zum C8 jederzeit möglich.<sup>127</sup>

Zusammengefasst bedeutet dies:

- Die Arbeitsweise des D5 ist nur umsetzbar, wenn eine Verantwortungsübernahme durch das Standort-VSC ab GV2 besteht.
- Aufgrund einer Zusammenarbeit mit der Planung ist eine frühzeitige Absicherung von UPS, Prüfprogramm sowie SG im Verbund möglich.
- Aufgrund der Zusammenarbeit mit dem Aufbau können sowohl Prozessorte als auch das Fahrzeugprojekt frühzeitig abgesichert und beeinflusst werden. Eine exemplarische Veränderung der Verkabelung wird demnach bereits zu VFF anstatt zur OS ermöglicht.

Insgesamt sind drei im Prozess zu verankernden Maßnahmen (M) abzuleiten:

#### **4.1.2 M1 - Verantwortungsübernahme GV2**

Unter Berücksichtigung der Vorteile des D5-Kurvenverlaufs (Abbildung 15) ist eine vollständige Verantwortungsübernahme durch das Standort-VSC in der frühen Phase als erste Maßnahme abzuleiten. So stellt der Zeitpunkt der Verantwortungsübernahme durch das Standort-VSC maßgeblich die Basis für eine konsequente Absicherungsarbeit und deren allgemeine Optimierung dar.

Hierbei soll eine vollständige Übernahme durch das Standort-VSC als Standard im PEP verankert werden, sodass eine standortübergreifende frühe Phase existent wird. Eine Gültigkeit erreicht diese Maßnahme, durch ihre Verabschiedung sowie die Überarbeitung der vorhandenen AA. Dies führt zu einer früheren Anwendung des FAP, wodurch eine standardisierte Fehlerabstellung ermöglicht wird. Folglich ist eine deutliche Effizienzsteigerung zu prognostizieren. Da es sich um eine prozessuale Änderung handelt, kann eine Umsetzung ohne weitere Entwicklungskosten kurzfristig erfolgen.

---

<sup>127</sup> Vgl. Produkttechnologiemethodenentwickler N/P-V441 2019a.

Zur Bestimmung des genauen Zeitpunkts hinsichtlich der Verantwortungsübernahme wird anhand des GVM (Kapitel 1.4) argumentiert. So weisen TT vor GV2 keine ausreichende, technische Reife für eine konsequente, terminierte Absicherung auf. Mit dem Aufbau der ersten PT zu GV2 wird der notwendige Reifegrad erreicht, da das Fahrzeugprojekt zu diesem Zeitpunkt bereits dem späteren Serienfahrzeug gleicht.

Abschließend ist die Umsetzung dieser Maßnahme lediglich von einer Entscheidung seitens des Managements abhängig.

#### **4.1.3 M2 - Kooperation Planung**

Durch eine Kooperation des VSC mit der Planung soll eine effiziente Zusammenarbeit in der frühen Phase ermöglicht werden. Ziel dieser Kooperation ist die Absicherung von Prüfmittel sowie HW und SW. Hierzu soll ein Katalog mit standardisierten, iterativen Tests, unter Einbindung der gesamten Planung, erarbeitet werden. Allgemein führt diese Maßnahme zu einer Effizienzsteigerung in der Absicherungsarbeit und somit einer vorteilhaften Situation hinsichtlich der Verifikation von Planungsergebnissen für beide Parteien. Diese Maßnahme stellt ebenfalls eine prozessuale Änderung dar und ist dadurch abhängig von einer Entscheidung des Managements.

#### **4.1.4 M3 - Kooperation Aufbau**

Letztlich wird die gemeinsame Arbeit mit dem Fahrzeugaufbau durch die VSC-interne Werkstatt betrachtet. Hierdurch sollen schrittweise aufgebaute Fahrzeuge sowie deren Inbetriebnahme Unterstützung in der Fehlererkennung sowie -abstellung gewährleisten. Bei M3 handelt es sich ebenfalls um eine prozessuale, kurzfristig umsetzbare und lediglich vom Management abhängige Maßnahme.

In Verbindung mit M2 und der Nutzung kombinierten Wissens wird eine optimierte Absicherung aufgrund einer allgemeinen Effizienzsteigerung ermöglicht. Grund hierfür ist die frühzeitige Beeinflussung der Prozessorte und folglich des Gesamtprojekts.

Insgesamt ergeben M2 und M3 eine ideale Kombination mit einer gewinnbringenden, schnittstellenübergreifenden Situation. Hierbei gilt zu berücksichtigen, dass M1 die Voraussetzung für M2 sowie M3 bildet.

## 4.2 Datensicherheit in der frühen Phase

Die Ergebnisse der in Kapitel 3.2 erfolgten Bestandsaufnahme des DL24-Prozesses werden wie folgt zusammengefasst.

- Die Prüfzyklen des Datenbereitstellungsprozesses sind effizient und wirkungsvoll.
- Auslöser der Prüfzyklen ist eine reale Fahrzeugbestellung.
- Es werden lediglich individuelle Fahrzeugdaten expliziter Bestellungen geprüft.
- Folglich kann zu keinem Zeitpunkt eine allgemeine Datensicherheit gewährleistet werden und bildet somit die zu untersuchende Schwachstelle.

Die Datensicherheit soll möglichst unabhängig vom eigentlichen Produktionsprozess gewährleistet werden. Hierbei gilt zu beachten, dass nicht die Datenbereitstellung losgelöst werden soll, sondern die Datensicherheit. Der DL24-Prozess soll idealerweise weitgehend unberührt bestehen bleiben.

Zur Definition der Maßnahme werden zunächst mögliche Ausgangspunkte identifiziert. Hierzu wird im Folgenden der Input des DL24-Prozesses und somit seine Auflösung analysiert sowie die Machbarkeit überprüft.

### 4.2.1 Analyse - vASP

Da der Prozess von einer realen Bestellung ausgelöst wird, basiert die Idee der vASP auf einer anderweitigen Stimulation der in DL24 verankerten Prüfzyklen. Um den Prozess auszulösen, sollen virtuelle Bestellungen bzw. jede nach MBT baubare Konfiguration einer jeden Fahrzeugklasse in IFA eingespeist werden. Um diesen Schritt zu ermöglichen, müssen zwei Grundlagen geschaffen werden.

Einerseits ist eine alternative Datenbank zur Vorbeugung einer tatsächlichen Bestellung notwendig. Zusätzlich werden eine Kennzeichnung virtueller Bestellungen durch eine zu definierende Prüfziffer sowie das Anlernen sämtlicher produktionsbezogenen Systeme hinsichtlich dieser Prüfziffer benötigt. Dies ermöglicht eine Detektion der Bestellung entlang des gesamten Prozesses sowie die losgelöste Stimulation der Prüfzyklen.

Auf diese Weise ist die Weiterverwendung der effizienten Prüfzyklen der DL24 sowie die Absicherung sämtlicher bestellbaren Konfigurationen gegeben. Folglich bewirkt die vASP eine allgemeine Datensicherheit zu jedem Zeitpunkt  $t$ .

Anhand der Machbarkeitsuntersuchung wird die technische Realisierbarkeit des Verfahrens widerlegt. Grund hierfür ist die Anzahl technisch baubarer



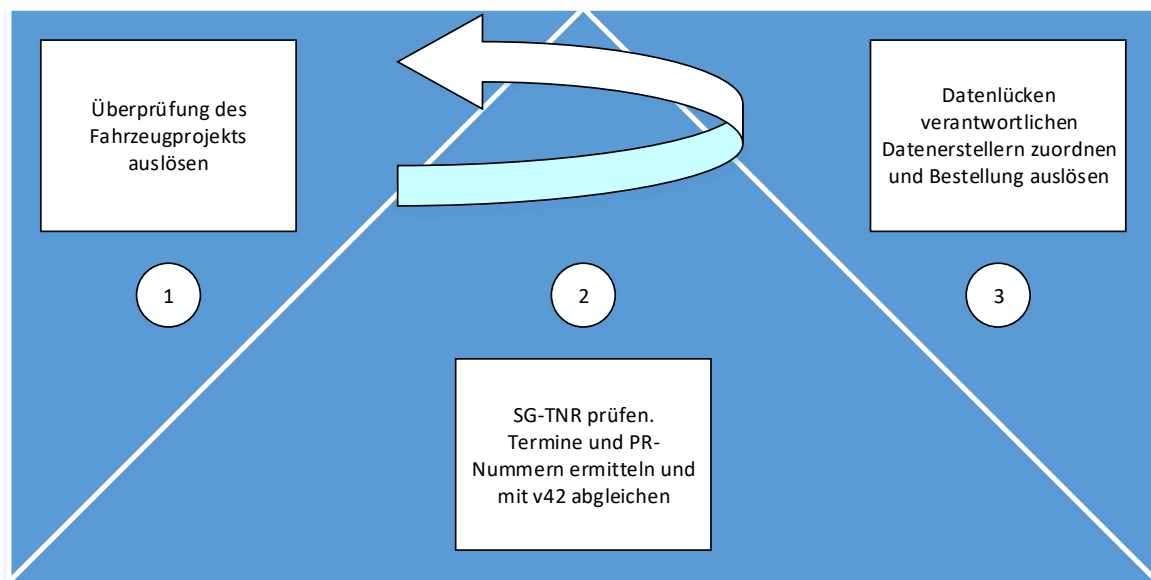
Konfigurationen. So verfügt beispielsweise ein VW Golf über ca.  $10^{34}$  gültiger Konfigurationsmöglichkeiten. Die Berechnung dieser Datenmengen in Echtzeit wird durch keine existente Recheneinheit gewährleistet, wodurch dieses Verfahren nicht angewandt werden kann.<sup>128</sup>

Nach dem Entfall des nachhaltigen Verfahrens einer vASP wird eine weitere adäquate Lösung untersucht. Hierzu wird der Datenbestellprozess (DBP), der durch die vorherige Machbarkeitsstudie identifiziert werden konnte, näher betrachtet.

#### 4.2.2 Analyse - DBP

Der DBP befindet sich zum jetzigen Zeitpunkt in der Entwicklungs- sowie Umsetzungsphase und stellt somit keinen offiziellen Standard dar. Dennoch ist der DBP als konzernweiter Standard geplant und soll als fester Bestandteil in die s42-Familie aufgenommen werden. Relevant ist der Prüfzyklus, da die faktische Datensicherheit darauf beruht.<sup>129</sup>

Um die Effizienz des DBP zu überprüfen, wird ein prototypisches Fachkonzept der VW AG herangezogen. Das Prinzip des DBP basiert auf einem dreiteiligen Konzept (Abbildung 22).



**Abbildung 22: DBP-Konzept<sup>130</sup>**

Nachdem der Aufbau einer Datenbasis erfolgt ist, wird eine Überprüfung sämtlicher Fahrzeugprojekte ausgelöst, wodurch ein algorithmisch basierter, zweiteiliger Prüfzyklus mit Meldeinstanz im Fehlerfall durchlaufen wird.

<sup>128</sup> Vgl. Kiemele 2019.

<sup>129</sup> Vgl. ebd.

<sup>130</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 8

Nach dem Start der Überprüfung erfolgt eine Abfrage aller zu einer Fahrzeugklasse zugeordneten, SG-relevanten TNR aus der Stückliste, woraufhin zugehörige Termine sowie PR-Nummern und folglich technische Regeln ermittelt werden. Anhand dieser Basis werden Informationen aus v42 herangezogen und auf Korrektheit, Vorhandensein, Gültigkeit und deren Zuweisung geprüft. Bei fehlenden Einträgen wird eine automatische Bestellung beim Datenautor ausgelöst. Ein ausführlicher Ablauf des Prüfalgorithmus ist in Anhang 9 hinterlegt.

Zuletzt werden Fehlermeldungen den verantwortlichen Datenautoren direkt übermittelt. Sind sämtliche Fehler bereinigt, wird ein weiterer Prüfzyklus durchgeführt. Hierdurch soll eine allumfassende Datensicherheit erreicht werden.<sup>131</sup>

Aufgrund der aufgebauten Basis innerhalb der Vorbereitungsphase ist der DBP innerhalb des eigentlichen Prüfzyklus im Stande eine Datensicherheit zu gewähren. Somit sind der DBP sowie die ASP bezüglich ihrer akkuraten Prüfung der Daten sowie ihrer Zuweisungen gleichwertig.

Während die Prüfzyklen in DL24 im Prozess verankert sind, stellt der Prüfzyklus des DBP eine autonome Lösung ohne Notwendigkeit einer realen Bestellung dar. Jedoch zeigt die Analyse des DBP eine Datensammlung von TNR aus der Stückliste als Basis der Überprüfung auf. Somit besteht eine direkte Abhängigkeit zwischen der Datensicherheit und der Vollständigkeit der Stückliste.

Während in DL24 eine explizite Überprüfung der Stückliste durch BESI vorgenommen wird, ist diese durch den DBP nicht vorgesehen. Im Umkehrschluss wird eine unvollständige Stückliste die Prüfroutine des DBP nicht verhindern, jedoch beeinträchtigen. Somit werden unvollständige und folglich unbrauchbare Ergebnisse erzielt. Somit gilt es die Absicherung der Stückliste auf Vollständigkeit zu prüfen.

Das Fachkonzept des DBP verweist hinsichtlich der Stücklistenthematik auf ein System namens Produktdaten-Analysen und Stücklisten-Auswertungen (PASTA). Zur Validierung der Datensicherheit wird PASTA im Folgenden analysiert.<sup>132</sup>

### 4.2.3 Analyse - PASTA

PASTA ist ein seit dem Jahr 2006 im VW Konzern und seit 2010 in der Systemwelt der Audi AG implementiertes und aktives System. Es dient der Prüfung der gesamten technischen Stückliste<sup>133</sup> (Abbildung 23). Sie wird durch eine hierarchische Baumstruktur basierend auf einem Knotensystem charakterisiert. Ihr fahrzeugklassenübergreifender Aufbau wird nachfolgend erläutert.

---

<sup>131</sup> Vgl. Jabs et al. 2016, S. 117–129.

<sup>132</sup> Vgl. ebd. S. 12f.

<sup>133</sup> Vgl. Glatz 2019.



**Abbildung 23: Aufbau der technischen Stückliste<sup>134</sup>**

Hier wird die Struktur einer Typenkennzeichnung (8Y0) dargestellt. Innerhalb dieser Fahrzeugklasse existiert ein Leitungsstrang (TNR 4G0.972.251.D) am Knoten 972\_251. Zu dieser Komponente ist neben vielen weiteren Informationen ein Beziehungswissen (technische Regeln) abgebildet. Diesem Aufbau folgt die gesamte technische Stückliste hinsichtlich jeglicher Komponenten.<sup>135</sup>

Die Funktionsweise des Algorithmus zur Stücklistenprüfung basiert auf einer schrittweise abfolgenden Prüfung des Knotensystems innerhalb der Stückliste und ist bestehend vereinfacht dargestellt:

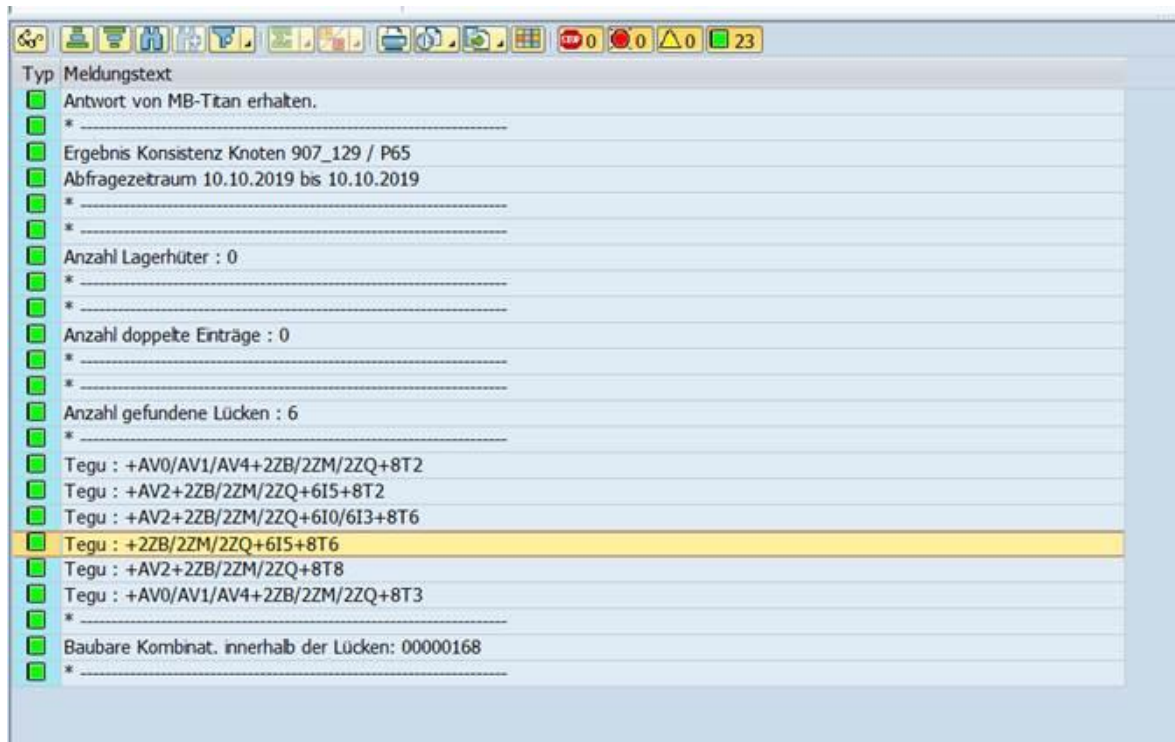
- PASTA prüft ein Fahrzeugprojekt anhand der Knoten in der Stückliste und arbeitet diese nacheinander ab.
- PASTA erreicht Knoten x. (Beispiel: 972\_251)
- Darauffolgend ermittelt PASTA alle zu diesem Knoten zugehörigen PR-Nummern-Familien. (PR-Nummern sind nach ihrer Ähnlichkeit bestimmten Familien zugewiesen)
- Daraufhin springt PASTA in MBT und prüft sämtliche gültigen PR-Nummern innerhalb der PR-Nummer-Familien.
- Aus dieser Information konfiguriert PASTA sämtliche, valide PR-Nummer-Kombinationen.
- Diese Kombinationen werden daraufhin gegen die Stückliste gespiegelt, so dass fehlende Einträge sichtbar werden.

<sup>134</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Elberfeld und Schalk 2019.

<sup>135</sup> Vgl. ebd.

- Identifiziert PASTA anhand dieses Prüfzyklus Lücken in der Stückliste, werden sie inklusive Knoten und PR-Nummer-Kombination im Bericht festgehalten und den Stücklistenverantwortlichen zur Verfügung gestellt.
- Zusatz: Um ungewünschte Kombinationen nicht als Fehler zu deklarieren, müssen sogenannte „Leerteile“ gepflegt werden. Diese Leerteile beinhalten die notwendige PR-Nummernkombinationen (jedoch keine TNR). Ein Beispiel hierzu befindet sich in Anhang 10.
- Dieses Leerteil befindet sich im Status „E“ (Entwicklung) und ist somit vollkommen unbedenklich für alle Folgesysteme, da sie für diese nicht sichtbar sind.<sup>136</sup>

Hierzu soll ein reales Beispiel aus dem Tagesgeschäft der Audi AG als Beweis der Funktionsfähigkeit dargestellt werden.



**Abbildung 24: Erkannte Lücken durch PASTA<sup>137</sup>**

In diesem Beispiel wird ein durch DL24 bzw. BESI erkannter Stücklistenfehler, verursacht durch die Bestellung eines Vorserienfahrzeugs mit der PR-Nummernkombination „AV1+2ZB+6I5+7IV+8T6“, mithilfe von PASTA überprüft.

Die Konsistenzprüfung des betroffenen Knotens (907\_129) ergibt sechs Lücken, darunter auch die für den Stücklistenfehler verantwortliche Kombination (in der

<sup>136</sup> Vgl. Behne et al. 2019; Glatz 2019.

<sup>137</sup> Darstellung unverändert übernommen aus System PASTA.

Abbildung markiert). Insgesamt sind 168 baubare Konfigurationen durch diese Lücken betroffen.

Die diese Lücke verursachende Änderung technischer Regeln, wird auf das Jahr 2018 datiert. Demnach besteht diese Lücke zum Zeitpunkt der Erstellung der vorliegenden Arbeit seit etwa einem Jahr, obwohl die Prüfroutine von PASTA wöchentlich durchlaufen wird und folglich der Fehler von Beginn an bekannt ist. Trotz des funktionierenden Prüfzyklus in PASTA bleiben Stücklistenfehler bestehen.

Der durch Stücklistenfehler verursachte Arbeitsaufwand bei Fahrzeuganläufen beträgt je nach Anlauf und Projektphase schätzungsweise 5 - 20 % der Gesamtfehler.<sup>138</sup>

Fehler bzw. Lücken in der Stückliste haben direkte Auswirkungen auf die Bedarfsrechnung der Werke, wodurch beispielsweise das Werk in Mexiko durch Stücklistenfehler verursachte Mehrkosten in Höhe von mehreren Hunderttausend € innerhalb des Q5-Projekts meldet. Zusätzlich dazu entsteht ein Mehraufwand durch die notwendige Fehlerbehebung verschiedener Fachbereiche der Produkt- und Prozesstechnik. Somit entstehen seit der Implementierung des Systems PASTA vermeidbare Mehrkosten.<sup>139</sup>

Zur Ergründung der Ursache durchgeführte Gespräche mit Mitarbeitern der Abteilung P-V4 ergeben, dass das System PASTA generell unbekannt ist. Anhand einer systemweiten Recherche hinsichtlich einer offiziellen Prozessbeschreibung zu PASTA wird keinerlei Ergebnis erzielt. Ein Gespräch mit dem verantwortlichen Systembetreuer bestätigt diesen Sachverhalt.

So besteht eine konzernweite Verfügbarkeit des Systems PASTA sowie dessen kontinuierliche Verbesserung seitens der Administratoren. Die prozessuale Macht hinsichtlich der Stückliste und folglich auch PASTA liegt jedoch im Verantwortungsbereich des Produktdatenmanagements. Dieses hat aufgrund kapazitiver Einschränkungen auf eine prozessuale Verankerung des Systems verzichtet, da es laut eigener Aussage einen zu hohen Mehraufwand darstellt.<sup>140</sup>

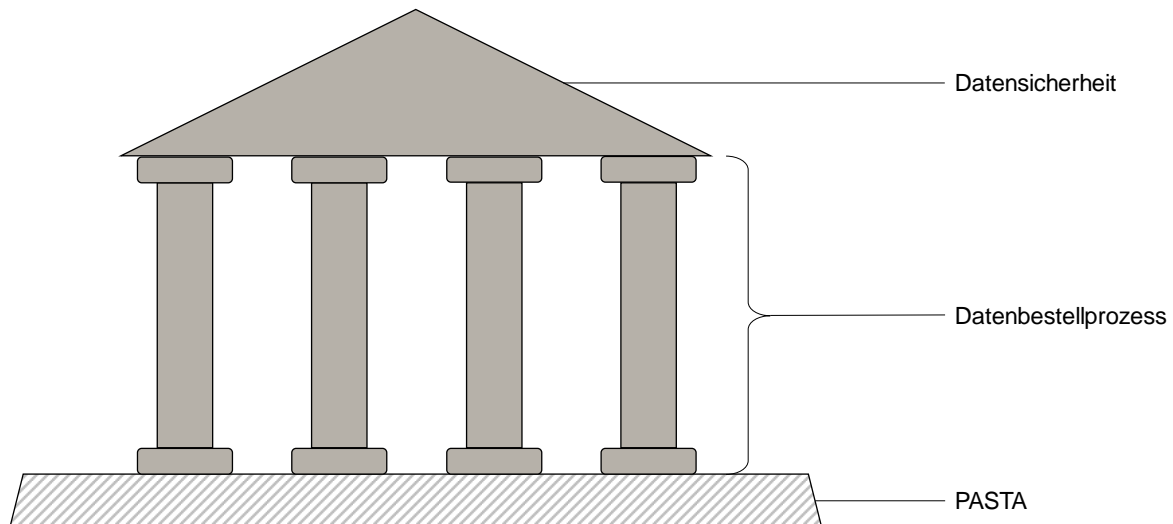
Die Problematik der allgemeinen Datensicherheit wird zusammengefasst in folgender Abbildung (Abbildung 25) dargestellt.

---

<sup>138</sup> Vgl. Produkttechnologiemethodenentwickler N/P-V441 2019b.

<sup>139</sup> Vgl. Glatz 2019.

<sup>140</sup> Vgl. Reiter 2019; Schützenberger 2019.



**Abbildung 25: Zusammenhang der Datensicherheit, des DBP und PASTA<sup>141</sup>**

Durch DL24 kann eine Datensicherheit nicht zu jedem Zeitpunkt  $t$  gewährleistet werden. Auch die Möglichkeit einer vASP wird durch den nicht in Echtzeit durchführbaren Rechenaufwand ausgeschlossen. Eine allgemeine Sicherheit kann durch den DBP erreicht werden. Voraussetzung hierfür ist eine vollständige, fehlerfreie Stückliste, die systemseitig durch PASTA garantiert werden kann. Somit bildet PASTA das Fundament, um einen stabilen DBP zu gewährleisten und folglich eine allgemeine Datensicherheit zu jedem Zeitpunkt  $t$  sicherzustellen. Ein offizieller Prozess ist jedoch nicht existent.

#### 4.2.4 M4 - PASTA

Um eine allgemeine Datensicherheit zu jedem Zeitpunkt  $t$  gewährleisten zu können, muss eine vollständige, fehlerfreie Stückliste garantiert sein. Hierfür muss eine feste Verankerung des Systems PASTA im Prozess vorgenommen werden. Durch die Formulierung und Verabschiedung einer allgemeingültigen unternehmens- oder gar konzernweiten AA, wird das Problem hinsichtlich der Stückliste gelöst. Der Lösungsansatz ist somit lediglich prozessualer Art, wodurch die Entscheidung einer Etablierung des Systems PASTA seitens des Managements genügt.

Die Bereinigung sämtlicher in der Stückliste vorhandenen Fehler ist mit einem kapitalintensiven Mehraufwand verbunden. So bestehen laut Stand September 2019 etwa 230 Lücken in der Stückliste des D5. Wird diese Zahl auf weitere Fahrzeugprojekte übertragen, so wird eine hohe Gesamtanzahl an Fehlern in der Stückliste erwartet. Dieser Mehraufwand ist jedoch auf eine Versäumnis der Nutzung dieses Systems zurückzuführen, wodurch die erstmalige Gesamtbereinigung der Stückliste mit einem hohen, jedoch einmaligen, Arbeitsaufwand verbunden ist. Dieser Mehraufwand

<sup>141</sup> Eigene Darstellung.

wird jedoch nach Abschluss der Bereinigung relativiert, da die nachfolgende, wiederkehrende Fehleranzahl als gering einzustufen ist. Dennoch soll eine Überprüfung der These hinsichtlich ihrer Richtigkeit erfolgen. Hierzu gilt es den faktischen Aufwand anhand einer Untersuchung zu ermitteln.

Da das System bereits existiert und darüber hinaus nachweislich funktionsfähig ist, sind dadurch keinerlei Entwicklungskosten zu erwarten. Hierdurch handelt es sich um einen äußerst nachhaltigen, kurzfristig umsetzbaren Ansatz mit Vorteilen für das gesamte Unternehmen sowie den gesamten Konzern.

Zusätzlich sollte eine nachgehende Untersuchung der Maßnahme durchgeführt werden, sodass der erwartete Mehrwert dieser Lösung auf Zahlen basierend beweisbar ist und den übrigen Unternehmen des Konzerns zur Verfügung gestellt werden kann. Hierdurch kann eine konzernweite, prozessual verankerte Nutzung des Systems erreicht werden. M4 ist somit die einzig notwendige und alleinstehende Maßnahme innerhalb von Handlungsfeld 2.

### **4.3 Varianz in der frühen Phase**

In Kapitel 3.3 wird die Abbildung der Varianz innerhalb der Serienentwicklung und dessen Schwachstellen beschrieben. Auffällig hierbei ist der imperfekt ablaufende Prozess vom Eingang einer Bestellung eines Fahrzeugs bis hin zu der Genehmigung durch die Aufbausteuerung und TE. Zunächst werden Schwachstellen aus dem Ist-Prozess nochmals zusammengefasst dargestellt.

- Ein Fachbereich der TE wählt bei jeder Bestellung die für die Erprobungszwecke relevanten PR-Nummernumfänge. Diesen Vorgang muss der Besteller jedoch mit jeder Bestellung wiederholen. → Keine Speicherung der Daten.
- Da AVx keine Anbindung an MBT besitzt, werden technisch nicht realisierbare Aufträge in AVx gespeichert. Diese müssen im Umkehrschluss von der Aufbausteuerung bearbeitet werden, bis eine baubare & durch die TE bewilligte Konfiguration erstellt ist. → Mehraufwand durch fehlende MBT-Anbindung sowie die Existenz einer unnötigen Rückkopplung.
- Der gesamte Prozess wird manuell bearbeitet und führt dadurch unweigerlich zu Datenbrüchen. → Fehleranfälligkeit durch fehlende Automatisierung.
- Jeder Besteller eines spezifischen Fachbereichs wählt bei jeder Bestellung dieselben Umfänge aus. Somit werden über die Zeit eine hohe Anzahl an identischen Fahrzeugen gebaut. → Keine bis sehr eingeschränkte Varianz.

### 4.3.1 Analyse - Sensibilisierung der Besteller

Zunächst wird der Input des Prozesses betrachtet. So wählt der Besteller, wie in Kapitel 3.3 beschrieben, die für seine Erprobungszwecke relevanten PR-Nummernumfänge in AVx aus. Überbleibende Konfigurationsmöglichkeiten werden hierbei mit „blank“ befüllt, welche einer Standardauswahl entsprechen. Da bei jedem Fahrzeugprojekt dieselben Fachbereiche der TE gleichbleibende Erprobungszwecke verfolgen, können demnach „Standardbesteller“ identifiziert werden. Diese werden als wiederkehrende Besteller mit gleichbleibenden Erprobungsumfänge definiert.

Durch die Identifikation von Standardbestellern, besteht eine theoretische Möglichkeit einer Sensibilisierung hinsichtlich der Varianz. Wie zuvor sollen deren relevante PR-Nummernumfänge abgedeckt werden. Zusätzlich hierzu soll der Besteller mit den verbleibenden, für den Testumfang vollkommen unerheblichen, Umfängen variieren. Folglich wird die Varianz in der Serienentwicklung erhöht.

Durch die fehlende Anbindung an MBT bleibt allerdings die Problematik der nicht baubaren Konfigurationen und der unnötigen Rückkopplung bestehen. Jedoch ist hiermit eine schnelle und ohne Mehraufwand verbundene Verbesserung der Absicherung möglich.

Diese Maßnahme ist prozessual umsetzbar. Da hierdurch jedoch kein Mehrwert, sondern lediglich ein durch die Variation verursachter Mehraufwand für Standardbesteller entsteht, wird dieser Lösungsansatz kategorisch abgelehnt.

Stattdessen besteht lediglich die Bereitschaft seitens der Standardbesteller explizit durch das VSC ausgewählte PR-Nummernumfänge zu berücksichtigen, sofern hierdurch kein deutlicher Mehraufwand resultiert.<sup>142</sup>

Eine zusätzliche Schwachstelle dieser Methode ist die fehlende Garantie einer zielführenden Varianzerhöhung. So ist aufgrund fehlenden Wissens seitens der Besteller zu erwarten, dass eine Variation der Konfiguration beispielsweise lediglich eine Änderung des verwendeten Karosserielacks verursacht. So ist eine Varianzerhöhung faktisch gegeben, ist jedoch im Hinblick auf kritische Umfänge nicht zielführend und somit nichtig.

Nachdem eine Sensibilisierung der Besteller aufgrund einer fehlenden Kooperationsbereitschaft nicht realisierbar ist, muss ein proaktiver Ansatz verfolgt werden. Die aus diesem Ansatz entstehende Maßnahme basiert ebenfalls auf Inputgrößen des Prozesses (Kapitel 3.3) sowie auf Eigeninitiative der Produkt- und Prozesstechnik im Bereich der Elektronik. Somit ist keine zusätzliche Analyse erforderlich, um die folgende Maßnahme abzuleiten.

---

<sup>142</sup> Vgl. Wotzka 2018; Fischer 2019.



### 4.3.2 M5 - Aufbausteuerung Händisch

Unter Berücksichtigung von Abbildung 18 soll diese Maßnahme eine weitere Inputgröße im Prozess hervorbringen. Hierbei wird explizit der Prozessschritt „Anpassung von Aufträgen durch die Aufbausteuerung“ betrachtet.

Im ersten Schritt soll jedes Modul der Abteilung P-V44 für den Aufbau sowie Inbetriebnahme besonders relevante Fahrzeugfunktionen erarbeiten sowie zugehörige PR-Nummernumfänge selektieren.

Im darauffolgenden Prozessschritt sollen die identifizierten PR-Nummernumfänge modulübergreifend erörtert und abgestimmt werden. Ziel hierbei ist, einen Datensatz einzigartiger, baubarer Pr-Nummernkombinationen zu generieren. Außerdem ist zu beachten, eine möglichst geringe Anzahl an Kombinationen zur Abbildung der notwendigen Umfänge zu definieren. Den Datensatz gilt es anhand einer digitalen Niederschrift zu generieren.

Letztlich soll der Datensatz mit expliziten Umfängen an die Aufbausteuerung übergeben werden. Hierbei wird ein Bestreben, die erarbeiteten Umfänge im Prozessschritt der Abänderung von Fahrzeugkonfigurationen zu berücksichtigen, veranlasst. Folglich stellt der Datensatz den Input am oben beschriebenen Prozessschritt sowie das Ende der Maßnahme M5 dar.

Prinzipiell gewährt diese Maßnahme die erstrebte Varianzerhöhung in der Serienentwicklung hinsichtlich elektronischer Komponenten sowie zugehöriger Software.

Diese Maßnahme ist unter einer Übereinkunft der betroffenen Abteilungen umsetzbar und stellt somit eine prozessuale Änderung dar. Zusätzlich sind keine Entwicklungskosten zu erwarten, da sämtliche Systeme und der Bestellprozess unberührt blieben.

Somit ist M5 eine kurzfristige, günstige und aus Sicht der Elektronik effektive Methode die Abbildung relevanter elektronischer Komponenten in der Serienentwicklung und folglich der Varianz zu erhöhen.

Jedoch lösen die Selektion und Konfiguration baubarer, relevanter PR-Nummernumfänge durch P-V44 sowie die Implementierung der Umfänge in die Serienentwicklung durch die Aufbausteuerung einen erhöhten Verbrauch der Ressource „Zeit“ und somit einen Mehraufwand aus.

Außerdem können anhand dieser Maßnahme lediglich relevante PR-Nummernumfänge der Elektronik berücksichtigt werden, wodurch in Folge eine Vernachlässigung anderer Fachbereiche und somit kein tatsächliches Optimum erreicht wird.

Durch die manuelle Durchführung der Maßnahme entsteht eine permanente Fehlerquelle in Form einer manuellen Datenübertragung zwischen eingesetzten Medien bzw. Systemen und somit Datenbrüchen entlang des Prozesses.

Demzufolge ist diese Maßnahme von Grund auf fehlerbehaftet, wodurch im Folgenden ein automatisierter, algorithmisch basierter Lösungsansatz analysiert wird.

#### **4.3.3 Analyse - Prototypischer Algorithmus**

Mit Hilfe eines prototypischen Algorithmus sollen neben einer Varianzerhöhung die Beseitigung weiterer Schwachstellen des Ist-Prozesses ermöglicht werden. So ist ein algorithmischer Ansatz meist mit einer gewissen Entwicklungsarbeit verbunden, doch ermöglicht in den meisten Fällen eine im Idealfall vollautomatisierte Durchführung des Prozesses, sodass sich diese amortisiert.

Zunächst wird ein möglicher Ansatz einer algorithmischen Lösung zur Erhöhung der Prozesseffizienz vorgestellt. Anschließend erfolgt eine Machbarkeitsanalyse.

Im ersten Schritt wird der Algorithmus zunächst von zuvor definierten Standardbestellern sowie interessierten Fachteams wie beispielsweise der Elektronik mit relevanten PR-Nummernumfängen angelernt. Somit benötigt AVx die Möglichkeit die eingegebenen Informationen in einer Datenbank abzuspeichern.

Im zweiten Schritt prüft der Algorithmus bei jedem Start die technischen Regeln. Hierbei wird überprüft, ob eine Erweiterung oder ein Entfall der Regeln vorliegt. Folglich benötigt AVx eine Anbindung an MBT, um diese Prüfung durchzuführen.

Im dritten Schritt informiert der Algorithmus, falls zutreffend, den entsprechenden Nutzer über neue oder veränderte Inhalte. Anhand dieser Information soll der Nutzer bewerten, ob hinsichtlich der Änderungen eine Fachbereichsrelevanz gegeben ist. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die Liste relevanter PR-Nummernumfänge je Fachbereich aktuell, vollständig und korrekt ist.

Bevor eine Bestellung eingestellt werden kann, prüft der Algorithmus die Konfiguration auf Baubarkeit. Liegt eine Verletzung der Regeln vor, so wird der entsprechende Nutzer dahingehend informiert, woraufhin eine Anpassung der Konfiguration gefordert wird. Im Idealfall jedoch schränkt der Algorithmus bereits während der Konfiguration weitere Auswahlmöglichkeiten nach Baubarkeit ein, sodass eine technisch nicht realisierbare Konfiguration generell verhindert wird. Die Voraussetzung hierfür ist abermals eine Anbindung an MBT.

Sobald der Nutzer eine neue Bestellung entworfen hat, prüft der Algorithmus die neu entstandene Konfiguration gegen drei Datensätze, wobei die Voraussetzung hierfür eine Datenbankabfrage inklusive eines Abgleichs ist:

1. Gegen bereits bestehende und vergangene Bestellungen auf Übereinstimmungen, wodurch erkannt wird, ob bereits ein identisches Fahrzeug existiert. Wird eine solche Übereinstimmung detektiert, wird eine Zählvariable um den Summanden 1 erhöht.
2. Gegen die durch den Besteller definierten relevanten PR-Nummernumfänge. Dadurch erhält der Algorithmus die Information hinsichtlich irrelevanter und somit änderbarer Umfänge des Bestellers innerhalb der gegebenen Konfiguration.
3. Gegen relevante PR-Nummernumfänge anderer Fachbereiche auf fehlende Übereinstimmungen, wodurch die Information bezüglich einer möglichen Erweiterung der gegebenen Konfiguration vorliegt.

Anhand dieser dreiteiligen Überprüfung wird der nächste Schritt des Algorithmus eingeleitet. Hierbei wird zunächst eine Prüfung der Zählvariable vorgenommen. Explizit wird die Anzahl identisch bestellter Fahrzeuge  $x$  geprüft. Die Definition der Variable  $x$  wird nicht vorgenommen, da sie bei Umsetzung der Maßnahme erfolgt. Ist die Anzahl  $< x$  wird die Bestellung gespeichert, da identische Aufbauten als Referenzfahrzeuge benötigt werden. Ist die Anzahl  $> x$  wird automatisch eine kontinuierliche Konfigurationsfunktion aufgerufen, um ein weiteres identisches Fahrzeug zu vermeiden. Somit besteht die Notwendigkeit einer Konfigurationseinheit.

Für die Konfigurationseinheit sind Daten aus dem zweiten und dritten Prüfungsschritt des Algorithmus erforderlich. Zur Bearbeitung der aufgerufenen Konfiguration werden zunächst relevante PR-Nummernumfänge als fest vorgegeben deklariert und gespeichert. Zusätzlich werden irrelevante Umfänge zur Bearbeitung freigegeben.

Im weiteren Schritt berechnet die Konfigurationseinheit anhand der relevanten Umfänge des Bestellers ein neues, baubares Fahrzeug. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der relevanten PR-Nummernumfänge übriger Fachbereiche sowie unter Ausschluss irrelevanter PR-Nummernfamilien. Beispiele hierfür sind der Fahrzeuglack sowie Sitzbezüge, da diese Komponenten über keine Relevanz für den Verbund expliziter Fahrzeugfunktionen verfügen. Folglich muss die Datenbank um triviale PR-Nummernumfänge ergänzt werden.

Ist die Konfiguration abgeschlossen, so wird diese anhand einer Rückkopplung der dreiteiligen Überprüfung zurückgegeben. Besteht diese Konfiguration diese Überprüfung, so wird sie gespeichert. Der Algorithmus ist somit abgeschlossen.

Nach Darstellung des prototypischen Algorithmus folgt eine Untersuchung hinsichtlich der Umsetzbarkeit dieses Ansatzes. Ausgangslage der Untersuchung stellen die im Folgenden zusammengefassten Voraussetzungen dar.

1. Die Fähigkeit Daten in eine Datenbank zu schreiben, um relevante Umfänge abzuspeichern.
2. Eine Anbindung an MBT, um die Baubarkeit der Konfigurationen zu gewährleisten.
3. Die Möglichkeit Datenbankabfragen mit Abgleich durchzuführen, um Datensätze zu überprüfen.
4. Eine Konfigurationseinheit, um Datensätze zu verändern.

Die Implementierung einer Rechenlogik mit auf Datenbanken basierenden Funktionen ist grundsätzlich unkompliziert und damit umsetzbar. Demnach sind im Folgenden die Anbindung an MBT sowie die Implementierung einer Konfigurationseinheit speziell zu untersuchen.

Zur Analyse der Umsetzbarkeit wird zunächst der algorithmische Lösungsansatz intern vorgestellt und diskutiert, sowie vorhandene Funktionen von AVx analysiert. So besteht seit der aktuellen Version die Möglichkeit einer Datenspeicherung durch den Besteller. Folglich ist eine Datenbankfunktionalität gegeben und die erste Voraussetzung im Umkehrschluss erfüllt. Zur Befüllung der Datenbank entsprechend des Algorithmus müssen lediglich weitere Nutzer angelegt werden. Mit der gegenwärtig erfolgenden Realisierung einer Anbindung an MBT über das Konzernsystem CoRE wird somit die zweite Voraussetzung für die Umsetzbarkeit des Ansatzes bereits verfolgt. Letztlich wird zur allumfassenden Umsetzbarkeit des Algorithmus lediglich eine Konfigurationseinheit benötigt.<sup>143</sup> Diese Einheit wird durch CoRE, welches im Folgenden erläutert wird, abgedeckt.

#### **4.3.4 Analyse - Konfigurationseinheit CoRE**

Im Allgemeinen ist dieses System ein auf boolescher Aussagenlogik basierendes Rechenwerk. Demnach bedient es sich der allgemein bekannten Methoden der Konjunktion (AND), Disjunktion (OR), Negierung (NOT), Implikation (Zwang, Regel) sowie deren Abwandlungen. Im Hinblick auf die Konfigurationseinheit bedient sich CoRE boolescher Algebra, um technische Regeln sowie PR-Nummern logisch in Einklang zu bringen. Dadurch entstehen berechenbare Aussagen bzw. eine Basis zur Fahrzeugkonfiguration. Explizit wendet CoRE einen speziellen SAT-Solver an, um anhand der Basis eine eindeutige Lösung bezüglich des Wahrheitsgehalts

---

<sup>143</sup> Vgl. Varadi 2019.

einer durch eine konjunktive Normalform dargestellte Konfiguration zu erzielen. So kann der DPLL-Algorithmus errechnen, ob eine PR-Nummernkombination bezüglich der technischen Regeln wahr ist oder nicht. Ist das Ergebnis wahr, so ist eine Baubarkeit garantiert. Der DPLL-Algorithmus wird im Folgenden nicht weiter aufgeführt, da die zur Erklärung notwendige Kapazität innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht gegeben ist. Da dieser Algorithmus ein im Bereich der Digitaltechnik etabliertes Instrument zur Lösung von NP-Problemen (nichtdeterministisch in polynomieller Zeit lösbar) ist, wird somit die garantierte, fehlerfreie Funktionsweise garantiert.

Die vorausgesetzte Konfigurationseinheit ist somit durch das System CoRE gegeben. Die Anbindung erfolgt über dedizierte mit Webservices(über das Internet abrufbar) vergleichbare Funktionen mit eindeutigen, festgelegten Protokollen, wodurch die Umsetzung keinen hohen Aufwand voraussetzt. Diese Funktionen werden von AVx aufgerufen und mit Daten versorgt, sodass CoRE eine Berechnung vornehmen kann. Ist diese abgeschlossen, werden die Ergebnisse zurückgegeben.

Somit ist die eindeutige Umsetzbarkeit des prototypischen Algorithmus vollumfänglich bewiesen, da notwendige Voraussetzungen bereits (teilweise) erfüllt werden.

Zur Gewährleistung der Vollständigkeit dieser Arbeit wird nachfolgend die Inkompatibilität des vASP-Ansatzes und CoRE aufgeführt.

CoRE benötigt einen vorgegebenen Rahmen der Informationsbegrenzung zur Berechnung von Konfigurationen in Echtzeit. Im algorithmischen Ansatz der Aufbausteuerung ist die Eingrenzung anhand der Basis aus relevanten PR-Nummernumfängen gegeben, da hierdurch die Auswahl weiterer PR-Nummern durch MBT eingeschränkt wird. Somit wird die Anzahl möglicher Konfigurationen drastisch gesenkt, wodurch im Umkehrschluss eine Berechnung in Echtzeit möglich ist.

Dies führt zum generalisierbaren Ergebnis, dass eine Konfigurationseinheit innerhalb der Automobilindustrie zum heutigen Stand der Technik stets über eine Eingrenzung verfügen muss. Da die vASP auf einer Berechnung sämtlicher nach MBT zugelassener Fahrzeuge basiert, ist sie somit technisch nicht umsetzbar.<sup>144</sup>

#### **4.3.5 M6 - Aufbausteuerung via CoRE**

Zur deutlichen Erhöhung der Varianz in der Serienentwicklung sowie Optimierung der Produkt- und Prozessabsicherung muss prinzipiell der Aufbau einer Rechenlogik unter Verwendung bereits bestehender Möglichkeiten erfolgen.

---

<sup>144</sup> Vgl. Volkswagen AG; Kiemele 2019.

Explizit müssen hierzu:

- Datenbanken aufgebaut werden, um relevante PR-Nummernumfänge zu speichern,
- Nutzer angelegt werden, um weitere relevante Fachbereiche zu integrieren,
- Systemseitige Anbindungen zur Erfüllung der Voraussetzungen (Kapitel 4.3.3) erfolgen und
- eine Weiterentwicklung des prototypischen Algorithmus sowie dessen Implementierung in AVx erfolgen.

Durch eine Aufbausteuerung via CoRE sind eine deutliche Varianzerhöhung in der Serienentwicklung sowie eine Minimierung des Arbeitsaufwandes und der Fehleranfälligkeit durch gegebene Prozessautomatisierung und eine garantierte Baubarkeit der Fahrzeuge gewährleistet.

Zudem ist die Einbindung aller für diesen Prozess relevanten Fachbereiche möglich und somit unternehmensweit von Vorteil. Darüber hinaus betrifft diese Maßnahme einen Prozess mit konzernweiten Systemen, wodurch diese Maßnahme für den gesamten Konzern anwendbar ist, sodass weitere darin verankerte Unternehmen von dieser nahezu vollautomatisierten Maßnahme profitieren können.

Zusätzlich zu den Vorteilen des algorithmischen Ansatzes ist anhand der Machbarkeitsuntersuchung dessen garantierte Umsetzbarkeit bewiesen.

Da bereits Aspekte des Ansatzes abgedeckt sind oder sich in Entwicklung befinden, ist von einer mittelfristigen Umsetzung auszugehen, wobei eine Abhängigkeit vom Management hinsichtlich monetärer Ressourcen besteht.<sup>145</sup>

## 4.4 Stagnierende Aufbauten in der frühen Phase

Wie in Kapitel 3.4 dargestellt wird, übt die Zukunftsausrichtung der Audi AG direkte Auswirkungen auf die bisher in Kapitel 4 beschriebenen Lösungsansätze aus.

So bewirkt eine deutlich stagnierende Anzahl an Fahrzeugaufbauten während der Serienentwicklung eine starke Beeinträchtigung der Absicherung, wodurch eine Verspätung der erstrebten frühen Fehlererkennung vorliegt. Folglich ist die gesamte Produkt- und Prozessabsicherung in der frühen Phase davon beeinflusst. Hierzu sind die von der Problematik ausgehenden Gefahren nachfolgend dargestellt:

---

<sup>145</sup> Vgl. Varadi 2019; Kiemele 2019.

- Bei prototypenlosen Anläufen und folglich dem Aufbau erster Fahrzeuge kurz vor VFF wird das erste Handlungsfeld und folglich das Einleiten einer standortübergreifenden frühen Phase vollständig außer Kraft gesetzt. Bei einer 50 prozentigen Minderung der Fahrzeugaufbauten wird trotz Bestehen des ersten Handlungsfeldes eine Einschränkung der Absicherung bewirkt.
- Eine erhöhte Varianz in der Serienentwicklung soll eine höhere Anzahl an potenziellen Fehlerquellen bewirken. So sollen die Fehlerquellen beim Aufbau sowie während des Inbetriebnahmeprozess erkannt werden und eine effizientere Absicherung ermöglichen. Eine stagnierende Anzahl der Fahrzeugaufbauten relativiert jedoch die höhere Varianz. Grund hierfür sind fehlende Fahrzeuge, um die erhöhte Varianz abzubilden.
- Wird die allgemeine Datensicherheit betrachtet, so wird diese nicht beeinflusst, sofern der DBP implementiert und PASTA angewandt wird. Grund hierfür ist, dass diese Datensicherheit vollständig in Systemen außerhalb des Produktionsprozesses abgebildet ist. Somit ist sie losgelöst von stagnierenden Aufbauten in der frühen Phase.

Zusammengefasst wird eine deutliche Gefahr durch stagnierende Fahrzeugaufbauten während der Serienentwicklung prognostiziert. Aus diesem Grund widmet sich dieses Handlungsfeld der Suche nach möglichen Präventivmaßnahmen, um der erkannten Gefahr entgegen zu wirken.

Aufgrund der allgemein bekannten Tendenz einer verstärkten simulativen Arbeit, wird eine Lösung basierend auf Simulationsverfahren angestrebt.

#### **4.4.1 Analyse - Testing am HIL**

Um die in diesem Kapitel untersuchten technischen Lösungsansätze nachvollziehen zu können, wird im Folgenden eine kurze Zusammenfassung des aktuellen Stands der Technik zu simulativen Verfahren dargelegt.

Zunächst wird Software-in-the-Loop (SIL) betrachtet. Diese Technik definiert den Einsatz einer Simulationsumgebung für die Ausführung und den Test von Seriencode auf Softwareebene. Hierbei wird die zu implementierende Softwarekomponente in die Basissoftware bzw. das „Betriebssystem“ integriert und auf einer virtualisierten Laufzeitumgebung betrieben. Zusammengefasst beschreibt dieses Vorgehen das systematische Testen eines virtuellen SG. Dieses Verfahren basiert dabei auf Software. Ziel dieser Technik ist ein Nachweis der korrekten

Funktionserbringung der Softwarekomponenten im Bezug zur Basissoftware sowie der Systemumgebung.

Verglichen zu SIL wird das Erproben nach Hardware-in-the-Loop (HIL) zu einem späteren Zeitpunkt angewandt, da Vorabstände einer Software verglichen mit testbaren Hardwarekomponenten meist früher zu erproben sind. Diese Technik definiert den Einsatz einer Simulationsumgebung für die Ausführung und den Test einer in die Zielhardware integrierten Software. Dies geschieht unter Verwendung der technischen Systemschnittstellen. Innerhalb dieser Disziplin kann zwischen Komponenten- und Integrationstests unterschieden werden. So wird beim Komponententest die korrekte Funktionsweise eines individuellen SG überprüft, während Integrationstests der Verifikation eines Systemverbunds dienen. Beispiele hierfür sind die Überprüfung eines einzelnen Motor-SG am Motorenprüfstand oder das Testen eines gesamten Verbundes aller am FAS beteiligten Komponenten. Darüber hinaus kann der Verbund auf ein ganzes Fahrzeug erstreckt werden.<sup>146</sup>

Simulative Verfahren basieren auf mathematischen Modellen. Dies wiederum impliziert logische Grenzen dieser Verfahren. So ist aus der Physik bekannt, dass eine mathematische Darstellung eines realen Systems durch Differentialgleichungen (DGL) erfolgt. Bei der Transformation in ein mathematisches Modell ist eine exakte Abbildung des Systems nicht möglich. Grund hierfür ist meist die Größe des Systems und folglich aller inbegriffenen Parameter. So muss bei der Modellierung eine gewisse Ungenauigkeit akzeptiert werden. Schlussfolgernd entspricht eine auf einem mathematischen Modell basierende Simulation in dieser Größenordnung nicht vollständig der Realität. Dennoch nähert sich die Simulation dem realen Verhalten eines Systems soweit an, dass adäquate Aussagen möglich sind. Aus diesem Grund ist die Verwendung simulativer Verfahren zur Absicherung geeignet.

Zudem ist ein nahtloser Übergang von SIL zu HIL abzuleiten, da Komponenten während der Entwicklungsphase aufgrund ihrer Komplexität zu verschiedenen Zeitpunkten verfügbar sind. Der nahtlose Übergang der Verfahren entsteht beispielsweise anhand bereits verfügbarer an einem Prüftisch aufgebauter Komponenten und deren Erprobung, während fehlende Komponenten simuliert werden. Auf diese Weise wird der Aufbau iterativ vervollständigt, sobald weitere HW verfügbar ist.

So kann der erkannten Problematik stagnierender Fahrzeugaufbauten durch simulative Verfahren entgegengewirkt werden. Aus diesem Grund basiert der erste Ansatz auf proaktivem Erproben an der Testinstanz HIL.<sup>147</sup>

---

<sup>146</sup> Vgl. Sax 2008, 74ff.; Schäuffele und Zurawka 2013, 277ff.; Miegler et al. 2009, 60ff.

<sup>147</sup> Vgl. Reich 2019.



Hierbei liegt der Fokus auf die Arbeitsweise des D5-Anlaufs. Explizit wird hierdurch eine Nutzung der Vorabstände am HIL beschrieben. So sollen Prüfprogramme sowie Prüftechnik am HIL verwendet werden, um Erprobungen der SW sowie HW in der frühen Phase vorzunehmen.

Diese Verfahren werden im Fachbereich der TE für simulative Modelle in Ingolstadt (I/EE-31) eingesetzt und kontinuierlich ausgebaut. Grund hierfür ist die Tendenz einer steigenden Anzahl elektronischer Bauteile in Fahrzeugen.

Aufgrund kapazitiver Engpässe hinsichtlich eigener Testfälle an den bestehenden Testinstanzen durch das VSC wird ein Veto ausgesprochen. Die Anlagen werden bereits ganztägig betrieben und sind vollständig ausgelastet. Zudem ist für die eingesetzte Serienprüftechnik keine Dateninfrastruktur vorhanden. Aus diesen Gründen sind weitere Testfälle an den Instanzen nicht möglich, wodurch das Testing am HIL fehlgeschlagen ist.<sup>148</sup> Stattdessen wird ein weiterer Lösungsansatz in Kooperation mit I/EE-31 nachfolgend beschrieben.

#### **4.4.2 M7 - Begleitung der Testinstanz HIL**

Grundsätzlich ist dieser Ansatz mit einer Arbeitsvorbereitungsmaßnahme für die Produkt- und Prozessabsicherung gleichzusetzen. Explizit beschreibt diese Maßnahme eine Begleitung der Testfälle am HIL durch ausgewählte Mitarbeiter der Abteilung P-V44. Hierbei sollen die Testergebnisse sowohl während der Prüfzyklen als auch im Nachgang diskutiert werden, sodass hinsichtlich der Fehler bereits erste Einschätzungen getroffen werden.

So soll eine Fehlerdokumentation, als Referenzwert für die spätere Produkt- und Prozessabsicherung, erfolgen. Durch die Kenntnis bestimmter Fehlerquellen kann im Nachgang eine gezielte Fehlersuche stattfinden, wodurch eine Fehlererkennung sowie -abstellung zu einem früheren Zeitpunkt ermöglicht wird.

Zusätzlich gibt die gezielte Suche nach Fehlern Aufschluss über die Güte eingesetzter Simulationsmodelle. Tritt ein Fehler in beiden Fällen auf, ist das Modell korrekt. Tritt der Fehler lediglich innerhalb der Simulation auf, so muss das Modell angepasst werden. Folglich entstehen dadurch langfristig zuverlässige Simulationsmodelle. Somit besteht die Möglichkeit der Beseitigung einer höheren Fehlerquellenanzahl, wodurch ein geringerer Aufwand hinsichtlich der Absicherung erzielt wird. Insgesamt entsteht eine Symbiose zwischen P-V44 sowie I/EE-31.<sup>149</sup>

---

<sup>148</sup> Vgl. Reich 2019.

<sup>149</sup> Vgl. ebd.

Durch diesen Ansatz erfolgt eine schnellere Fehlererkennung in der späten Phase, jedoch keine faktische Prävention der Problematik des Handlungsfelds, da der Ansatz mit einer Arbeitsvorbereitung gleichzusetzen ist.

Im Umkehrschluss bieten sowohl die fehlgeschlagene Maßnahme als auch M7 keine Möglichkeit eine Serienprüftechnik zu Erprobungszwecken zu nutzen. Aus diesem Grund wird im Folgenden die Analyse weiterer simulativer Ansätze verfolgt.

#### **4.4.3 Analyse - Simulationsmodell**

Basis der Argumentation einer Entwicklung von Simulationsmodellen ist die stagnierende Anzahl der Fahrzeugaufbauten, wodurch das Unternehmen langfristig deutliche Einsparungen verfolgt. Durch die Stagnation werden sowohl Einsparungen hinsichtlich benötigter Komponenten bzw. spezifischen Produktionsmitteln als auch der Produktionsfaktor „Mensch“ erreicht. Da durch die Sparmaßnahmen bewiesene Konsequenzen für die Produkt- und Prozessabsicherung entstehen, gilt es, gewonnene Ressourcen zu reinvestieren.

So soll ein Teil der finanziellen, materiellen sowie kapazitiven Einsparungen zur Entwicklung eines Modells für die Produkt- und Prozessabsicherung der Zukunft genutzt werden. Insgesamt werden entstehende Kosten durch eingesparte Ressourcen wie folgt relativiert:

- Die Entwicklung und der Aufbau einer Simulationsumgebung sind mit einmaligen Kosten verbunden, welche sich über die Zeit amortisieren sowie durch Einsparungen ausgeglichen werden.
- Die Kapazitätsbelastung durch das Betreiben der Anlage wird aufgrund freierwerdender Mitarbeiter relativiert.

Somit sind die Entwicklung und der Betrieb eines solchen Modells anhand gegebener Argumentation sowie der zuvor dargelegten Risiken vollumfassend gerechtfertigt.

Grundsätzlich sind innerhalb der bisher beschriebenen Methoden folgende Schwierigkeiten zu bewältigen. Neben kapazitiven Engpässen bestehender Anlagen in Ingolstadt, muss eine gegebene Dateninfrastruktur für den Einsatz der Serienprüftechnik gegeben sein. Zusätzlich verfügt neben Ingolstadt kein weiteres Werk über dieselben simulativen Ressourcen, weshalb ein neuartiger Lösungsansatz benötigt wird.<sup>150</sup>

---

<sup>150</sup> Vgl. Reich 2019.

Dieser wird innerhalb des Werks Neckarsulm verfolgt und soll folgende Anforderungen an das Modell erfüllen:

- Simulativer Lösungsansatz innerhalb des Werks Neckarsulm aufgrund der Entfernung sowie fehlender Kooperationsmöglichkeit mit Ingolstadt
- Vorhandensein einer Dateninfrastruktur für Serienprüfmittel, sodass eine Nutzung der UPS möglich ist
- Möglichkeit der Integration von Prüfprogrammen, sofern noch kein UPS verfügbar ist
- Verfügbare Mittel, um fehlende HW zu simulieren (nicht emulieren)
- Möglichkeit eigener, durch das VSC ausgeführter Testfälle
- Ein modular erweiterbares und schnell umrüstbares Modell zur Abdeckung einer möglichst hohen Varianz
- Möglichkeit zur Nachbildung aller Prozessorte nach Inbetriebnahmekonzept
- Nutzung des Originalbordnetzes und der SG, sodass ein möglichst realitätsnahes Modell entsteht
- Bezug der Simulationsmodelle von I/EE-31.

Hinsichtlich der aufgezeigten Anforderungen werden zwei prototypische, theoretische Lösungsansätze, ein zentrales Modell innerhalb des VSC sowie ein dezentrales, rotierendes Modell mit Kooperationspartnern, entwickelt. Für die Umsetzung müssen eine technische Betrachtung sowie eine explizite Machbarkeitsstudie erfolgen. Aufgrund zeitlich beschränkter Kapazität sind diese nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit.

#### **4.4.4 M8 - Zentrales Simulationsmodell (VSC)**

Der erste Ansatz beschreibt ein Simulationsmodell im vollständigen Verantwortungsbereich des VSC. Dies beinhaltet sowohl die Entwicklung als auch den Betrieb des Modells. Das aus zwei Komponenten bestehende Modell beinhaltet ein physisches Modell zur Abbildung von Fahrzeugen sowie eine an einen HIL angelehnte Simulationsumgebung.

Das physische Modell ist sowohl statisch als auch zentral, wodurch der Aufbau anhand eines Systembaukastens des mit der Audi AG kooperierenden Unternehmens *item* erfolgen soll. So stehen modulare Systeme für Aufbauten jeglicher Art sowie Erfahrung der damit verbundenen Arbeitsweise zur Verfügung, wodurch die Systeme als Standardwerkzeug zur Modellierung zu definieren sind.

Ein expliziter Aufbau wird innerhalb dieser Arbeit jedoch aus zeitlichen Einschränkungen bei der Erstellung vorliegender Arbeit nicht definiert, kann jedoch mithilfe vorhandener Systembaukastenkomponenten realisiert werden.

Hinsichtlich der Beschaffung sowie Erprobung notwendiger HW- sowie SW-Komponenten sollen weiterhin Vorabstände ab dem Zeitpunkt ihrer Verfügbarkeit genutzt werden, um das Modell iterativ zu erweitern. Hierbei unterstützt die Modularität des Systems die Umsetzung, sodass der Übergang von Komponenten- zu Integrations-test sowie die erstrebte Varianzabdeckung gewährleistet sind.

Zur notwendigen Simulationsumgebung hinsichtlich der Restsimulation nicht verfügbarer HW sowie SW dient der innerhalb der Audi AG bereits angewandte Standard.

So werden Simulationsmodelle zum Betrieb der Umgebung von I/EE-31 bezogen, während hinsichtlich der Anlage eine Neuanschaffung erfolgen muss. Zu prüfen gilt somit die Verfügbarkeit bereits bestehender, jedoch ausrangierter Anlagen, wodurch eine potenzielle Einsparung bezüglich der Beschaffung erzielt werden kann.

Die Nutzung der Serienprüfmittel wird durch die bereits implementierte Dateninfrastruktur innerhalb des VSC gewährleistet. Lediglich eine Anbindung an die Simulationsumgebung muss sichergestellt werden. Durch die bereits bestehende Anbindung anderer Prüfmittel am HIL in Ingolstadt ist die Umsetzbarkeit des Verfahrens als realisierbar einzustufen.

Zudem gilt es eine explizite Prüfung der Übertragung des Verfahrens auf das VSC Ingolstadt durchzuführen, sodass eine standortübergreifende Umsetzbarkeit garantiert wird. Da das VSC jedoch dieselben Grundvoraussetzungen aufweist, gilt die Umsetzbarkeit des Verfahrens abermals als realisierbar einzustufen.

Insgesamt ist diese Maßnahme im Stande der mit der Stagnation verbundene Problematik entgegenzuwirken. Außerdem ist der Entwicklungsaufwand gerechtfertigt sowie relativierbar. Aufgrund der vollständigen Verantwortungsübernahme durch das VSC ist jedoch keine Kooperationsmöglichkeit gegeben, wodurch Risiken individuell zu tragen sind. Aus diesem Grund wird im Folgenden ein dezentrales, rotierendes Modell mit festen Kooperationspartnern vorgestellt.

#### 4.4.5 M9 - Dezentrales Simulationsmodell

Grundsätzlich stimmt diese Maßnahme mit M8 in folgenden Punkten überein:

- Beschaffung der notwendigen Simulationsmodelle und -umgebung,
- Beschaffung der HW sowie SW und
- Anbindung der Serienprüftechnik und Dateninfrastruktur.

Die Maßnahmen werden hinsichtlich des physischen Modells sowie des Betriebs und der Verantwortungsübernahme unterschieden.

Dieser Ansatz basiert auf einer Kooperation des VSC mit den Fachbereichen der Qualitätssicherung GQ-N54 und GQ-N43 mit Erfahrung im Bereich der Modellaufbauten sowie Simulationsmodellen. Jedoch gleichen diese Modelle einem Brettaufbau, womit beispielsweise durch das Fehlen eines Originalbordnetzes keine Realitätsnähe und somit keine validen Ergebnisse erzielt werden.

Demzufolge besteht großes Interesse an einer gemeinsamen Entwicklung sowie Betrieb des dezentralen Modells, wodurch die Verantwortungsübernahme, das Risiko sowie die Gesamtkosten dreigeteilt sind.<sup>151</sup>

Zusätzlich besteht die Möglichkeit die Kooperation zu erweitern, sofern weitere Fachbereiche hinzugezogen werden. Somit besteht die Aussicht eines Netzaufbaus zur zukünftigen Absicherung.

Die Rotation des Modells gewährleistet die Nutzung aller fachbereichsspezifischer Prüfmittel inklusive der Serienprüftechnik. Folglich gilt es die Neuentwicklung eines rotierenden Testobjekts vorzunehmen, während genutzte Testinstanzen bestehen bleiben. So muss ein kooperatives Lastenheft mit expliziten Anforderungen zur erfolgreichen Entwicklung des rotierenden Testobjekts angefertigt werden. Hierzu wird ein prototypischer Ansatz beschrieben.

Das physische Modell basiert auf der Verwertung sowie Weiterverwendung ausrangierter Fahrzeugkarossen. Hierbei sollen alle für elektronische Komponenten relevanten Bauteile, Befestigungen etc. erhalten bleiben, während übrige Teile der Rohkarosse ausgespart werden. Dies dient dem einfachen Zugang zu allen Bauteilen, um eine jederzeit durchführbare Anpassung gewährleisten zu können, wodurch der Aspekt der Varianz gewahrt wird. Im Idealfall wird auf Schrauben verzichtet und ein Klicksystem hinsichtlich der Rüstzeit angewandt.

Da das Modell auf einer wiederverwendeten Karosse des eigentlichen Fahrzeugs basiert, ist es realitätsnah sowie nachhaltig. So besteht die Möglichkeit eines rudimentären, kostengünstigen physischen Modells als Pilotprojekt. Dadurch kann das

---

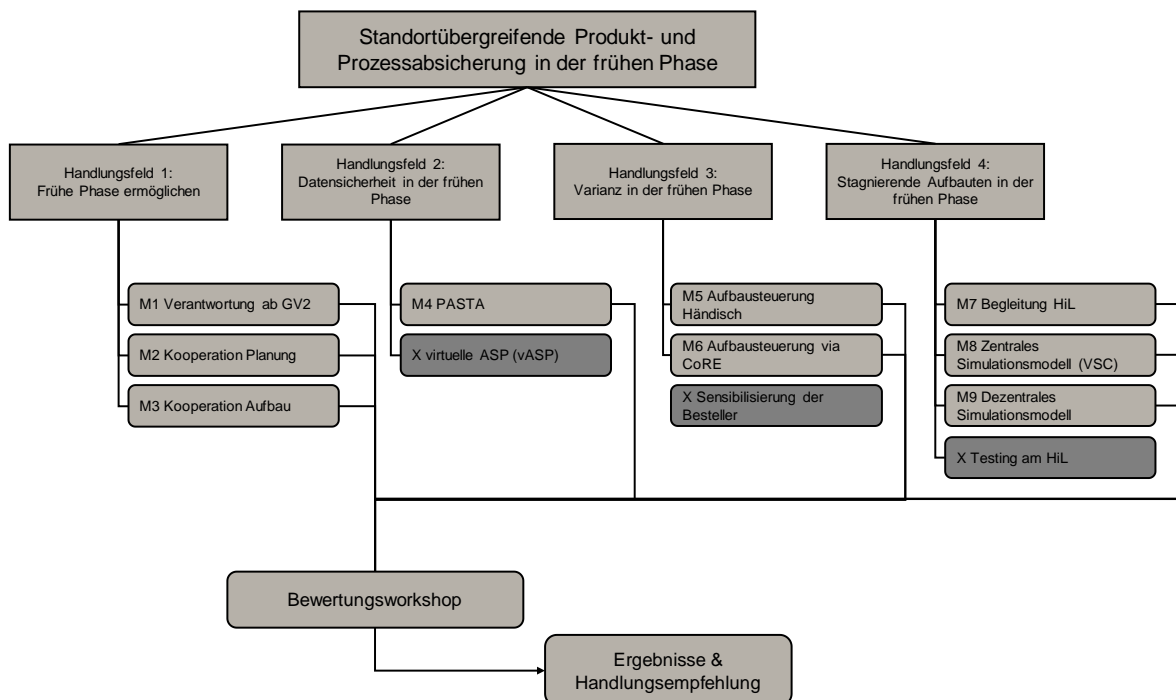
<sup>151</sup> Vgl. Bendeich 2019.

Zusammenarbeitsmodell und folglich auch die gesamte Maßnahme mit geringem Risiko erprobt werden, wobei die eigentliche Entwicklungsarbeit somit die Gestaltung einer fachbereichsübergreifend einsetzbaren Karosse beschreibt.

Insgesamt weisen sowohl M8 als auch M9 das Potenzial auf der existierenden Problematik entgegen zu wirken, wobei sie sich in ihrem physischen Modell unterscheiden.

## 4.5 Zusammenfassung der Ergebnisse

In Kapitel 4 sind je Handlungsfeld explizite Maßnahmen zur Lösung erkannter Schwachstellen in der Produkt- und Prozessabsicherung dargestellt. Sie werden anhand der nachstehenden Abbildung (Abbildung 26) in den Ablauf der Arbeit eingebunden, wobei fehlgeschlagene Lösungsansätze durch ein X und eine dunkle Einfärbung gekennzeichnet sind.



**Abbildung 26: Zusammenfassung der Ergebnisse**

Die Untersuchung der Asynchronität beider Standorte ergibt eine standortübergreifende Produkt- und Prozessabsicherung in der frühen Phase als Soll-Prozess.

So beschreibt das erste Handlungsfeld Maßnahmen, um die erstrebte frühe Phase als Prozessstandard zu ermöglichen sowie ideal zu gestalten. Die Ursache der Asynchronität beruht auf der unterschiedlichen Arbeitsweise beider Standorte. Hierzu beschreibt M1 die Grundvoraussetzung einer prozessual verankerten frühen Phase, während M2 sowie M3 effiziente Kooperationsmodelle zur Steigerung der Produkt- und Prozessabsicherung gewährleisten.

Innerhalb des zweiten Handlungsfeldes wird die allgemeine Datensicherheit diskutiert. Aufgrund der innerhalb DL24 erkannten Schwachstelle, lediglich durch Fahrzeugbestellungen ausgelöster Prüfzyklen, wird eine Untersuchung vorgenommen. Erreicht werden soll eine Datensicherheit zu jedem möglichen Zeitpunkt  $t$ . Hierzu gilt M6 als Fundament den DBP fehlerfrei zu gestalten, wodurch das Ziel im Umkehrschluss erreicht wird.

Das dritte Handlungsfeld untersucht Maßnahmen zu Erhöhung der Varianz aufgebauter Fahrzeuge in der frühen Phase, da lediglich aufgebaute Konfigurationen tatsächlich abgesichert werden und somit eine möglichst hohe Abbildung der Varianz erstrebenswert ist. Dieser Sachverhalt ist laut Ist-Prozess nicht gegeben. Hierzu beschreiben M5 einen manuellen sowie M6 einen algorithmischen Lösungsansatz zur Varianzerhöhung.

Die Stagnation von Fahrzeugaufbauten innerhalb der Serienentwicklung birgt Risiken hinsichtlich der Handlungsfelder 1 und 3. Folglich beschreibt das vierte Handlungsfeld Maßnahmen zur Prävention der Auswirkungen. Hierzu beschreibt M7 eine Arbeitsvorbereitungsmaßnahme während M8 ein zentrales und M9 ein dezentrales Simulationsmodell formulieren.

## 5 Bewertung der Ergebnisse und Handlungsempfehlung

Für eine valide Empfehlung hinsichtlich der erarbeiteten Ergebnisse werden sie innerhalb eines eigenständig organisierten und durchgeführten Workshops bewertet. Die Resultate werden statistisch untersucht, um so zahlenbasierte Aussagen zu treffen. Letztlich erfolgt eine Handlungsempfehlung bezüglich der durchgeführten Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile in der Serienentwicklung.

### 5.1 Bewertungsworkshop

Am Workshop haben hierbei sechs Mitarbeiter mit einer variierenden Kenntnis bezüglich der Thematik der Abteilung N/P-V44 teilgenommen. So ist das Wissen der Teilnehmer in nicht informiert bis vollständig informiert zu separieren.

Der Workshop setzt sich aus zwei Phasen zusammen. Die erste Phase beinhaltet eine Präsentation zur Erläuterung der bestehenden Problematik vorliegender Arbeit, sowie Ergebnisse der Untersuchungen. Hierdurch wird eine Synchronisation des Wissens gewährleistet. Die zweite Phase dient einer zweiteiligen, auf Zahlen basierenden Bewertung nach Tabelle 8. Hierbei entspricht die Zahl 5 einem Optimum.

**Tabelle 8: Bewertungsmaßstab**

Erfüllungsgrad	Beschreibung
5	Sehr hoch: Vollständig geeignet / Immer erfüllt
4	Hoch: Meist vollständig geeignet / meistens erfüllt
3	Teilweise: Teilweise geeignet / in zahlreichen Fällen erfüllt
2	Gering: Kaum geeignet / selten erfüllt
1	Sehr Gering: Nicht erfüllt bis in geringstem Maße erfüllt

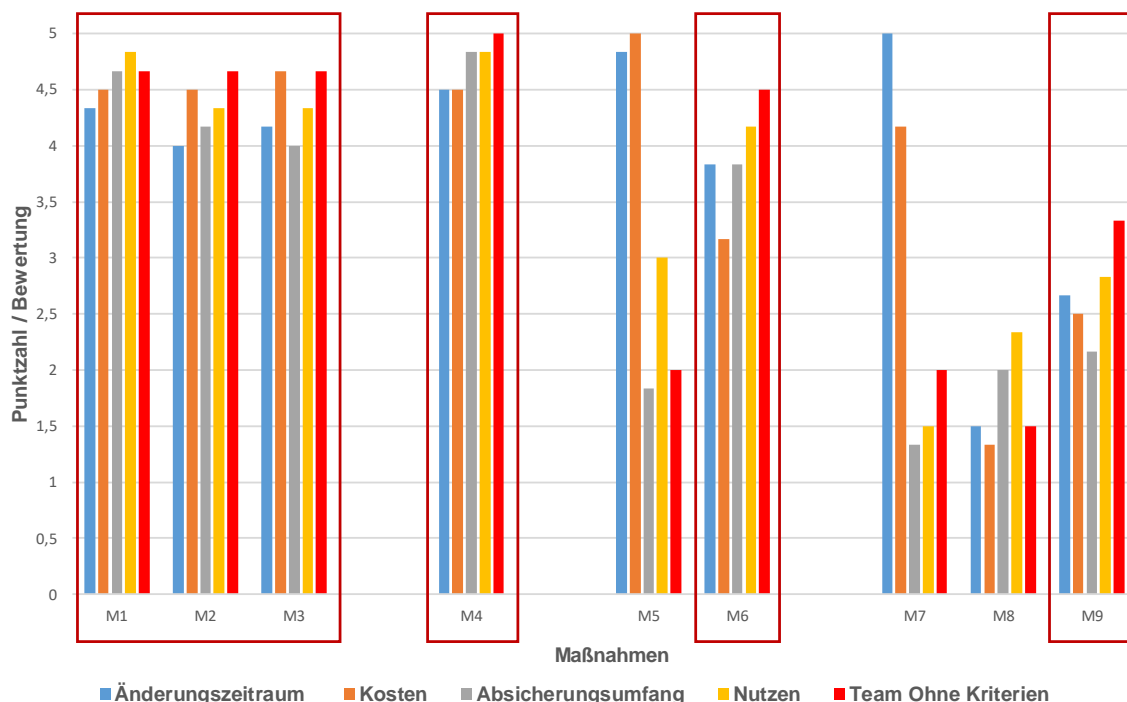
In Runde eins erfolgt eine allgemeine, subjektive Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung, die erklärte Problematik zu bewältigen. Hiermit wird eine durchschnittliche Bewertung der alleinstehenden Maßnahmen erreicht. Die Abgabe der Bewertungszahl geschieht zeitgleich.



In der zweiten Bewertungsrunde werden die Maßnahmen um ausgewählte Kriterien erweitert. Die dabei ausgewählten Kriterien sind wie folgt:

- **Änderungszeitraum:** Beschreibt die zur Umsetzung der Maßnahme notwendige Zeit  $t$ . Ein Optimum liegt bei  $t \rightarrow 0$ .
- **Kosten:** Beschreibt die zur Umsetzung notwendigen Kosten  $k$  und berücksichtigt sowohl Entwicklungs- als auch Betriebskosten. Ein Optimum liegt bei  $k \rightarrow 0$ .
- **Ziele:** Beschreibt zusammenfassend positive Auswirkungen  $A$  auf qualitative als auch monetäre Ziele bzw. Vorteile. Ein Optimum liegt bei  $A \rightarrow \infty$ .
- **Absicherungsumfang:** Beschreibt den durch die Maßnahme positiv beeinflussten Umfang  $U$  der Produkt- und Prozessabsicherung. Ein Optimum liegt bei  $U \rightarrow \infty$ .

Dargestellt werden die Maßnahmen sowie Kriterien innerhalb einer Bewertungsmatrix.<sup>152</sup> In der folgenden Darstellung (Abbildung 27) werden die Ergebnisse des gesamten Workshops dargelegt.



**Abbildung 27: Allgemeine Klassifikation der Maßnahmen<sup>153</sup>**

Die Bewertungen der Maßnahmen sind kumuliert und auf die ursprüngliche Bewertungsskala von eins bis fünf normiert. Weiter sind die Maßnahmen in Blöcke

<sup>152</sup> Vgl. Anhang 11.

<sup>153</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 11.

unterteilt. So ist mithilfe der Aussparung zwischen den Balken eine Unterteilung in Handlungsfelder erfolgt. Weiterhin ist jede Maßnahme durch fünf Balken dargestellt. Die ersten vier Balken von links stellen die beschriebene Bewertungsmatrix dar. Der fünfte Balken beschreibt die Ergebnisse der ersten Bewertungsrunde und dient somit als Referenzwert.

Innerhalb des Schaubilds ist eine deutliche Tendenz zu erkennen. So nähern sich Ergebnisse der allgemeinen Bewertung (rot) dem Durchschnitt aus Absicherungsumfang (grau) sowie Nutzen (orange) an. Beispiele hierfür sind M5 sowie M7. Obwohl diese Maßnahmen als schnell sowie vergleichsweise günstig umsetzbar eingestuft sind, werden sie schlecht eingestuft.

M8 stellt einen Ausreißer dieser Tendenz dar, indem die allgemeine Bewertung dem Änderungszeitraum sowie den Kosten gleicht. Insgesamt kann die Präferenz der Teilnehmer eines Ansatzes hinsichtlich positiver Auswirkungen festgestellt werden, während der Ressourcenaufwand nicht ausschlaggebend ist.

Per se sind sämtliche Maßnahmen in Handlungsfeld 1 anhand ihrer Wertung als empfehlenswert eingestuft. Grund hierfür ist das ideale Zusammenspiel dieser Maßnahmen.

Handlungsfeld 2 beinhaltet eine alleinstehende Lösung mit der höchsten Gesamtpunktzahl aller Maßnahmen. Grund hierfür ist eine einfache Umsetzung dieser Maßnahme, während die Auswirkungen für den gesamten Konzern gewinnbringend sind. Zusätzlich dazu beinhaltet diese Maßnahme für P-V44 keinen Mehraufwand, während sehr große Vorteile entstehen.

Innerhalb des dritten Handlungsfeldes wird M6 deutlich präferiert. So ist M5 schnell und einfach umsetzbar, jedoch ist M6 effizienter und erreicht eine weitreichende Optimierung. Während M5 lediglich Vorteile für die Elektronik birgt, ist M6 ein konzernweit umsetzbarer, automatisierter Ansatz mit Vorteilen für eine Vielzahl an Fachbereichen.

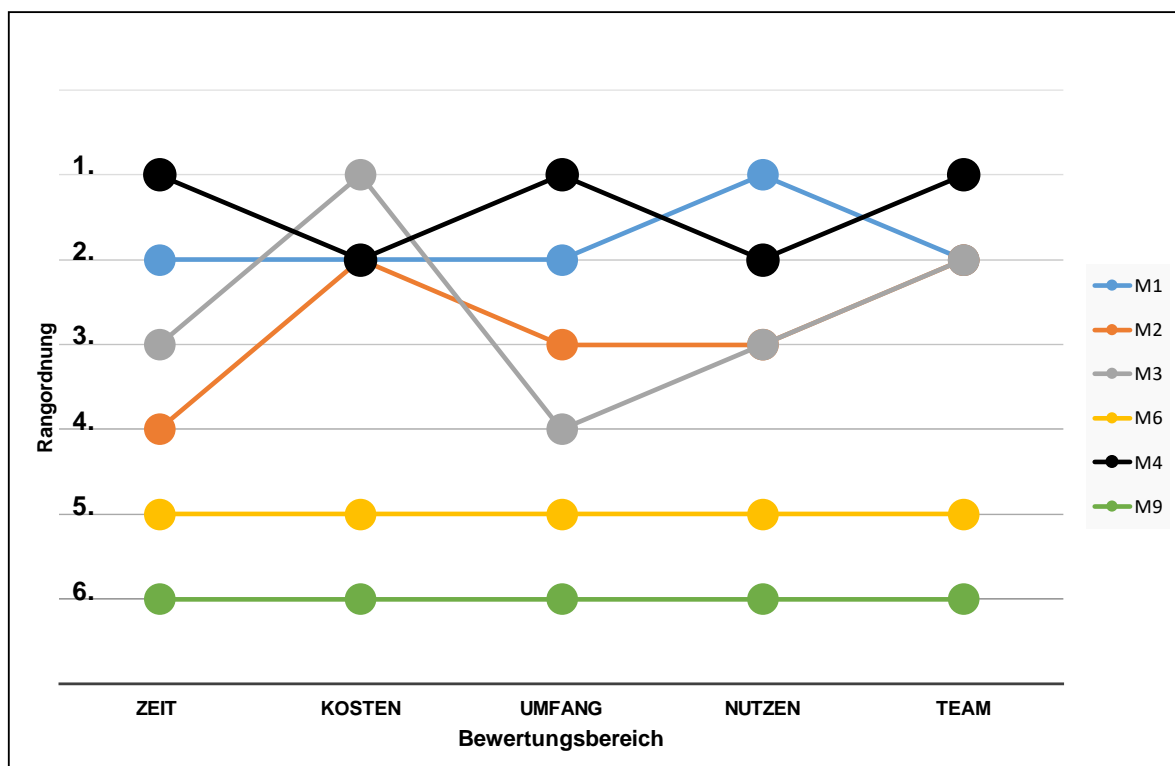
Im letzten Handlungsfeld sind die Ergebnisse vergleichsweise schlechter eingestuft. Aufgrund der Zukunftsorientierung sowie unausgereifter Entwicklung der Maßnahmen, ist diese Thematik aufgrund fehlender Berührungspunkte mit der Stagnation nicht vollständig greifbar. Zudem weist dieses Handlungsfeld im Vergleich zu den anderen einen Umsetzungsaufwand auf. Insgesamt spiegeln die Ergebnisse innerhalb dieses Handlungsfeldes nicht die Notwendigkeit einer Prävention wider. Aufgrund des bestehenden Bedarfs einer separaten Lösung ist M9 zu bevorzugen. Während M7 keine explizite Prävention ermöglicht, ist dieser Aspekt durch M8 sowie M9 gegeben. Da M8 eine autonome, mit hohem Mehraufwand verbundene Testinstanz beschreibt, erreicht diese Maßnahme die niedrigste Wertung. Im Vergleich

hierzu ist M9 ein nachhaltigerer, interdisziplinärer Ansatz mit erweiterbaren Kooperationspartnern, wodurch sämtliche Risiken gemeinsam zu tragen sind sowie ein höheres Wachstumspotenzial gegeben ist.

Unter Betrachtung der allgemeinen Bewertung und Ausschluss der Maßnahmen M5, M7 sowie M8 entsteht folgende Klassifikation.

1. M4 PASTA (Bewertung: 5)
2. M1 Verantwortung GV2 (Bewertung: 4,67)
2. M2 Kooperation Planung (Bewertung: 4,67)
2. M3 Kooperation Aufbau (Bewertung: 4,67)
3. M6 Aufbausteuerung via CoRE (Bewertung: 4,5)
4. M9 Dezentrales Simulationsmodell (Bewertung: 3,34)

Zusätzlich zu bereits erfolgter Klassifikation der Maßnahmen wird eine weitere hinsichtlich ihres Bewertungsbereichs vorgenommen. Dies ist in Abbildung 28 dargestellt.



**Abbildung 28: Klassifikation der Maßnahmen nach Bewertungsbereich<sup>154</sup>**

Die y-Achse definiert die Rangordnung der Maßnahmen, während die x-Achse die in der Bewertungsmatrix beschriebenen Kriterien sowie die Allgemeinbewertung der Maßnahmen beinhaltet. Insgesamt ermöglicht dieses Schaubild einen Vergleich der

<sup>154</sup> Eigene Darstellung in Anlehnung an Anhang 11.

Klassifikation einzelner Maßnahmen je Bewertungsbereich. Hierbei besteht die Rangordnung aus totalen Zahlen und gibt keinen Aufschluss über die Höhe des tatsächlichen Zahlenwerts.

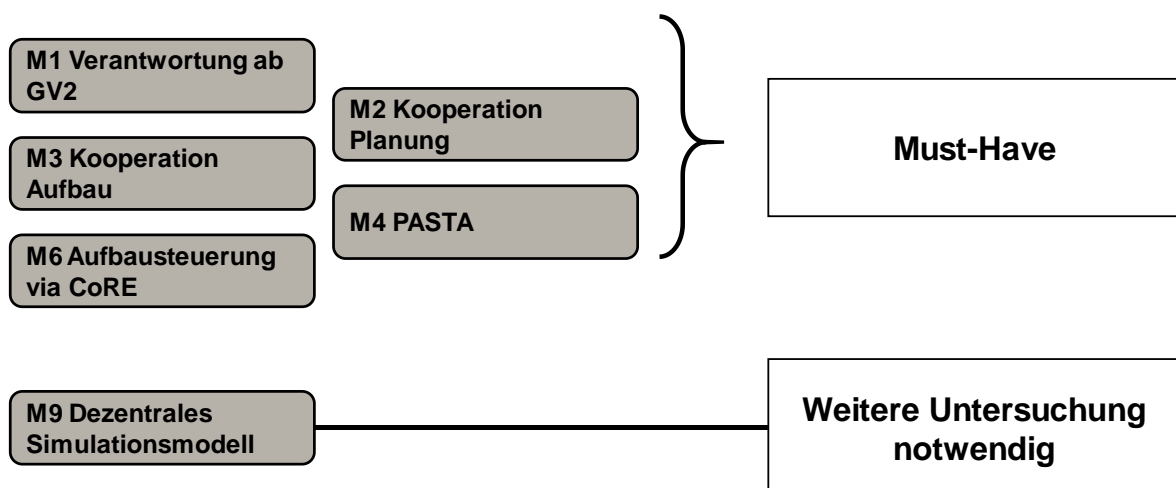
Zunächst weisen M6 und M9 gleichbleibend dasselbe Ergebnis der bereits erfolgten Klassifikation auf, während deutliche Unterschiede zwischen M1,2,3 und 4 zu erkennen sind.

M4 ist im Schnitt besser eingestuft als die verbleibenden Maßnahmen. Grund hierfür sind positive Auswirkungen der Maßnahme bei einem vergleichsweisen nicht existenten Aufwand.

Innerhalb des ersten Handlungsfeld weist M1 eine bessere Bewertung auf. So ergeben eine Kooperation mit der Planung sowie dem Aufbau im Zusammenspiel mit M1 ein faktisches Optimum. Unter getrennter Betrachtung der Auswirkungen von M1 gegenüber M2 und M3 hinsichtlich der Effizienz der Produkt- und Prozessabsicherung ist zu schließen, dass M1 eine Grundvoraussetzung für M2 sowie M3 darstellt. Diese Tatsache spiegelt sich in den Ergebnissen wider.

## 5.2 Handlungsempfehlung

Prinzipiell basiert die Handlungsempfehlung auf der tiefgehenden Analyse, den daraus erörterten Optimierungspotenzialen der Maßnahmen sowie den Ergebnissen des Bewertungsworkshops. Zusammengefasst ist die Handlungsempfehlung in Abbildung 29 dargestellt:



**Abbildung 29: Handlungsempfehlung**

Die als Must-Have eingestuften Maßnahmen sind mit einer hohen Dringlichkeit umzusetzen. Grund hierfür ist die beschriebene und deutlich hergeleitete Optimierung der gesamten Produkt- und Prozessabsicherung.

So erreichen M1, M2 und M3 eine Glättung der Prozesse zwischen den Standorten sowie eine allgemeine, deutliche Optimierung im Bereich der Elektronik.

Doch die tatsächliche Optimierung durch M4 und M6 erstreckt sich über den Fachbereich P-V44 hinaus und ermöglicht unternehmens- sowie konzernweite Verbesserungen. Außerdem konnte den Maßnahmen eine garantierte Umsetzbarkeit nachgewiesen werden. Anhand des Bewertungsworkshops wird diese These durch P-V44 bewiesen, da die Ergebnisse vorliegender Arbeit den anfangs definierten Erwartungshorizont übertreffen.

Hinsichtlich des vierten Handlungsfeldes bzw. der Maßnahme M9 wird dringend eine weitere Untersuchung empfohlen. Aufgrund der bestehenden Gefahr ausgehend von der Stagnation von Fahrzeugaufbauten, muss an dieser Stelle nochmals verdeutlicht werden, dass die umzusetzenden Maßnahmen direkt davon beeinträchtigt werden.

Im schlimmsten Fall ist eine Aussetzung der Optimierungen zu erwarten, wodurch die Ergebnisse vorliegender Arbeit ihre Gültigkeit verlieren. Im Umkehrschluss stellt dies eine gravierende Verschwendung von Potenzial sowie Kapazitäten dar.

Da bereits Lösungsansätze konzipiert wurden und somit eine prototypische, theoretische Basis vorhanden ist, kann eine nachfolgende Abschlussarbeit zur weiteren Bearbeitung erfolgen.

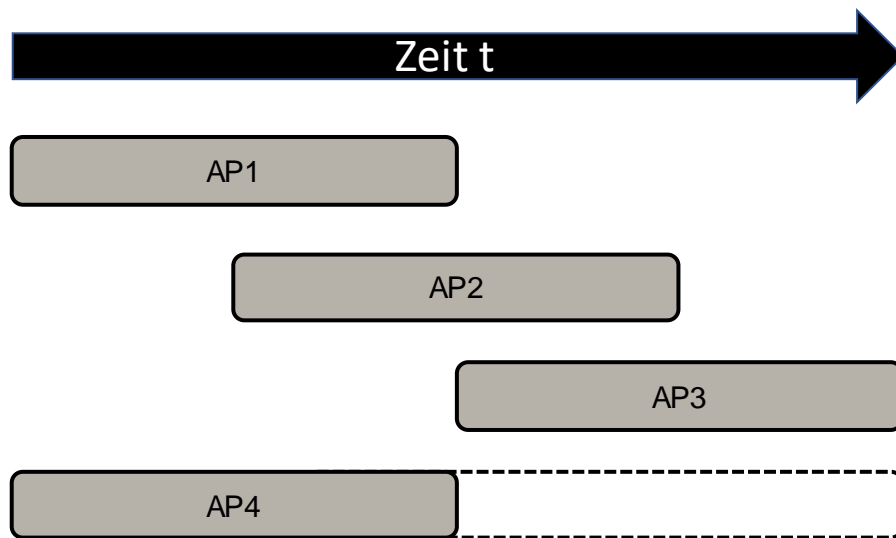
Zudem bestehen hinsichtlich eines simulativen Ansatzes bereits feste Kooperationspartner, welche weitere Vorteile durch Erfahrungswerte sowie Wissen gewähren.

Insgesamt betrifft diese Thematik die Zukunft und somit werden demnach zunächst die direkt umsetzbaren Maßnahmen verfolgt. Dennoch darf das vierte Handlungsfeld keinesfalls vergessen werden. Sollte dies geschehen, sind fatale Auswirkungen zu prognostizieren.

Hinsichtlich der Umsetzung der aufgezeigten Maßnahmen sind Arbeitspakete (AP) zu empfehlen. So beinhaltet AP1 die Maßnahmen M1 sowie M4, da M4 allgemein schnell umsetzbar ist und enorme Verbesserungspotenziale aufweist, während M1 die Grundvoraussetzung für weitere Maßnahmen des ersten Handlungsfeldes darstellt.

Weiter sollen M2 sowie M3 in AP2 umgesetzt werden. Grund hierfür ist die Vervollständigung des ersten Handlungsfeldes, sodass nach Umsetzung von AP1 sowie AP2 Handlungsfelder 1 und 2 abgedeckt sind. AP3 beinhaltet demnach M6, um das dritte Handlungsfeld zu erfüllen. Folglich ist nach Abschluss der AP 1 bis 3 eine deutliche Optimierung der Produkt- und Prozessabsicherung nach heutigem Ist-Zustand erfolgt.

Zuletzt wird hinsichtlich einer weiteren Untersuchung der Absicherung der frühen Phase ein viertes AP empfohlen, wodurch Handlungsfeld 4 erfüllt wird. Eine mit AP1 zeitgleich beginnende Umsetzung anhand einer Abschlussarbeit stellt ein zeitliches Optimum dar. Nachfolgend wird in Abbildung 30 ein prototypischer Umsetzungsplan dargestellt:



**Abbildung 30: Prototypischer Umsetzungsplan**

AP sollen hinsichtlich ihrer Implementierung ineinandergreifen, wodurch im Vergleich mit einer nacheinander erfolgten Umsetzung eine deutliche Verkürzung der Umsetzungszeit zu erreichen ist. AP4 ist aufgrund seiner Eignung zur Erstellung einer weiterführenden Abschlussarbeit als zeitlich variabel definiert. So besteht hinsichtlich AP4 die Möglichkeit einer simultanen Umsetzung mit AP1, soll jedoch spätestens zeitgleich mit AP3 abgeschlossen sein. Zu diesem Zeitpunkt werden eine abgeschlossene Untersuchung der Thematik sowie belegbar umsetzbare Maßnahmen zu Handlungsfeld 4 erwartet. Ein tatsächlicher Wert wird für die Variable  $t$  nicht definiert, da die Umsetzungsdauer der Maßnahmen auf Schätzungen basieren.

## 6 Fazit

Wie anhand der vorliegenden Arbeit ermittelt wurde, besteht ein deutlicher Unterschied in der Arbeitsweise und somit eine Asynchronität der beiden Standorte Neckarsulm und Ingolstadt. Darüber hinaus zeigt der Vergleich von Fahrzeugprojekten beider Standorte eine höhere allgemeine Effizienz in Neckarsulm, wodurch diese Vorgehensweise zum Soll-Zustand innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung definiert wird. Anhand der Analyseergebnisse der unterschiedlichen Arbeitsweisen werden explizite Maßnahmen zur Schaffung eines standortübergreifenden Standards in der frühen Projektphase sowie Kooperationsmodelle mit der Planung und dem Aufbau zur allumfassenden Optimierung der Produkt- und Prozessabsicherung definiert. Dies erfolgt durch Verabschiedung offizieller Arbeitsanweisungen zur Verankerung ihrer Gültigkeit im Produktentstehungsprozess.

Zudem zeigt der beteiligte Datenbereitstellungsprozess das Defizit keiner allgemeinen Datensicherheit zu jedem Zeitpunkt  $t$  trotz effektiver Prüfzyklen. Ursache hierfür ist die direkte Abhängigkeit zum Produktionsprozess. Somit besteht lediglich eine individuelle Datensicherheit tatsächlich aufgebauter Fahrzeuge sowie eine Abhängigkeit des Produktionstermins zum Arbeitsaufwand im Fehlerfall. Die Untersuchungsergebnisse einer autonomen Datensicherheit zeigen ein großes Potenzial des nicht im Prozess verankerten Systems PASTA. Dieses System bildet die Basis des von Volkswagen verabschiedeten Datenbestellprozesses. Lediglich eine Kombination dieser Komponenten gewährleistet die erstrebte Datensicherheit, weswegen eine offizielle Verankerung des Systems PASTA im Produktentstehungsprozess erfolgen muss.

Die Untersuchungen der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung haben weitere gravierende Defizite aufgezeigt. Aufgrund einer fehlenden Automatisierung sowie Anbindung an das technische Regelwerk und eines fehlerbehafteten Bestellprozesses aufgebauter Fahrzeuge in der Serienentwicklung erfolgt, zusätzlich zum vermeidbaren Mehraufwand, keine für die Produkt- und Prozessabsicherung relevante Varianzabbildung elektronischer Verbünde. Durch Eigenentwicklung eines prototypischen Algorithmus werden sämtliche Defizite behoben. Dieser neuartige, automatisierte sowie bewiesen umsetzbare Lösungsansatz führt zur erstrebten Varianzerhöhung und zur Senkung des Arbeitsaufwands sowie der Fehleranfälligkeit.

Zusätzlich besteht durch kürzlich verabschiedete Einsparungen eine erhebliche Beeinträchtigung der erarbeiteten Ergebnisse. Die hierbei entstehende Stagnation von Fahrzeugaufbauten in der Serienentwicklung übt direkte Auswirkungen auf die optimierte Produkt- und Prozessabsicherung sowie Varianzerhöhung aus und erfordert somit eine Präventionsmaßnahme. Anhand eines Lösungsansatzes basierend

auf simulativen Verfahren mit festen Kooperationspartnern wird eine prototypische Methode zur Prävention erreicht. Aufgrund der prototypischen Art bedarf deren Umsetzung einer fortführenden, genaueren Untersuchung und Weiterentwicklung.

Im Bezug zum primären Untersuchungsgegenstand einer „Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile in der Serienentwicklung“ und deren Anforderungen eines standortübergreifenden Standards für Neckarsulm und Ingolstadt, der synchronen Arbeitsweise und Kooperation mit Schnittstellen wurde das Ziel anhand der erarbeiteten Ergebnisse übertroffen. Grund hierfür ist die Untersuchung einer Mehrzahl von Problemfeldern mittels vier kleinerer, separater DMAIC-Zyklen. So erfolgt die Zielerreichung bereits anhand des ersten Handlungsfeldes, während die übrigen Ergebnisse zusätzliche fachbereichsübergreifende Verbesserungen sowohl für das Unternehmen als auch teilweise den Konzern bieten.

Generell ist die prozessuale Verankerung einer qualitätsabsichernden Funktion innerhalb der frühen Projektphase unter Berücksichtigung der „Rule of Ten“ branchenübergreifend empfehlenswert, da eine frühzeitige Projektbeeinflussung durch dedizierte Funktionsprüfungen langfristig zu Kostenersparnissen führt. Weiter konnte die zweite Untersuchung vorliegender Arbeit Vorteile und folglich die allgemeine Notwendigkeit einer vom Produktionsprozess losgelösten Datensicherheit beweisen. Zusätzlich wird die generelle Abhängigkeit zwischen hergestellter Varianten in der Serienentwicklung und der tatsächlichen Absicherung der Erzeugnisse aufgezeigt. Hierdurch ist die allgemeine Relevanz einer hohen Varianzabbildung in einem Unternehmen mit markanter Produktvielfalt bestätigt. Zuletzt ist die Dringlichkeit einer fachbereichsinternen Überprüfung neuer Unternehmensziele hinsichtlich ihrer möglichen Beeinträchtigung interner Prozesse generalisierbar, da mögliche Risiken lediglich anhand einer genauen Erhebung der Folgen zu identifizieren sind.

Ein Kritikpunkt vorliegender Arbeit ist das Fehlen wesentlicher Daten zum Beweis einiger Thesen. Dieser ist jedoch nicht der unzureichenden Recherche geschuldet, sondern auf den fehlenden Zugang innerhalb der Audi AG zurückzuführen. So muss regelmäßig auf Schätzungswerte oder inoffizielle Aussagen innerhalb persönlicher Gespräche mit Fachexperten zurückgegriffen werden, wodurch ein fundierter Beweis mancher Thesen nicht vorliegt.

Anhand der vorliegenden Untersuchungen wurde eine weitere Forschung im Bereich der Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile eröffnet. Zum einen beschreibt der prototypische Algorithmus zur Varianzerhöhung einen genauen Ablauf und notwendige sowie erfüllte Voraussetzungen zur Umsetzung, doch eine explizite Entwicklung findet nicht statt. Für ein weiterführendes Vorgehen gilt es eine allgemeine Optimierung des Ansatzes sowie eine tiefgehende Prüfung der



betroffenen Systeme durchzuführen, um ein valides Lastenheft zur späteren Entwicklung des Algorithmus zu definieren. Zudem besteht die Notwendigkeit einer weitergehenden Untersuchung simulativer Präventionsmaßnahmen. Hierzu müssen weitere Modelle erarbeitet werden sowie eine explizite Machbarkeitsstudie aller Lösungsansätze erfolgen. Zum jetzigen Zeitpunkt empfiehlt sich hierzu eine nachfolgende Abschlussarbeit. Generell betrachtet, muss jedoch eine verstärkte Forschung im Bereich simulativer Verfahren durchgeführt werden, da ein deutlicher Trend in diesem Forschungsgebiet zu beobachten ist. Zuletzt gilt es die prototypische Umsetzungsplanung innerhalb der Arbeit zu konkretisieren, sodass eine terminierte und kalkulierbare Umsetzung der Maßnahmen erfolgen kann.

Insgesamt werden durch vorliegende Arbeit eine Lösung hinsichtlich des standortübergreifenden Standards sowie Optimierungsansätze darüber hinaus identifizierter Defizite erarbeitet, wodurch eine allumfassende Verbesserung im Bereich der Produkt- und Prozessabsicherung zu erwarten ist, sofern die Maßnahmen umgesetzt werden.

## IV. Literaturverzeichnis

### Literatur

- Arnheiter, Edward D.; Maleyeff, John (2005): The integration of lean management and Six Sigma. In: *The TQM Magazine* 17 (1), S. 5–18. DOI: 10.1108/09544780510573020.
- Audi AG (2019a): Audi in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.audi.com/de/company/profile/locations/germany.html>, zuletzt geprüft am 10.12.2019.
- Brecht-Hadraschek, Barbara; Feldbrügge, Rainer (2015): Prozessmanagement. Geschäftsprozesse analysieren und gestalten. 4. Auflage. München: Redline Verlag (Alles, was sie wissen müssen).
- Bruhn, Manfred (2016): Qualitätsmanagement für Dienstleistungen. Handbuch für ein erfolgreiches Qualitätsmanagement. Grundlagen - Konzepte - Methoden. 10., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Czaja, Lothar (2009): Qualitätsfrühwarnsysteme für die Automobilindustrie. Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2008 u.d.T.: Czaja, Lothar: Einsatz und Bedeutung von Qualitätsfrühwarnsystemen zur Unterstützung des Supply Chain Risk Management in automobilen Wertschöpfungsnetzwerken : eine empirische Untersuchung in der deutschen Automobilindustrie. Wiesbaden: Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden (Gabler Edition Wissenschaft).
- D'Aloia, Matteo; Longo, Annalisa; Carlo, Francesca de; Leonardis, Pierpaolo de; Rizzi, Pasquale; Rizzi, Maria (2018): Project IAAP: An Overview on Optimizing Business Process in Smart Enterprises. In: 2018 AEIT International Annual Conference. 2018 AEIT International Annual Conference. Bari, 2018: IEEE, S. 1–6.
- Diess, Herbert (03.05.2018): Redemanuskript anlässlich der Hauptversammlung am 3. Mai 2018. Berlin.
- Fleischmann, Albert; Schmidt, Werner; Stary, Christian; Obermeier, Stefan; Börger, Egon (2011): Subjektorientiertes Prozessmanagement. Mitarbeiter einbinden, Motivation und Prozessakzeptanz steigern ; [ einfach und intuitiv umzusetzen. München: Hanser Verlag. Online verfügbar unter <http://www.hanser-elibrary.com/action/showBook?doi=10.3139/9783446429697>.

- Gadatsch, Andreas (2015): Geschäftsprozesse analysieren und optimieren. Praxistools zur Analyse, Optimierung und Controlling von Arbeitsabläufen. Wiesbaden: Springer Vieweg (essentials).
- Gadatsch, Andreas (2017): Grundkurs Geschäftsprozess-Management. Analyse, Modellierung, Optimierung und Controlling von Prozessen. 8., vollständig überarbeitete Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- George, Michael L. (2002): Lean Six Sigma. Combining Six Sigma quality with lean speed. New York: McGraw-Hill.
- Grabner, Thomas (2019): Operations Management. Auftragserfüllung bei Sach- und Dienstleistungen. 4. Aufl. 2019. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hilmer, Christian (2016): Prozessmanagement in indirekten Bereichen. Empirische Untersuchung und Handlungsempfehlungen. Dissertation. Wiesbaden: Springer Gabler (Unternehmensführung & Controlling).
- Hochheimer, Norbert (2011): Das kleine QM-Lexikon. Begriffe des Qualitätsmanagements aus GLP, GCP, GMP und EN ISO 9000. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Weinheim: Wiley-VCH.
- Kamiske, Gerd F.; Kripfgans, Herbert (Hg.) (2006): Qualitätsmanagement. Eine multimediale Einführung; mit einer CD-ROM "Lernprogramm Qualitätsmanagement". 3., aktualisierte Aufl. München: Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl.
- Kamrani, Ali K.; Nasr, Emad S. Abouel (2008): Collaborative Engineering. Theory and Practice. 1. Aufl. s.l.: Springer-Verlag.
- Kaufmann, Uwe H. (2012): Praxisbuch Lean Six Sigma. Werkzeuge und Beispiele. [Elektronische Ressource]. München: Hanser.
- Koch, Susanne (2015): Einführung in das Management von Geschäftsprozessen. Six Sigma, Kaizen und TQM. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg.
- Kostka, Claudia; Kostka, Sebastian (2002): Der kontinuierliche Verbesserungsprozess. Methoden des KVP. 2. Aufl. München, Wien: Hanser (Pocket-Power, 22).
- Krampf, Peter (2016): Strategisches Prozessmanagement. Instrumente und Philosophien für mehr Effizienz, Qualität und Kundenzufriedenheit. 1st ed. München: Franz Vahlen (Management Competence).

- Kumar, M.; Antony, J.; Singh, R. K.; Tiwari, M. K.; Perry, D. (2006): Implementing the Lean Sigma framework in an Indian SME: a case study. In: *Production Planning & Control* 17 (4), S. 407–423.
- Liebetruth, Thomas (2016): Prozessmanagement in Einkauf und Logistik. Instrumente und Methoden für das Supply Chain Process Management. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Linß, Gerhard (2011): Qualitätsmanagement für Ingenieure. 3., aktualisierte und erw. Aufl. München: Hanser.
- Lunau, Stephan; Meran, Renata; John, Alexander; Staudter, Christian; Roenpage, Olin (Hg.) (2014): Six Sigma + Lean toolset. Mindset zur erfolgreichen Umsetzung von Verbesserungsprojekten. 5. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
- Magnusson, Kjell; Kroslid, Dag; Bergman, Bo (2004): Six Sigma umsetzen. Die neue Qualitätsstrategie für Unternehmen ; mit neuen Unternehmensbeispielen. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. München: Hanser.
- Melzer (2019): Six Sigma – kompakt und praxisnah: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Miegler, Maximilian; Schieber, Reinhard; Kern, Andreas; Ganslmeier, Thomas; Nentwig, Mirko (2009): Hardware-in-the-Loop-Test von vorausschauenden Fahrerassistenzsystemen. In: *ATZ Elektron* 4 (5), S. 14–19. DOI: 10.1007/BF03223975.
- Nordsieck, Fritz (1934): Grundlagen der Organisationslehre. Stuttgart: Poeschel.
- Pande, Peter S.; Neuman, Robert P.; Cavanagh, Roland R. (2002): The Six Sigma way team fieldbook. An implementation guide for process improvement teams. New York, NY: McGraw-Hill.
- Pham, Hoang (2006): Springer Handbook of Engineering Statistics. London: Springer-Verlag London Limited.
- Piontek, Jochem (2005): Controlling. 3., erw. Aufl. München: Oldenbourg (Managementwissen für Studium und Praxis).
- DIN EN ISO 9001:2015-11, November 2015: Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen.
- DIN EN ISO 9000:2015-11, November 2015: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe.
- Sax, Eric (Hg.) (2008): Automatisiertes Testen eingebetteter Systeme in der Automobilindustrie. München: Hanser.

- Schäuffele, Jörg; Zurawka, Thomas (2013): Automotive Software Engineering. Grundlagen, Prozesse, Methoden und Werkzeuge effizient einsetzen. 5., überarb. u. ak. Aufl. 2013. Wiesbaden: Springer (ATZ / MTZ-Fachbuch).
- Schmelzer, Hermann J.; Sesselmann, Wolfgang (2013): Geschäftsprozessmanagement in der Praxis. Kunden zufriedenstellen, Produktivität steigern, Wert erhöhen : [das Standardwerk. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage. München: Hanser.
- Schmitt, Robert; Pfeifer, Tilo (2015): Qualitätsmanagement. Strategien - Methoden - Techniken. 5., aktualisierte Auflage. München: Hanser.
- Schönsleben, Paul (2016): Integrales Logistikmanagement. Operations und Supply Chain Management innerhalb des Unternehmens und unternehmensübergreifend. 7., bearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Stoesser, Kla (Stoesser 2019)us R. (2019): Prozessoptimierung für produzierende unternehmen. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Toutenburg, Helge; Knöfel, Philipp (2009): Six Sigma. Methoden und Statistik für die Praxis. 2., verbesserte und erweiterte Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Volkswagen AG (2016): TOGETHER - Strategie 2025. Online verfügbar unter [https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/events/2016/strategie-2025/Presse\\_deutsch\\_NICHTanimiert\\_Version\\_24.pdf](https://www.volkswagenag.com/presence/investorrelation/events/2016/strategie-2025/Presse_deutsch_NICHTanimiert_Version_24.pdf), zuletzt geprüft am 10.12.2019.
- Wagner, Karl Werner; Käfer, Roman (2017): PQM - Prozessorientiertes Qualitätsmanagement. Leitfaden zur Umsetzung der ISO 9001. 7., vollständig überarbeitete Auflage. München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG.
- Wagner, Karl Werner; Patzak, Gerold (2015): Performance Excellence. Der Praxisleitfaden zum effektiven Prozessmanagement. 2., vollständig überarbeitete Auflage. München: Hanser.
- Watson, Gregory H. (2004): Six sigma for business leaders. A guide to implementation. 1st ed. Salem, NH: Goal/QPC.
- Watson, Gregory H. (2005): Design for six sigma. Innovation for enhanced competitiveness. 1st ed. Salem, NH: Goal/QPC.
- Waurick, Timo (2014): Prozessreorganisation mit Lean Six Sigma. Eine empirische Analyse. Wiesbaden: Springer Gabler.

Wedgwood, Ian; Zinkgraf, Stephen A. (op. 2007): Lean Sigma. A practitioner's guide. Upper Saddle River, NJ (etc.): Prentice hall.

Zink, Klaus J. (2004): TQM als integratives Managementkonzept. Das EFQM Excellence Modell und seine Umsetzung; mit Selbstbewertungsprozess ; berücksichtigt Reviews des EFQM-Modells von 2000 und 2002. 2., vollst. überarb. und erw. Aufl. München: Hanser.

## **Interne Quellen**

Audi AG (2019b): AVx Basiskonzept. Ingolstadt.

Audi AG (2019c): Erprobungsplanung (EPM). Ingolstadt.

Audi Consulting (2017): Baureihenhandbuch. Ingolstadt.

Audi Medienkommunikation (2016): Produktdaten im Überblick. Ingolstadt.

Audi Medienkommunikation (2019): Modellbeschreibung Technik: die DNA des Fahrzeugs. Ingolstadt.

Audi Vorseriencenter VSC (2017): P-V4 Produkt-/Prozesstechnik. Hg. v. Audi AG. Neckarsulm.

Bauer, Sonja; Dordel, Martin; Chiriatti, Alessandro-Gianni; Müller, Daniel; Wittmann, Andreas (2018): AA\_VSC\_P-V4\_18\_33: Absicherung Produkt Elektronik. Ingolstadt.

Behne, Daniel; Daur, Florian; Glatz, Thomas; Pfeifer, Waldemar; Pickarski, Lars (2019): Produktdatenqualitätssicherung mit PASTA: (Produktdaten-Analyse und Stücklisten-Auswertungen). Wolfsburg.

Bendeich, Steffen (2019): Dezentrales Simulationsmodell. Neckarsulm, 10.09.2019. Persönliches Gespräch an Jacek Rybus.

Bihlmayer, Patrick Louis (2019): Modul-Verantwortlichkeiten: Workshop. Neckarsulm.

Boehringer, Mario (2019): Schnittstellenpapier PG-B5: Planung Elektrik/Elektronik. Ingolstadt.

Buller, Lars (2017): Prozessstandard - KAP FZG 4 Fehlerabstellprozess Werk in der AUDI AG einleiten. Hg. v. Audi AG. Ingolstadt.

Elberfeld, Jörn; Schalk, Andreas (2019): Aufbau der Technischen Stückliste. Ingolstadt.

Fischer, Marco (2019): Varianzabdeckung in der Aufbausteuerung. Neckarsulm, 13.08.2019. Persönliches Gespräch an Jacek Rybus.

- Fleeth, Kristoffer (2018): AA\_VSC\_P-V4\_12\_016: Übergabe an Fertigung. Ingolstadt.
- Glatz, Thomas (2019): Funktionsweise PASTA. Neckarsulm, 04.09.2019. Persönliches Gespräch (Telefonat) an Jacek Rybus.
- Grauf, Samuel; Reimold, Oliver (2017): AU651 Inbetriebnahmekonzept: Elektrik/Elektronik. Neckarsulm.
- Hilscher, Oliver (2011): Prozess Datenlogistik24: Datenlogistik für Steuergeräte aller Fahrzeugprojekte im VW-Konzern. Wolfsburg.
- Hofschulz, Nikolai (2018): Bezeichnung P-V. Hg. v. Audi AG. Neckarsulm.
- Jabs, Randolph; Thurow, Annette; Wandke, Gregor (2016): Fachkonzept Datenbestellprozess. Wolfsburg.
- Jochim, Tobias (2016): Schulung UPS D5: Softing-VCI (HSC). Ingolstadt.
- Kiemele, Eduard (2019): Funktionsweise CoRE - Algorithmischer Ansatz; vASP. Neckarsulm, 2019. Persönliches Gespräch (Telefonat).
- Lemke, Erwin (2017): AA\_VSC\_P-V4\_12\_016: Übergabe an das Standort-VSC zur VFF. Ingolstadt.
- PP-Team (2017): Regelablauf zum Produktentstehungsprozess (MasterPEP). Hg. v. Audi AG. Ingolstadt.
- Produkttechnologiemethodenentwickler N/P-V441 (2019a): Arbeitsweise D5, C8. Neckarsulm, 25.07.2019. Persönliches Gespräch an Jacek Rybus.
- Produkttechnologiemethodenentwickler N/P-V441 (2019b): Stücklistenfehler. Neckarsulm, 23.08.2019. Persönliches Gespräch an Jacek Rybus.
- Reich, Dimitri (2019): Simulative Arbeit bei der Audi AG. Neckarsulm, 28.08.2019. Persönliches Gespräch (Telefonat) an Jacek Rybus.
- Reiter, Thomas (2019): Prozess zu PASTA bei der Audi AG. Neckarsulm, 11.09.2019. Persönliches Gespräch an Jacek Rybus.
- Schelb, Matthias (2017): PP\_Fzg\_4\_Vorserienfahrzeuge (VFF, PVS, VT, KT)\_auf\_den\_Montagelinien\_aufbauen. Hg. v. Audi AG. Ingolstadt.
- Schützenberger, Walter (2019): PASTA in der Audi AG. Neckarsulm, 06.09.2019. Persönliches Gespräch (Telefonat) an Jacek Rybus.
- Schwarz, Armin; Sylva, Agon (2018): AA\_VSC\_P-V4\_18\_34: Absicherung Prozess Elektronik. Ingolstadt.

- Varadi, Sebastian (2019): Funktionsweise AVx - Algorithmischer Ansatz. Neckarsulm, 11.09.2019. Persönliches Gespräch (Telefonat) an Jacek Rybus.
- Volkswagen AG: CoRE: Projektdokumentation. Online verfügbar unter <https://lxf01p537.wob.vw.vwg:5602/doc/projektdokumentation.html>, zuletzt geprüft am 12.09.2019.
- Volkswagen AG: System 42. Online verfügbar unter [https://iproject.vw.vwg/iproject/vw/system42.menu\\_312085.html](https://iproject.vw.vwg/iproject/vw/system42.menu_312085.html), zuletzt geprüft am 09.07.19.
- Wotzka, Johannes (2017): Funktionsorientierung 2.0: Begriffe aus der Funktionsorientierung. Ingolstadt.
- Wotzka, Johannes (2018): Funktionsorientierung 2.0: Testlandkarte. Ingolstadt.



## V. Eidesstattliche Versicherung

Hiermit erkläre ich, Jacek Rybus, geboren am 13.05.1993 in Heilbronn, Deutschland ehrenwörtlich,

1. dass ich meine Masterthesis mit dem Titel: „Analyse und Optimierung der standortübergreifenden Produkt- und Prozessabsicherung elektronischer Bauteile in der Serienentwicklung“ an der Fakultät Maschinenbau/Wirtschaftsingenieurwesen unter Anleitung von Prof. Dr. Martin Haberstroh selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe und keine anderen als die in der Abhandlung angeführten Hilfen benutzt habe;
2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe. Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben kann.

---

Ort, Datum

Unterschrift

## **VI. Anhang**

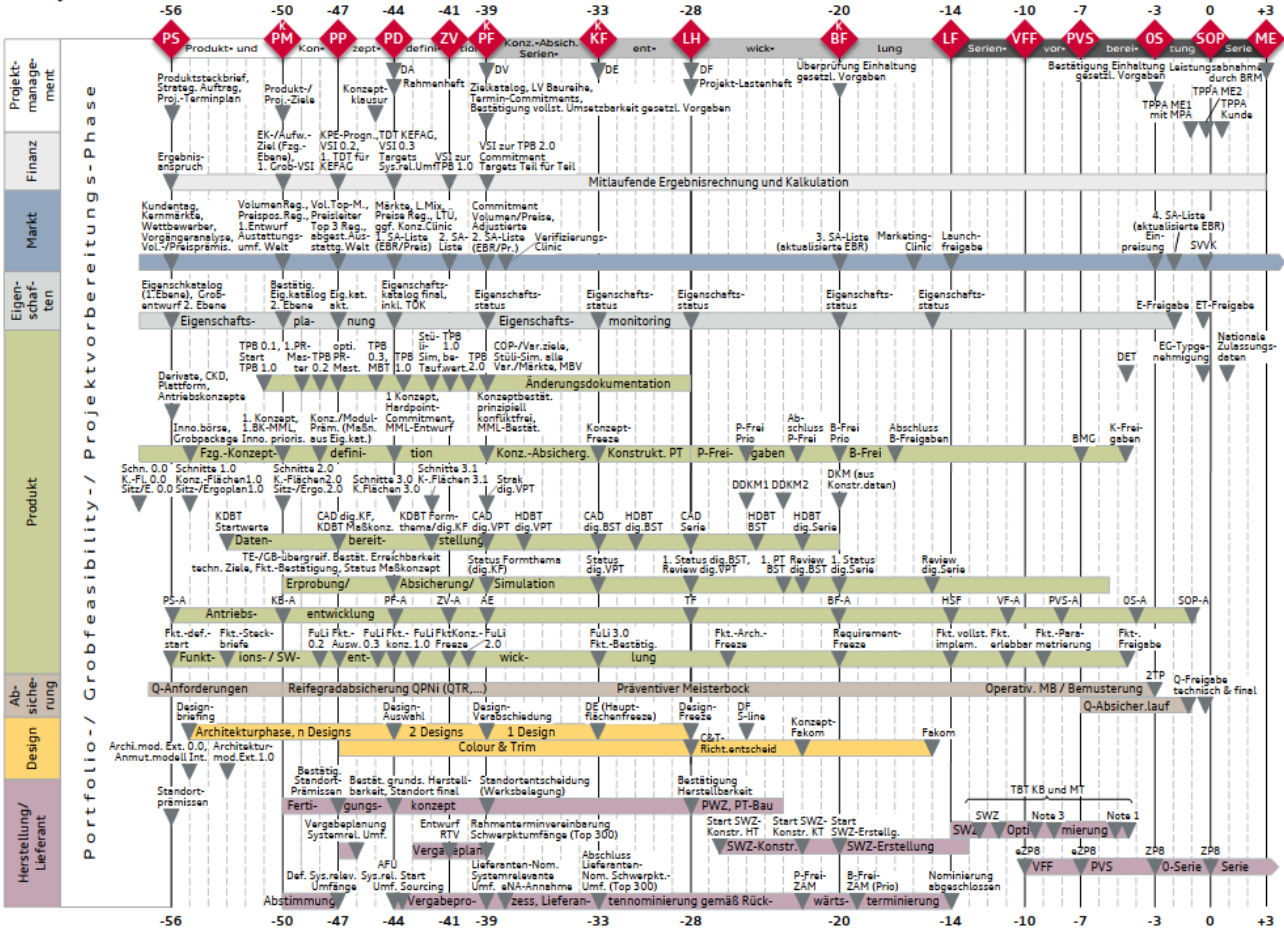
<b>Anhang 1: MasterPEP und Gesamtverbundmanagement .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Anhang 2: Organigramm VSC .....</b>	<b>XIX</b>
<b>Anhang 3: Inbetriebnahmekonzept D5 - Prozessorte .....</b>	<b>XX</b>
<b>Anhang 4: DL24 Kontextdiagramm .....</b>	<b>XXI</b>
<b>Anhang 5: Fehlerverläufe C8, D5 und D5 gesamt (ProTIX) .....</b>	<b>XXII</b>
<b>Anhang 6: Referenzverlauf D5 zu B9 .....</b>	<b>XXIII</b>
<b>Anhang 7: Steckbriefe M1 - M9.....</b>	<b>XXIV</b>
<b>Anhang 8: Datenbestellprozess .....</b>	<b>XXIX</b>
<b>Anhang 9: Ausführlicher Ablauf des Prüfalgorithmus .....</b>	<b>XXX</b>
<b>Anhang 10: Beispiel eines Leerteils anhand einer Batterie.....</b>	<b>XXXII</b>
<b>Anhang 11: Bewertungsmatrix (Original) .....</b>	<b>XXXIII</b>

Anhang 1: MasterPEP und Gesamtverbundmanagement

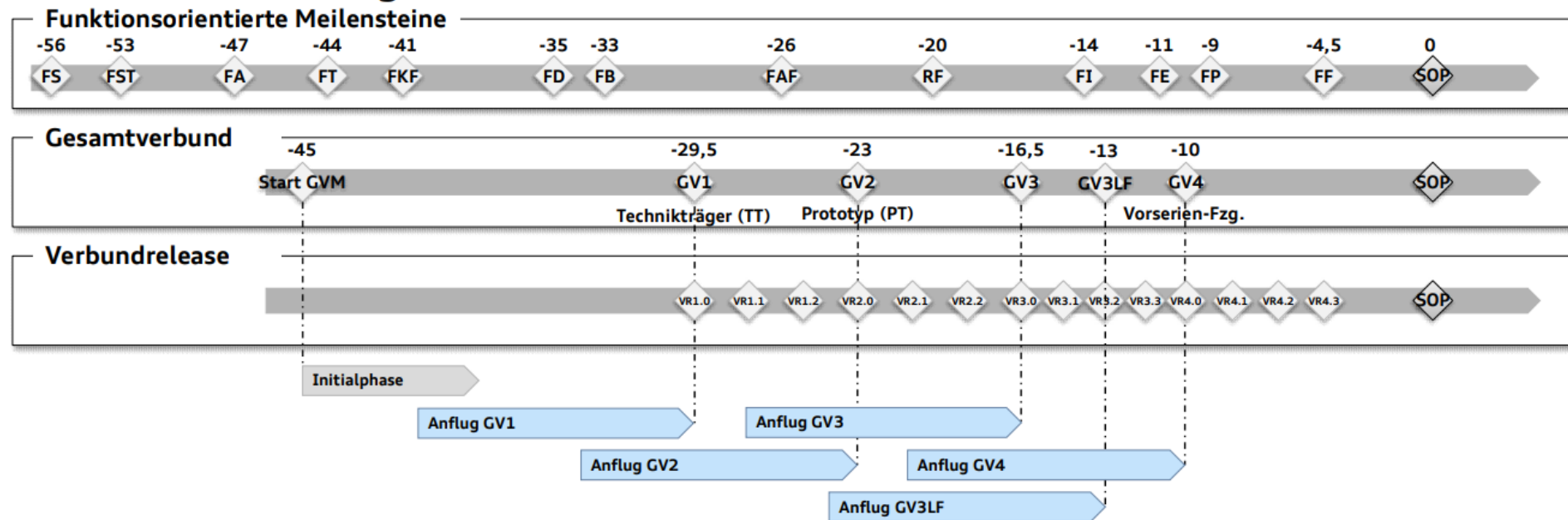
Regelablauf zum Produktentstehungsprozess (MasterPEP)

für Projekte mit PS ab 2017

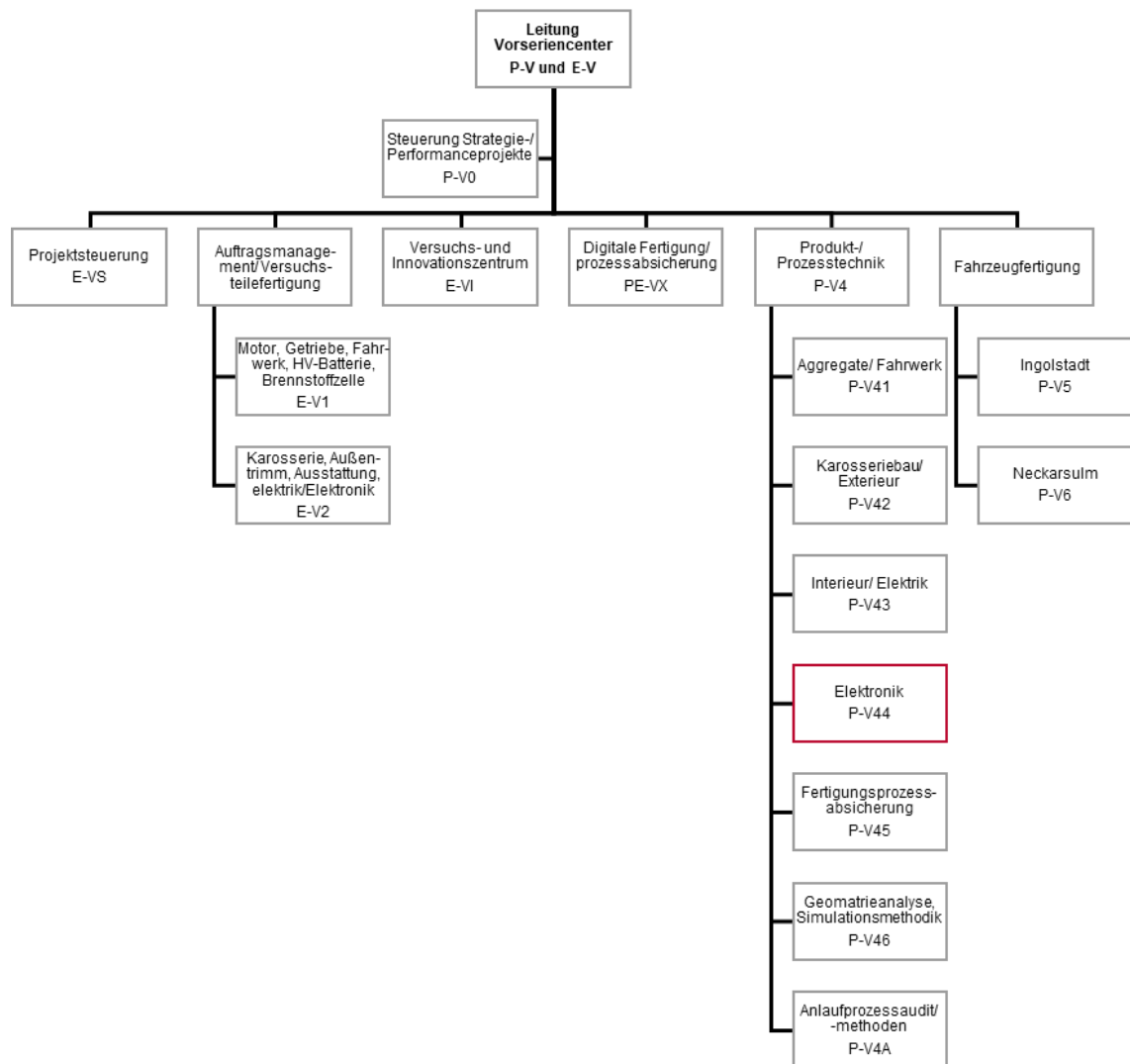
Release 2018 Stand 01.01.2018



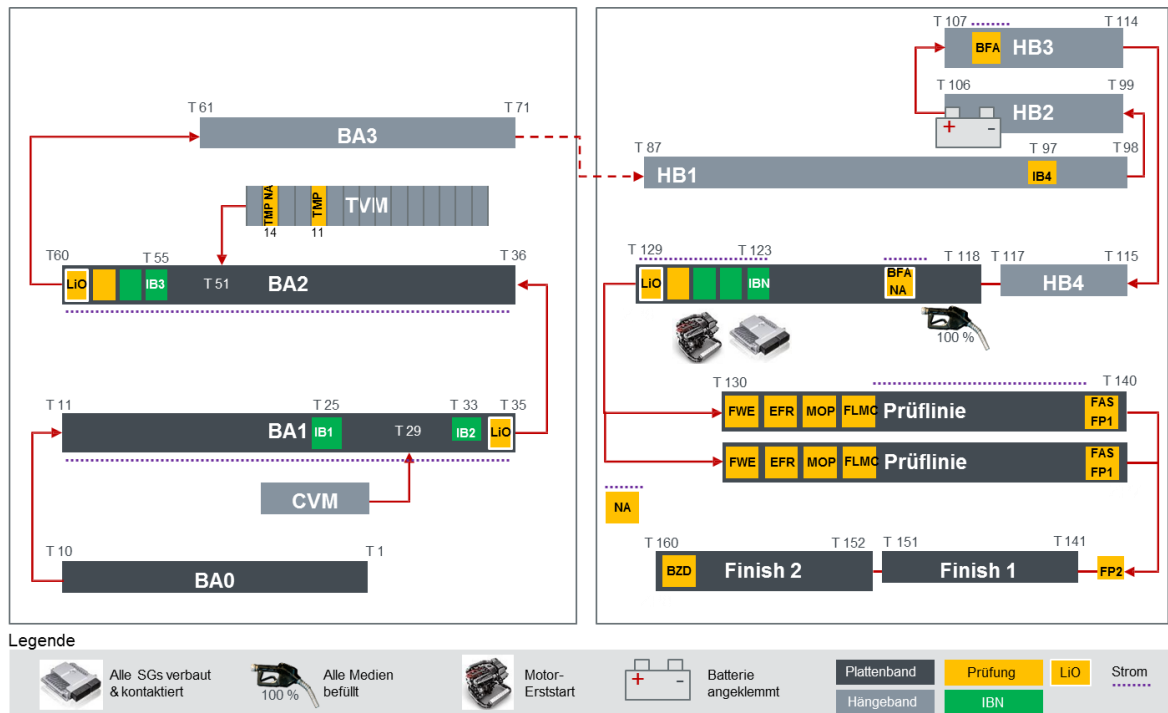
## GVM-Phasen: Anflug auf einen Gesamtverbund



## Anhang 2: Organigramm VSC

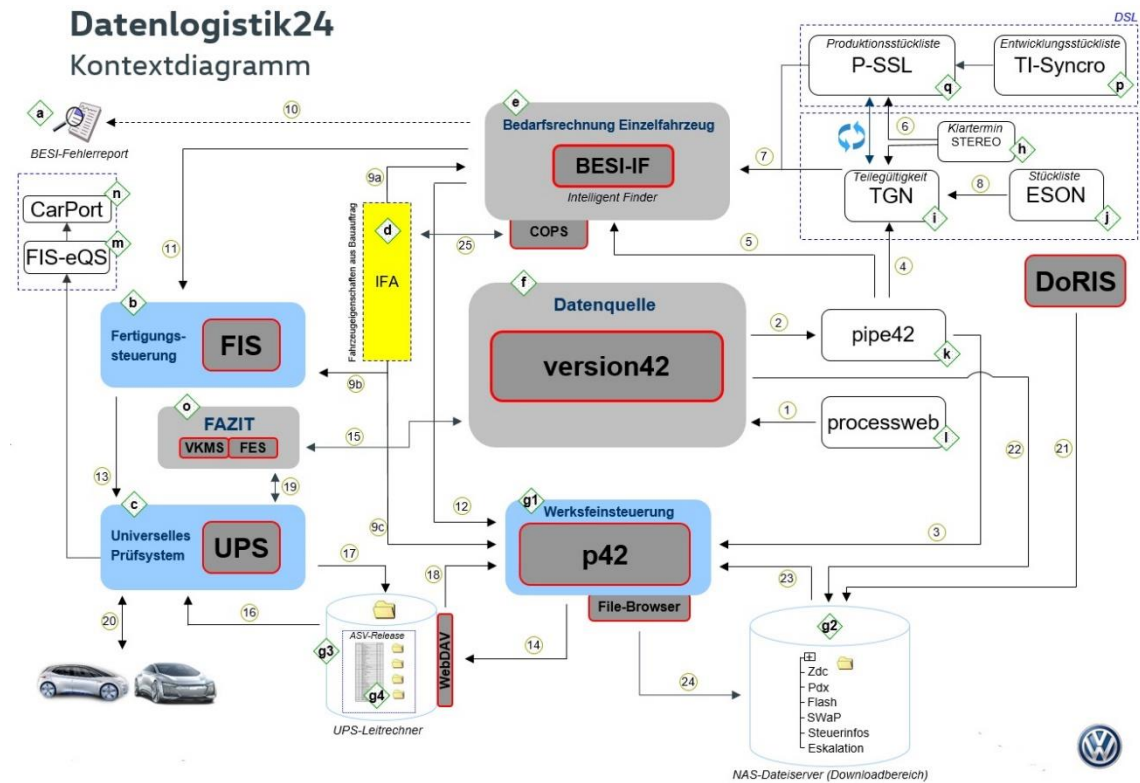


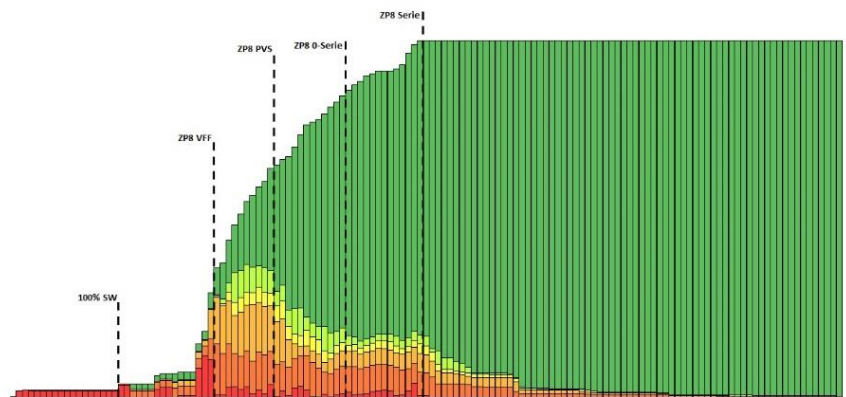
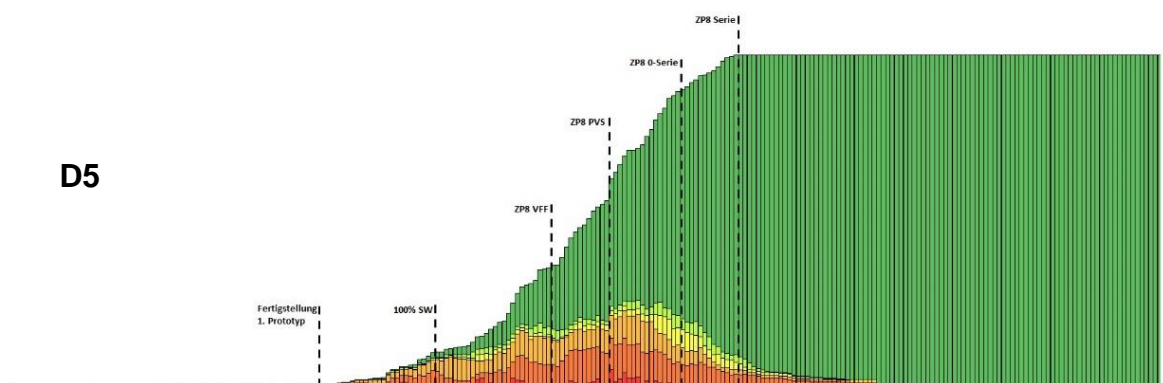
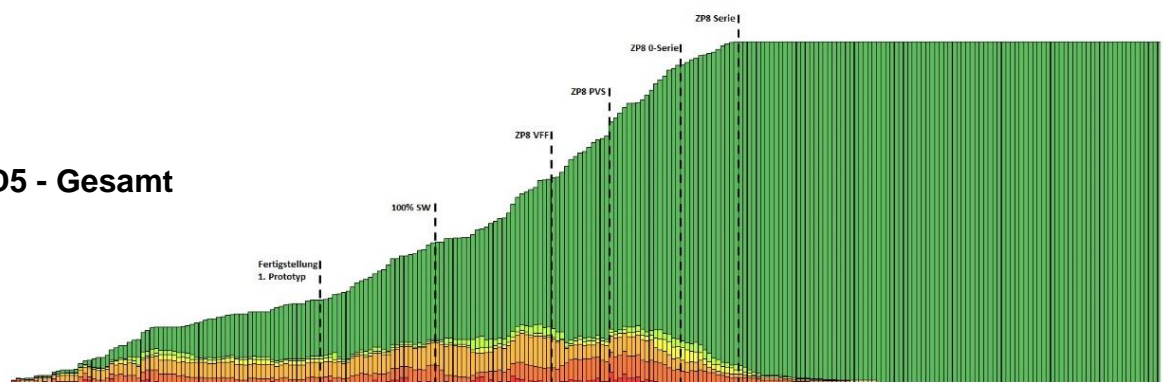
### Anhang 3: Inbetriebnahmekonzept D5 - Prozessorte



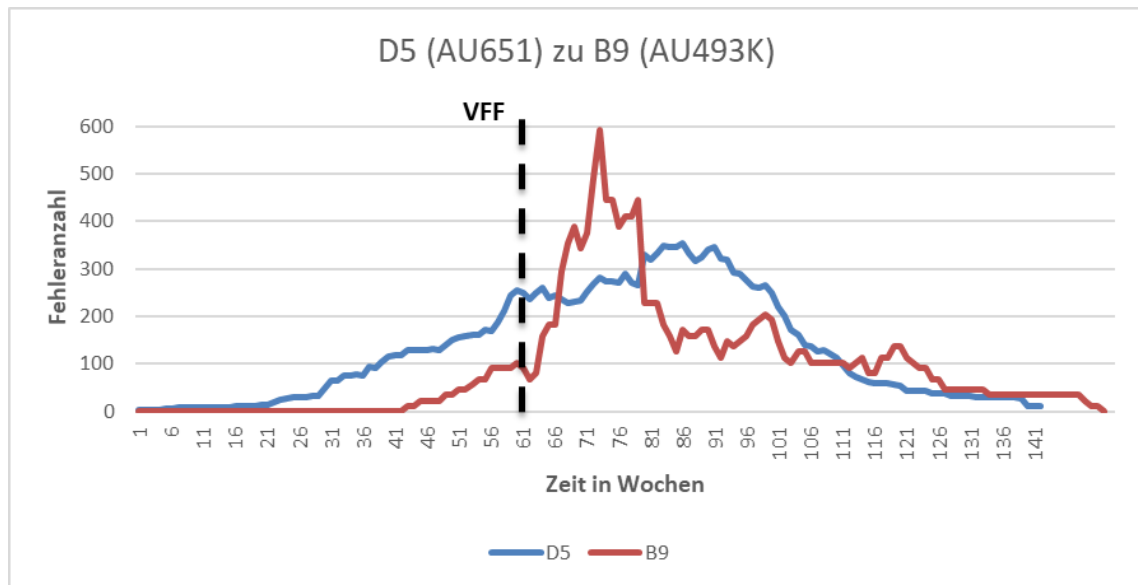
<b>BFA</b>	Befüllung
<b>BZD</b>	Bandzustandsdokumentation
<b>CVM</b>	Cockpitvormontage
<b>EFR</b>	Einfahrrolle
<b>FAS</b>	Fahrassistenzsysteme
<b>FLMC</b>	Top View Kalibrierung
<b>FP1/2</b>	Straßenfahrt
<b>FWE</b>	Fahrwerkeinstellstand
<b>IB1-4</b>	Inbetriebnahme 1-4
<b>IBN</b>	Inbetriebnahme
<b>LiO</b>	Linienintegrierte Optimierung
<b>MOP</b>	Motorprüfung
<b>NA</b>	Nacharbeit
<b>TMP</b>	Türmodulprüfung
<b>TVM</b>	Türevormontage

## Anhang 4: DL24 Kontextdiagramm



**Anhang 5: Fehlerverläufe C8, D5 und D5 gesamt (ProTIX)****C8****D5****D5 - Gesamt**



**Anhang 6: Referenzverlauf D5 zu B9**

## Anhang 7: Steckbriefe M1 - M9

Handlungsfeld	M1 - Verantwortungsübernahme GV2	Produkt- & Prozessfehler
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Standortübergreifende frühe Phase nicht existent Kein Prozessstandard definiert => Dadurch deutlich abweichende Arbeitsweise	
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige Verantwortungsübernahme des Standort-VSC ab GV2</li> <li>• Fest im Prozess Verankern</li> <li>• Aufbau der Fahrzeuge ab GV2 am produzierenden Standort</li> <li>• Überführung aller P-relevanten Fehler in den FAP ab GV2</li> </ul>	
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vollständige Produktbeeinflussung der Fahrzeugprojekte in der frühen Phase GV2</li> <li>• Nutzung des FAP und dessen Vorteile in der frühen Phase</li> <li>• Effizienzsteigerung innerhalb der Produkt- und Prozessabsicherung serienrelevanter Fehler</li> <li>• Verbesserte Kapazitätsplanung</li> <li>• Insgesamt mögliche Kostensenkungen (vgl. Rule of Ten)</li> </ul>	
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	Lediglich Prozessuale Änderung + Mehraufwand durch frühe Phase	
<b>Änderungszeitraum:</b>	theoretisch kurzfristig	
<b>Abhängigkeiten:</b>	Lediglich vom Management. Ist eine politische Entscheidung	

Handlungsfeld	M2 - Kooperation Planung	Produkt- & Prozessfehler
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Standortübergreifende frühe Phase nicht existent Die Planung arbeitet auf Eigeninitiative effizienter als der Meilensteinplan und kann somit Vorabstände zur Verfügung stellen, noch bevor der Meilenstein laut Prozess erreicht ist.	
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der Vorabstände zur gemeinsamen Absicherung und Verifikation</li> <li>• Gemeinsames Prüfen serienrelevanter Prüftechnik, Prüfprogramme und Inhalte bezüglich der Prozessorte in der frühen Phase</li> <li>• Definition gemeinsamer, iterativer Tests vor offizieller Verfügbarkeit nach Meilenstein.</li> <li>• Einbindung der Produktplaner (Marke) in die frühe Phase.</li> </ul>	
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schaffen einer WinWin-Situation zur Kooperation</li> <li>• Frühzeitige Beeinflussung von Produkt, Prozess und den verwendeten Prüfmitteln</li> <li>• Allgemeine Effizienzsteigerung der Absicherung</li> </ul>	
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	Lediglich Prozessuale Änderung + Mehraufwand durch frühe Phase	
<b>Änderungszeitraum:</b>	theoretisch kurzfristig	
<b>Abhängigkeiten:</b>	Lediglich vom Management. Ist eine politische Entscheidung	

Handlungsfeld	<b>M3 - Kooperation Aufbau</b>	Produkt- & Prozessfehler
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Standortübergreifende frühe Phase nicht existent In Ingolstadt stehen Fahrzeuge nur im finalen Zustand zur Verfügung	
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufbauten in der frühen Phase durch das Standort-VSC</li> <li>• Gegenseitige Unterstützung hinsichtlich Fehlererkennung sowie -abstellung</li> <li>• Reale IBN-Simulation durch iterative Teilaufbauten und Inbetriebnahme</li> <li>• Nutzung des Wissens &amp; Erfahrung des Aufbaus hinsichtlich der Prozessorte</li> </ul>	
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frühzeitige Beeinflussung von Produkt, Prozess und den verwendeten Prüfmitteln</li> <li>• Explizite Nutzung der Inbetriebnahmeorte in der frühen Phase</li> <li>• Allgemeine Effizienzsteigerung der Absicherung</li> <li>• Frühere Erkenntnis von Prozessproblemen auch bei Prototypenlosen Anläufen</li> </ul>	
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	Lediglich Prozessuale Änderung + Mehraufwand durch frühe Phase	
<b>Änderungszeitraum:</b>	theoretisch kurzfristig	
<b>Abhängigkeiten:</b>	Lediglich vom Management. Ist eine politische Entscheidung	

Handlungsfeld	<b>M4 - PASTA</b>	Produktfehler
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Unvollständige Stückliste über alle Fahrzeugprojekte Fundament des DBP ist instabil	
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der Stücklistenprüfungen innerhalb PASTA</li> <li>• Definition eines Standards / einer verpflichtenden Arbeitsanweisung</li> <li>• Empfehlung einer unabhängigen Kapazitätsbewertung</li> </ul>	
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lückenlose Stückliste (Aktuell ca. 230 bekannte Lücken beim D5)</li> <li>• Basis für DBP gegeben (Soll Umfänge der ASP allumfassend abdecken)</li> <li>• Mehraufwand (5-20%) in Elektronik vermeidbar</li> <li>• Variierende Mehrkosten pro Fahrzeugprojekt (Q5-Anlauf ca. 400T€) vermeidbar</li> </ul>	
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	Lediglich eine prozessuale Änderung => theoretisch kostenlos	
<b>Änderungszeitraum:</b>	Abhängig vom Management. Theoretisch nahezu null..	
<b>Abhängigkeiten:</b>	Lediglich vom Management. Ist eine politische Entscheidung	

Handlungsfeld	M5 - Aufbausteuerung Händisch	Produktfehler
Problem/Ist-Zustand	Geringe Varianzabdeckung in der Serienentwicklung	
Kurzbeschreibung:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Herausarbeiten relevanter PR-Nummern-Umfänge für die Elektronik je Fachteam</li> <li>• Absprache möglicher und wichtiger Konfigurationen für die Elektronik</li> <li>• Übergabe der Umfänge an Aufbausteuerung, sodass diese in die Vorserie einfließen</li> </ul>	
Chancen:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevante Umfänge für die Elektronik könnten im Anlauf abgedeckt werden</li> <li>• Die Varianzabdeckung in der Vorserie steigt</li> <li>• Positive Beeinflussung der Fehlererkennung von Produktfehlern</li> </ul>	
Umsetzungs- & Betriebskosten:	Mehraufwand für VSC Elektronik + Aufbausteuerung	
Änderungszeitraum:	Lösbar via Eigeninitiative; Theoretisch nahezu null..	
Abhängigkeiten:	Abhängig von der Aufbausteuerung (Kapazität & Wille)	

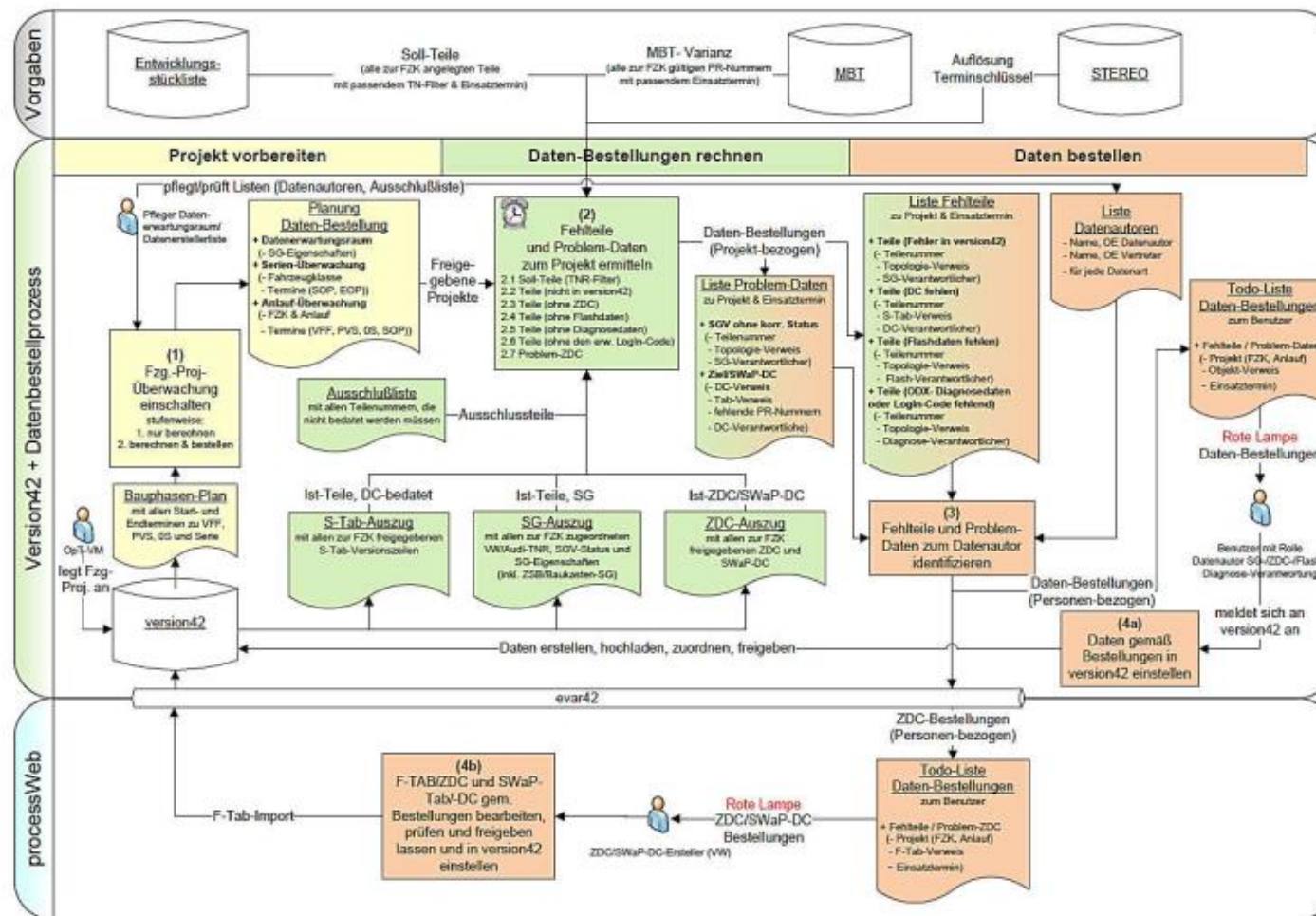
Handlungsfeld	M6 - Aufbausteuerung via CoRE	Produktfehler
Problem/Ist-Zustand	Geringe Varianzabdeckung in der Serienentwicklung	
Kurzbeschreibung:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der Anbindung von Avx an CoRE</li> <li>• Nutzung der Funktion „Relevante Umfänge speichern“ (für Besteller)</li> <li>• Nutzung weiterer Services und Rechenlogik von CoRE</li> <li>• Ausbau einer Rechenlogik, welche bestehende Möglichkeiten nutzt um die Aufbausteuerung effizienter zu machen</li> </ul>	
Chancen:	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relevante Umfänge für alle/viele Fachbereiche könnten abgedeckt werden</li> <li>• Erhöhung der Varianzabdeckung mit hohem Automatisierungsgrad</li> <li>• Fehlererkennung von Produktfehlern könnte deutlich ansteigen</li> <li>• Mehrfachnutzerfahrzeuge durch Algorithmus generierbar</li> </ul>	
Umsetzungs- & Betriebskosten:	Einmalige Umsetzungskosten. Sollten jedoch gering ausfallen.	
Änderungszeitraum:	Da bereits einige Umfänge des Ansatzes realisierbar => kurz-mittel	
Abhängigkeiten:	Abhängig vom Management, ob das Budget freigegeben wird	

Handlungsfeld	<b>M7 - Begleitung der Testinstanz HiL</b> <b>Produktfehler (Zukunftsorientiert)</b>
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Stagnierende Aufbauten & PT-lose Anläufe (langfristig)
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Begleitung der Testfälle an der Testinstanz HiL mit Fehlerdokumentation</li> <li>• Gemeinsame Absprache auftretender Fehler an der Simulationsumgebung ab GV1/GV2</li> <li>• Absprache mit I/EE-I31 bezüglich der Testingtermine</li> <li>• Bestimmung der/des Verantwortlichen</li> </ul>
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorbereitung auf die Absicherung ab GV2 durch frühe Erkenntnisse am HiL</li> <li>• Kenntnis über Fehler und gezieltes Suchen nach Fehlern am realen Fahrzeug möglich</li> <li>• Verifikation des Modells (Modellfehler vs. realer Fehler)</li> <li>• Schaffen einer WinWin-Situation + einer langfristigen Kooperation</li> </ul>
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	Kosten durch Reise nach IN + Mehraufwand
<b>Änderungszeitraum:</b>	Lediglich eine Absprache notwendig, um die Maßnahme zu verankern => theoretisch kurzfristig
<b>Abhängigkeiten:</b>	Abhängig von der Verfügbarkeit der Kollegen am HiL und der Testfälle

Handlungsfeld	<b>M8 - Eigenes Simulationsmodell</b> <b>Produkt- &amp; Prozessfehler (Zukunftsorientiert)</b>
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Stagnierende Aufbauten & PT-lose Anläufe (langfristig)
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zentraler Betrieb eines eigenen physischen Modells mit Simulationsumgebung</li> <li>• Testen der Serienprüftechnik und Prozessorte an der Simulationsumgebung.</li> <li>• Entwicklung und Aufbau eines auf ITEM basierenden physischen Modells</li> <li>• Erstellung eines Lastenhefts für die Simulationsumgebung</li> <li>• Berücksichtigung schneller Umbau- und Konfigurationszeiten</li> <li>• Schulung der Mitarbeiter</li> </ul>
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der Serienprüftechnik an einem Modellaufbau mit Simulationsumgebung</li> <li>• Modellbasierte Absicherung von Produkt- und Prozessrelevanten Themen</li> <li>• Möglichkeit fehlender Aufbauten zu kompensieren</li> <li>• Varianzabdeckung (soweit technisch möglich) der fehlenden Aufbauten</li> </ul>
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	Einmalige Umsetzungskosten + langfristige Betriebskosten
<b>Änderungszeitraum:</b>	Größeres Projekt => langfristig
<b>Abhängigkeiten:</b>	Abhängig vom Management, ob das Budget freigegeben wird. Betrieb zeigt keine Abhängigkeiten

<b>Handlungsfeld</b>	<b>M9 - Dezentrales Simulationsmodell    Produkt- &amp; Prozessfehler (Zukunftsorientiert)</b>
<b>Problem/Ist-Zustand</b>	Stagnierende Aufbauten & PT-lose Anläufe (langfristig)
<b>Kurzbeschreibung:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dezentraler Betrieb eines eigenen physischen Modells mit Simulationsumgebung</li> <li>• Testen der Serienprüftechnik und Prozessorte an der Simulationsumgebung.</li> <li>• Gemeinsame Entwicklung und Aufbau eines auf einer Karosse basierenden physischen Modells</li> <li>• Erstellung eines Lastenhefts für die Simulationsumgebung mit Kooperationspartnern</li> <li>• Berücksichtigung schneller Umbau- und Konfigurationszeiten</li> <li>• Schulung der Mitarbeiter</li> </ul>
<b>Chancen:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzung der Serienprüftechnik an einem Modellaufbau mit Simulationsumgebung</li> <li>• Kooperationsmöglichkeit mit GQ-N54 &amp; GQ-N43, künftige Kooperationspartner denkbar</li> <li>• Varianzabdeckung (soweit technisch möglich) der fehlenden Aufbauten</li> <li>• Aufteilung der Kosten auf verschiedene Fachbereiche</li> <li>• Das Modell hat Wachstumspotential, falls es erfolgreich ist</li> </ul>
<b>Umsetzungs- &amp; Betriebskosten:</b>	(Einmalige Umsetzungskosten + langfristige Betriebskosten) / (Anzahl Partner)
<b>Änderungszeitraum:</b>	Größeres Projekt => langfristig
<b>Abhängigkeiten:</b>	Abhängig vom Management, ob das Budget freigegeben wird. Betrieb zum Teil abhängig von anderen Fachbereichen (Absprache)

## Anhang 8: Datenbestellprozess



## Anhang 9: Ausführlicher Ablauf des Prüfalgorithmus

### DBP-Vorbereitungsphase

#### Step 1 = Filterung Daten **passend zur Fahrzeugklasse**.

- Aus S-Tabs + SWaP-S-Tabs TNR von ZDCs und SWaP-DCs auf Grundnummern reduzieren.
- TNR von SG(zur FZKL zugeordnet via prod. Anlauf & Diagnoseadresse) auf Grundnummern reduzieren.
- ZSB & Baukästen TNR die solche SG nutzen auf Grundnummern reduzieren.

#### Step 2 = Springe in Stüli und finde **Soll-Teile** (=Teile in FZKL die zu bestimmten Termin mit Daten versorgt werden müssen) für Überprüfung

- Finde alle Einträge mit passenden Grundnummern aus Step 1 mit korrektem Einsatztermin
- Reduziere Teile um Ausschlusssteile (Es gibt Teile, die nicht im Rahmen des Datenbestellprozesses mit Daten zu versorgen sind, die aber aufgrund der Selektion Mittelgruppe-Endnummer vom DBP (fälschlich) als Steuergeräte in der Stückliste erkannt werden.)

#### Step 3 = Klartermine an S-TAB

- SG-TNR zugehörigen S-TAB-Zeilen ermitteln + wenn FZKL in mehreren Werken dann Zeilen\*Werkanz
- Falls in S-TAB Zeile Tegü mit Veroderung => Aufbrechen und einzelne, eindeutige Zeilen erstellen
- MBT-Check. PR-Nummern möglicherweise überdefiniert (wird in Werk so nicht gebaut) => gegen MBT prüfen ob baubar.
- Für ermittelte S-TAB-Zeilen (eindeutig pro Werk & PR-NR-Kombi) Klartermine aus STEREO ziehen
- Wenn Einsatztermin = Entfalltermin => raus.

### DBP-Prüfungsphase

#### Step 1 = Daten in v42 vollständig?

- Soll-Teile in v42 hinterlegt?
- SG über GSG mit produktivem Anlauf & DA hinterlegt?
- Je SG eine SG-Version beantragt, die freigegeben & korrekten Termin hat

#### Step 2 = Fehlender ZDC

- Ist zu ZDC-relevanten-SG-TNR mindestens ein ZDC zugewiesen?
- Ist dieser ZDC via S-TAB-Zeile (Terminschlüssel, FZKL, DA) für diese PR-NR-Kombi freigegeben?

#### Step 3 = Fehlender SWaP-DC

- Wie bei Step 2 nur mit SWaP-DC statt ZDC

#### Step 4 = Fehlende Flashdaten

- Ist zu jedem Flashdaten-relevanten-SG für jede SG-Version über seine SW-Version eine Flashdatei hinterlegt? (Mit Status: freigegeben)

#### Step 5 = Fehlende SG-Version



- Ist zu jedem SG zur relevanten Bauphase die korrekte SG-Version freigegeben?

#### Step 6 = Fehlende ODX-Daten

- SG-TNR fehlerbehaftet, wenn zu einer/mehreren SG-Version (produktionsrelevant), welche ODX-relevante SW verwenden keine ODX-Daten eingestellt und/oder freigegeben sind

## Anhang 10: Beispiel eines Leerteils anhand einer Batterie

MHEV – Batterie => Wird bei PR-Nummer 0K4 verbaut => Wird bei 0K3/0K0 nicht verbaut

	Materialnummer	Knotenname	Positionsvariante	S...	S...	...	Typ	Knoten Bezeichnung	Produkt-ID	Klasse	Fahrzeugklasse	Teilebenenn...	Beziehungswissen	Einsatzschlüssel	Einsatztermin Serie	Entfallschlüssel	Entfalltermin Serie
1	4N0915105B	915_105_0001	00000100	1	1		Z_ST	Batterie iHEV/MHEV	4N0	P65	4N0	BATTERIE	+VH2+0K4	E44600	28.08.2017		
2	4N0915105C	915_105_0001	00000200	1	2		Z_ST	Batterie iHEV/MHEV	4N0	P65	4N0	BATTERIE	+VH3+0K4	E44600	26.02.2018	AQ49260	26.02.2018
3	4N0915105D	915_105_0001	00000200	2	1		Z_ST	Batterie iHEV/MHEV	4N0	P65	4N0	BATTERIE	+VH3+0K4	AQ49260	26.02.2018		

PHEV – Batterie => Wird bei PR-Nummer 0K3 verbaut => Wird bei 0K4/0K0 nicht verbaut

	Materialnummer	Knotenname	Positionsvariante	S...	S...	...	Typ	Knoten Bezeichnung	Produkt-ID	Klasse	Fahrzeugklasse	Teilebenenn...	Beziehungswissen	Einsatzschlüssel	Einsatztermin Serie	Entfallschlüssel	Entfalltermin Serie
1	4N09151001	915_100	00000001	1	1		Z_ST	BATTERIE PHEV	4N0	P65	4N0		+0K0/0K4	E44600	28.08.2017		
2	4N09151001	915_100	00000200	1	1		Z_ST	BATTERIE PHEV	4N0	P65	4N0	BATTERIE	+K8B+0K3	21A167B	25.11.2019	AZF8783	25.11.2019
3	4N0915100K	915_100	00000200	2	1		Z_ST	BATTERIE PHEV	4N0	P65	4N0	BATTERIE	+K8B+0K3	AZF8783	25.11.2019	21A167A	21.06.2021
4	4N0915099	915_100	00000200	3	1		Z_ST	BATTERIE PHEV	4N0	P65	4N0	BATTERIE	+K8B+0K3	21A167A	21.06.2021		



Fehlende TNR = notwendiges Leerteil für PASTA

- Das Leerteil verhindert einen Fehlereintrag durch PASTA, da hierdurch alle PR-Nummernkombinationen vollständig sind.
- Das fehlende Leerteil bei der MHEV-Batterie würde einen Fehlereintrag ergeben.
- Dieser Fehlereintrag ist jedoch nützlich, um die Vollständigkeit der Stückliste zu garantieren.
- Der Knoten der PHEV-Batterie ist als vollständig einzustufen. Der Knoten der MHEV-Batterie ist unvollständig.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Änderungs- zeitraum	26	24	25	29	23	27	30	9	16
Kosten	27	27	28	30	19	27	25	8	15
Qualitative Ziele	29	26	26	18	25	29	9	14	17
Monetäre Ziele				11	23	29	8	12	13
Absicherungs- umfang	28	25	24						