

# **Ableitung von Anforderungen an das Flottenmonitoring am Beispiel des Hybridantriebsstrangs**

Masterarbeit  
Stefan Pichler, Bsc.

**Technische Universität Graz**

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Fahrzeugtechnik

Vorstand: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Peter Fischer

Betreuer: Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Univ.-Doz. Mario Hirz

**AVL List GmbH**

Betreuer: Dipl.-Ing. Michael Lebenbauer

Graz, im Dezember 2015

In Kooperation mit:

**AVL List GmbH**



## Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle all den Menschen danken, die mich über die gesamte Zeit meines Studiums und darüber hinaus unterstützt und begleitet haben. Ihr Zutun hat einen maßgeblichen Anteil am erfolgreichen Abschluss dieser Masterarbeit.

Vielen Dank an meine ganze Familie, insbesondere an meine Eltern Heidemarie und Manfred Pichler, die mich zu jedem Zeitpunkt unterstützt haben.

Ganz besonderer Dank gilt vor allem meiner Lebensgefährtin Michaela Zarfl, die zu jeder Zeit für mich da war und immer an mich geglaubt hat.

Weiters danke ich meinem Betreuer bei der AVL List GmbH, Herrn Dipl.-Ing. Michael Lebenbauer, sowie meinem Betreuer von Seiten der TU-Graz Herrn Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Univ.-Doz. Mario Hirz, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Danke auch an Herrn Dipl.- Ing. Helmut Puschnig, Herrn Dipl.- Ing. Karl Heinz Rom, Herrn Dipl.- Ing. Dr. Michael Hammer, Herrn Ali Abbas Khan, Herrn Dipl.- Ing. Helmut Goiginger, Herrn Dipl.- Ing. Dr. Johannes Schauer, Frau Dipl.- Ing. Petra Grün, Herrn Dipl.- Ing. Helfried Rybin, Dr.-Ing Michael Maletz und all die anderen, die mich seitens der AVL List GmbH unterstützt haben.

Abschließend gilt mein Dank all jenen, welche hier nicht namentlich erwähnt wurden, mir jedoch in meiner gesamten Studienzeit zur Seite standen.

## EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 10.12.2015

Stefan Pichler  
Stefan Pichler

## STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

10.12.2015  
date

Stefan Pichler  
Stefan Pichler

## Kurzfassung

Das Erfassen und Auswerten von fahrzeugspezifischen Messdaten im Zuge des Flottenmonitorings ist aus der Entwicklung moderner Fahrzeugkonzepte nicht mehr wegzudenken. Die in Versuchsfahrten ermittelten Daten bilden für den Entwicklungsingenieur eine unerlässliche Grundlage und tragen erheblich zur Verbesserung der entwickelten Fahrzeugkonzepte bei. Einer der wichtigsten Bereiche im Flottenmonitoring beinhaltet Überlegungen hinsichtlich der Art und der Anzahl der zu erfassenden Daten. Hier stehen sowohl entwicklungspezifische als auch kundenspezifische Aspekte im Fokus der Betrachtung. Überlegungen, welche Anforderungen an das Flottenmonitoring gestellt werden und auf welchen Wegen diese zu ermitteln sind, rücken mehr und mehr ins Zentrum der Betrachtung. Die AVL List GmbH erweitert ständig ihre Kompetenzen hinsichtlich dieser Thematik.

Im Laufe der Entwicklung von Fahrzeugen kommt es zum Einsatz einer Vielzahl unterschiedlicher Analysen und Methoden, welche die Zuverlässigkeit des zu entwickelnden Produkts schon in frühen Entwicklungsphasen sicherstellen sollen. Dabei handelt es sich beispielsweise um risikobasierte Analysen, Anforderungsdokumente oder Teststandards. Diese Methoden beinhalten umfangreiches produktspezifisches Wissen, welches in Form von Dokumenten und Berichten bereits zu einem frühen Zeitpunkt in der Entwicklung existiert.

In der vorliegenden Masterarbeit werden verschiedene Möglichkeiten untersucht, um dieses gebundene Wissen zur Ermittlung von relevanten Messgrößen für das Flottenmonitoring zu nutzen.

Die Grundlage zur Umsetzung dieser Abhandlung bilden Dokumentationen und Analysen aus der Antriebsstrangentwicklung eines Hybridfahrzeuges bei der AVL List GmbH.

Der erste Teil dieser Studie enthält allgemeine Informationen zu Flottenuntersuchungen, den ausgewerteten Analysen bzw. Methoden und dem analysierten Antriebsstrangkonzzept. Im zweiten Teil findet eine Untersuchung der vorliegenden Analysen und Methoden statt und es wird der Ablauf zur Ableitung von relevanten Messgrößen hinsichtlich des Flottenmonitorings erläutert. Abschließend kommt es zu einer Gegenüberstellung der einzelnen Auswertungsergebnisse und zu einem Abgleich mit einem Referenzergebnis.

## **Abstract**

Acquiring and analyzing vehicle-specific data within the framework of fleet monitoring has become an essential and irreplaceable element in the development of cutting-edge vehicle concepts. The data collected through test drives poses as the crucial foundation for further development by the designing engineer and contributes considerably to the improvement of the developed vehicle concepts. One of the most significant fields within fleet monitoring includes considerations regarding the type as well as the quantity of the data to be collected. The focus is being placed on development- as well as customer-specific aspects. Deliberations on the requirements of fleet monitoring and on how they can be determined are becoming increasingly important. The AVL List GmbH is constantly expanding its competences within this area. In the process of developing vehicles, a multitude of various analyses and methods are being applied, which are designed to guarantee the reliability of the product already during its early developmental stages. These methods include, for instance, risk-based analyses, requirements documents or testing standards, all of which entail comprehensive product-specific knowledge already existing during the early stages of development in the form of documents and reports.

This master thesis provides different options on how to make use of this knowledge in determining relevant measured variables for fleet monitoring. The analysis is based on documentations and analyses of the powertrain development of a hybrid vehicle of the AVL List GmbH.

The first part of this study consists of general information on fleet analysis, its evaluations and the analysed powertrain concept.

The second part of this paper provides an analysis of the previously discussed methods as well as an illustration on how to determine relevant measured variables regarding fleet monitoring. In conclusion, the different outcomes will be compared individually among each other as well as against an overall reference result.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	Aufgabenstellung .....	1
1.2	Ziel der Masterarbeit .....	2
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen der Masterarbeit</b> .....	<b>3</b>
2.1	Überblick über das Flottenmonitoring .....	3
2.1.1	Grundlagen bezüglich Datenlogger .....	4
2.1.2	Datenübertragung im Flottenmonitoring .....	6
2.2	Relevante Analysen und Dokumentationen im Bereich der Zuverlässigkeit.....	7
2.2.1	Definition von Zuverlässigkeit.....	7
2.2.2	Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse .....	8
2.2.3	Design Verification Plan and Report.....	19
2.2.4	Grundlagen bezüglich der Requirements .....	22
2.2.5	Verifikation und Validierung.....	25
2.2.6	Anordnung der Methoden im V-Model .....	26
2.2.7	Überlegung zum Zusammenhang der Methoden.....	27
2.2.8	Grundlagen des Paretoprinzips .....	29
2.3	Grundlagen zum Hybridantrieb.....	31
2.3.1	Motivation für Hybridantriebe.....	31
2.3.2	Prinzip der Hybridantriebe .....	32
2.3.3	Betriebsmodi .....	34
2.3.4	Start/Stopp-Funktion .....	37
2.3.5	Hybridisierungsgrade .....	39
2.3.6	Antriebskonfigurationen.....	42
<b>3</b>	<b>Analytischer Teil der Masterarbeit</b> .....	<b>52</b>
3.1	Beschreibung des zu analysierenden Systems .....	52
3.1.1	Aufbau des analysierten P2-Modul.....	53
3.2	Überblick zum projektbezogenen Flottenmonitoring .....	54
3.2.1	Aufbau des Flottenmonitoringprozesses.....	54
3.2.2	Überblick zu möglichen Datenerfassungsarten im Fahrzeug .....	55
3.2.3	Auswertung im Flottenmonitoring mittels AVL Concerto™ .....	57
3.3	Auswertung - FMEA .....	58
3.3.1	FMEA-Struktur und Aufbau im Projekt.....	58

---

3.3.2	Analyse der FMEA-Daten.....	63
3.3.3	FMEA-Messkanalliste.....	79
3.4	Auswertung-DVP&R.....	81
3.4.1	DVP&R-Struktur und Aufbau im Projekt .....	81
3.4.2	Analyse der DVP&R-Daten .....	83
3.4.3	DVP&R-Messkanalliste .....	85
3.5	Auswertung der Requirements .....	88
3.5.1	Analyse der Requirement-Daten .....	88
3.5.2	Requirement-Messkanalliste .....	90
3.6	Standard-Messkanalliste .....	92
3.6.1	Ziel der Standard-Messkanalliste .....	92
3.6.2	Standard-Messkanalliste .....	92
3.7	Gegenüberstellung der Auswertungen in Messgrößenmatrix .....	94
3.7.1	Messgrößenmatrix -Struktur und Aufbau.....	94
3.7.2	Messgrößenmatrix .....	95
<b>4</b>	<b>Abgleich der Ergebnisse.....</b>	<b>96</b>
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>97</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>101</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>104</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>106</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>107</b>



# 1 Einleitung

Die Ermittlung von fahrzeugspezifischen Daten in realen Flottenuntersuchungen hat einen wesentlichen Einfluss auf die Entwicklung eines Fahrzeuges. Welche und wie viele Messgrößen im Zuge dieser Untersuchungen erfasst und ausgewertet werden, ist dabei eine essentielle Überlegung. Die vorliegende Masterarbeit beschäftigt sich mit der Ableitung relevanter Messgrößen aus ausgewählten Analysen und Methoden der Entwicklung.

Die Erstellung dieser Studie erfolgt in Zusammenarbeit mit der AVL List GmbH sowie dem Institut für Fahrzeugtechnik der TU Graz.

## 1.1 Aufgabenstellung

Im Zuge der Entwicklung von Antriebskonzepten kommen eine Vielzahl von Analysen und Techniken zum Einsatz, welche zur Steigerung von Qualität und Zuverlässigkeit sowie zur früheren Erkennung potentieller Fehler beitragen. Diese Untersuchungen beinhalten eine umfangreiche Menge an entwicklungspezifischen Daten und Informationen und liegen in entsprechenden Dokumenten gebündelt vor.

Ein weiterer essentieller Schritt in der Entstehung moderner Fahrzeuge ist die Ermittlung von Messdaten aus Flottenversuchen. Diese Untersuchungen ermöglichen dem Entwicklungsingenieur Zugang zu Informationen, welche Aufschluss über das Verhalten entwickelter Systeme im realen Umfeld geben. Die Basis für das Flottenmonitoring bilden die bei den Testfahrten zu erfassenden Messgrößen. Die Ermittlung der als relevant anzusehenden Messgrößen ist ein wesentlicher und teils aufwendiger Bereich in der Planung von Flottenuntersuchungsprozessen. Diese Planung benötigt neben allgemeinem Expertenwissen auch spezifisches Wissen hinsichtlich des zu untersuchenden Systems.

Eine mögliche Ableitung von relevanten Messgrößen für das Flottenmonitoring aus den bereits vorhandenen Zuverlässigkeitsdokumenten und Analysen kann eine wesentliche Unterstützung bei der Planung von Flottenuntersuchungen neuartiger Konzepte darstellen.

## **1.2 Ziel der Masterarbeit**

Im Rahmen der hier vorliegenden Masterarbeit kommt es zur Untersuchung vorhandener Analysen aus dem Bereich der Zuverlässigkeit, wie der Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse, dem Design Verification Plan und Dokumenten des Requirementsengineering. Dabei werden diese Analysen hinsichtlich ihrer Informationen und der Möglichkeit zur Ableitung relevanter Anforderungen für das Flottenmonitoring aufbereitet und analysiert.

Das Ziel der Masterarbeit ist die Erarbeitung von eindeutigen und nachvollziehbaren Abläufen zur Ableitung der relevanten Messgrößen auf Basis der genannten Analysen. Im Fokus der Betrachtung steht ein in der AVL List GmbH entwickeltes Antriebsstrangsystem eines Hybridfahrzeuges, auf welches die entworfenen Überlegungen exemplarisch angewandt werden.

Eine projektbezogene Anwendung der kreierten Methoden, die Erstellung einzelner analysespezifischer Messgrößenlisten und der Abgleich mit Fachexperten der AVL List GmbH werden dadurch ermöglicht.

## 2 Theoretische Grundlagen der Masterarbeit

Die in diesem Kapitel erläuterten theoretischen Grundlagen sollen zu einem besseren Verständnis der im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Analysen und Methoden führen.

### 2.1 Überblick über das Flottenmonitoring

Bei der Entwicklung eines Fahrzeuges zur Marktreife stellen Flottenversuche ein wichtiges Werkzeug dar. Diese Art von Untersuchungen liefert essentielle Messdaten und Hinweise zur Technologieentwicklung aus dem realen Alltagsbetrieb. Im Zuge der Flottenversuche kommt es zur Erweiterung der bereits vorhandenen Fahrzeugelektronik der Versuchsfahrzeuge durch zusätzliche Sensorik und Datenlogger. Dadurch wird einerseits die Umsetzung präventiver Maßnahmen für einen ungestörten Fahrzeugbetrieb ermöglicht und andererseits kann durch das gewonnene Datenmaterial die Weiterentwicklung der Technologien vorangetrieben werden.

Die Versuchsflotte der Daimler-Brennstoffzellenfahrzeuge kann hier als Beispiel erwähnt werden. Im Zuge dieser Untersuchungen wird mehrmals pro Sekunde eine Vielzahl von relevanten Parametern in einem dafür geeigneten Datenspeicher protokolliert. Kommt es zum Auftreten eines vorher nicht definierten Ereignisses, beispielsweise zu einem ungewöhnlichen Temperaturanstieg in einer Komponente, hat man die Option darauf zu reagieren und die Anzahl der erfassten Parameter noch um den Faktor 10 zu steigern. Wenn nach abgeschlossener Testfahrt das Fahrzeug wieder zurück zum Stützpunkt des Betreibers kommt, werden die ermittelten und gespeicherten Daten etwa mittels Funkübertragung ausgelesen und via Internet an einen zentralen Server geleitet, wie in Abbildung 1 ersichtlich ist. Durch Einsatz eines speziellen Data-Mining-Verfahrens kann ein Rechner selbstständig Zusammenhänge erkennen sowie eine Bewertung zur Beurteilung bestimmter Fragestellungen ermitteln. Eine schnelle Analyse der riesigen Datenmengen sowie eine Herausfilterung der komplexesten Fehlerquellen und Zusammenhänge sind dadurch möglich.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik / Hans Hermann Braess, Ulrich Seiffert / Springer Vieweg Verlag / 7. Auflage 2013 / Seite 183

Der Aufbau und die Organisation einer Versuchsflotte können von Betreiber zu Betreiber variieren. Die Unterschiede liegen meist in der Art und Weise der Datenerfassung, Datenspeicherung, Datenübertragung und Auswertung.

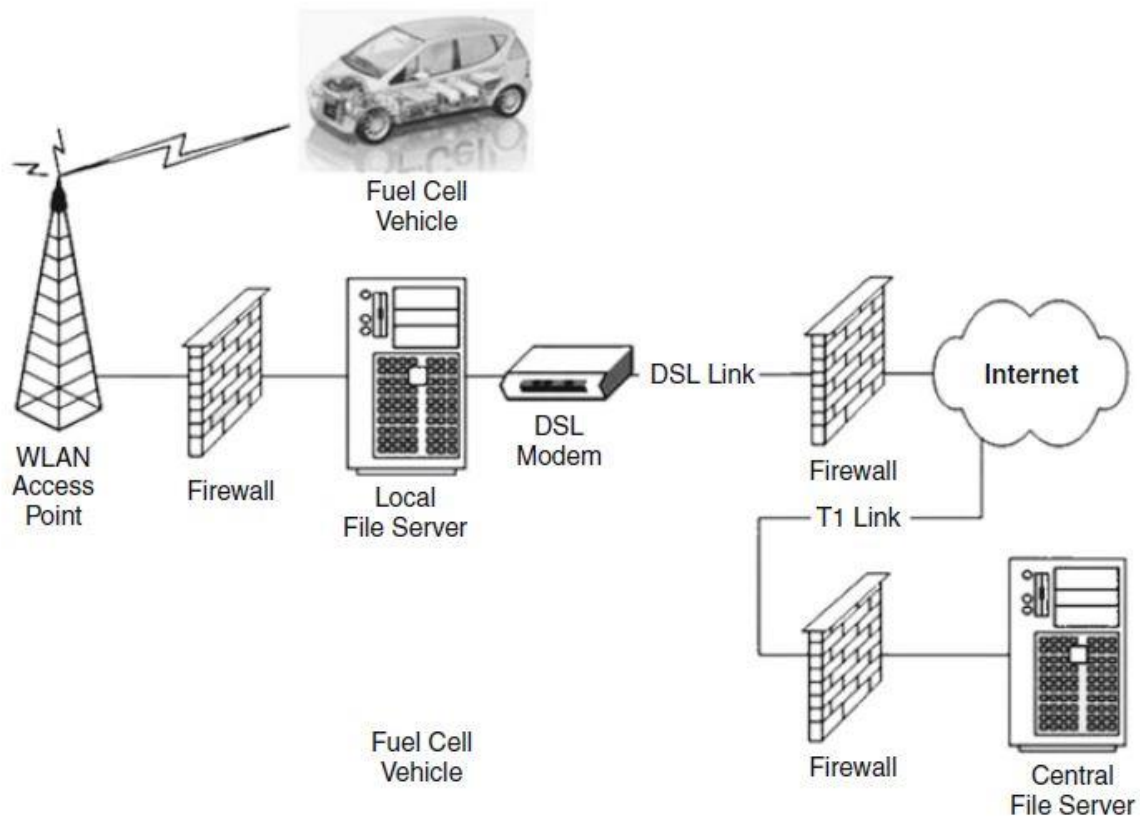


Abbildung 1: Datenübertragungsschema am Stützpunkt, Daimler-Brennstoffzellenfahrzeugflotte<sup>2</sup>

### 2.1.1 Grundlagen bezüglich Datenlogger

Ein wesentlicher Bereich des Flottenmonitorings ist die Sammlung bzw. Speicherung der gewonnenen Messdaten im Fahrzeug. Bei Flottenversuchen erfolgt dies in der Regel mittels Datenloggern.

Bei einem Datenlogger handelt es sich um eine prozessorgesteuerte Speichereinheit. Diese Einheit ermöglicht eine Aufnahme von Daten über eine Schnittstelle in einem bestimmten Rhythmus sowie die Speicherung auf einem geeigneten Medium. Die zu loggenden Informationen können dabei in analoger oder digitaler Form vorliegen. Der Unterschied liegt dabei nur in der Aufbereitung der Informationen. Im Allgemeinen besteht ein Datenlogger aus einem Speichermedium, einem programmierbaren

<sup>2</sup> Vgl. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, 2013, Seite 185

Mikroprozessor, mehreren Anschlusskanälen für Datenquellen (z.B. Sensoren) sowie mindestens einer Schnittstelle. Bei der Datenaufnahme wird zwischen internen und externen Schnittstellen unterschieden. Man spricht von einer internen Schnittstelle, wenn der Datenlogger beispielsweise mit einem Sensor (z.B. Temperaturfühler) eine Einheit bildet. Über diese interne Schnittstelle werden die Informationen des Sensors an den Datenlogger übertragen und aufgezeichnet. Weiters verfügt jeder Datenlogger über mindestens eine externe Schnittstelle. Dieses Interface ermöglicht die Datenaufnahme bzw. die Datenabgabe aus der oder an die Umgebung. Die gebräuchlichsten Schnittstellen sind hier RS232, CAN oder USB.<sup>3</sup>

Das Aufgabenspektrum eines Datenloggers hat sich vor allem im Automotive-Bereich in den letzten Jahren stark erweitert. Dabei liegt der Fokus in erster Linie auf den Funktionen eines modernen Datenerfassungssystems sowie der Frage, wie man damit Testfahrten so effizient wie möglich durchführen kann.

Es kommt von Fahrzeuggeneration zu Fahrzeuggeneration zu einer laufenden Zunahme der Vernetzungen von Funktionen im Fahrzeug. Der parallele Einsatz von Bussystemen und die Nutzung von Ethernet gewinnen immer mehr an Bedeutung. Datenlogger müssen eine immer breiter werdende Überbrückung zwischen den ständig wachsenden Vernetzungsanforderungen und den traditionellen Anforderungen wie beispielsweise Robustheit, kleiner Ruhestrom oder breiter Temperaturbereich schaffen. Weiters sollte ein Datenlogger ein gewisses Maß an Flexibilität aufweisen, um vom Vorserientest über die Serienuntersuchungen bis hin zum Einsatz zur Fehlersuche im Kundenfahrzeug eingesetzt werden zu können.

Ein moderner Datenlogger hat also zwei wesentliche Voraussetzungen zu erfüllen. Einerseits ist es wichtig, dass er über eine Vielzahl unterschiedlicher Schnittstellen verfügt. Idealerweise sollte ein moderner Datenlogger von WLAN über Ethernet bis hin zu Audio- bzw. Videosignale verarbeiten können. Der zweite wesentliche Aspekt ist, dass der Logger nicht nur zur Erfassung von Daten dient, sondern dass er im Optimalfall auch über die Fähigkeit verfügt, die gewonnenen Messwerte direkt für weitere Analysen aufzubereiten.

Ein moderner Datenlogger sollte eine einfach zu erweiternde und offene Architektur aufweisen, um auch zukünftigen Anforderungen entsprechen zu können. Dabei muss er jedoch trotzdem die fundamentalen Ansprüche an einen Datenlogger erfüllen.<sup>4 5</sup>

---

<sup>3</sup> Avisaro Homepage. Funktionsweise von Datenloggern

<sup>4</sup> Elektroniknet Homepage. Das leisten moderne Datenlogger

<sup>5</sup> Elektroniknet Homepage. Vom einfachen Datenspeicher zum effizienten Analysesystem

### 2.1.2 Datenübertragung im Flottenmonitoring

Neben der Datensammlung und Speicherung ist auch die Übertragung dieser ermittelten Informationen eine wichtige Anforderung an das Flottenmonitoring. Nur durch eine geeignete Übergabeart kann die Fahrzeugentwicklung von den gesammelten Daten profitieren. In der Regel sind die Platzverhältnisse im Fahrzeuginnen eher beschränkt und so ist es nicht vermeidbar, dass Datenlogger oftmals an schwer zugänglichen Stellen verbaut werden. Die Montage erfolgt beispielsweise unter dem Beifahrersitz, in einem Staufach oder im Kofferraum. Dadurch ist eine an diese Gegebenheiten angepasste Wahl geeigneter Datenübertragungsarten Voraussetzung. Als mögliche und auch in der Praxis gebräuchliche Auslesemethoden gelten hier je nach Verbauort und Zugriffsmöglichkeit USB-Schnittstellen, Ethernet oder auch eine Datenübertragung mittels Entnahme von CompactFlash-Karten. Weiters ist auch ein Zugriff auf die ermittelten Messdaten mit Hilfe von UMTS und bzw. oder WLAN vorteilhaft. Diese Eigenschaft ermöglicht neben dem Auslesen von Messdaten zusätzlich eine Anbindung von Tablets oder Smartphones. Durch eine solche Art der Verbindung erhalten beispielsweise begleitende Entwicklungsingenieure im Zuge einer Testfahrt eine parallele und frei konfigurierbare Onlineanzeige basierend auf Tablet, Smartphone oder Laptop.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Ipetronik Homepage. Vom Datenlogger zum Analysesystem

## 2.2 Relevante Analysen und Dokumentationen im Bereich der Zuverlässigkeit

Der nachfolgende Abschnitt soll zum besseren theoretischen Verständnis der für diese Masterarbeit benötigten relevanten Bereiche der Zuverlässigkeit dienen.

### 2.2.1 Definition von Zuverlässigkeit

Zuverlässigkeit wird wie folgt definiert:

*„Zusammenfassender Ausdruck zur Beschreibung der Verfügbarkeit und ihrer Einflussfaktoren Funktionsfähigkeit, Instandhaltbarkeit und Instandhaltungsbereitschaft“<sup>7</sup>*

In anderen Worten ausgedrückt handelt es sich bei Zuverlässigkeit um ein Maß, welches für die Fähigkeit eines Systems steht, funktionstüchtig zu bleiben. Es handelt sich somit um die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein betrachtetes System während einer gewissen Zeitdauer nicht versagen wird.<sup>8</sup>

---

<sup>7</sup> ÖNORM EN ISO 9000 / Qualitätsmanagementsysteme / Grundlagen und Begriffe / Dez. 2000 / Seite 26

<sup>8</sup> Humboldt Universität zu Berlin, Homepage, Zuverlässigkeit

## 2.2.2 Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse

Allgemein kommt es im Bereich der Risikoanalyse zum Einsatz einer Vielzahl unterschiedlicher Methoden. Alle diese Analysearten haben die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete und Abläufe. Die bekanntesten Methoden sind hierbei sicherlich die<sup>9</sup>

- FTA (Fehlerbaumanalyse)
- DoE (Design of Experiments)
- QFD (Quality Function Deployment)
- Ishikawa-Analyse
- ETA (Ereignisablaufanalyse)
- FMEA

Im Zuge dieser Masterarbeit liegt der Fokus auf der FMEA-Analyse. Der folgende Abschnitt soll einen grundlegenden Einblick in das Thema FMEA geben und zu einem besseren Verständnis für diese Analysetechnik führen.

### 2.2.2.1 Allgemeines zum Thema FMEA

Bei dem Begriff FMEA handelt es sich um eine sogenannte **Failure Mode and Effects Analysis**, zu Deutsch **Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse**. Unter Failure Mode versteht man in diesem Fall die sogenannten „potenziellen Fehler“ und Effects stehen für die „potenziellen Fehlerfolgen“. Der Teil der Analyse steht definitionsgemäß für eine Untersuchung, bei der das betrachtete Objekt bis zum Erreichen eines sicheren Zustandes in seine Bestandteile zerlegt und systematisch geordnet, untersucht und ausgewertet wird.

Die FMEA ist in der Entwicklung ein sinnvolles Werkzeug und hilft, ein Produkt bzw. eine Aufgabe möglichst planbar, nachvollziehbar und zielorientiert umzusetzen. Durch eine äußerst strukturierte Vorgehensweise wird die Problemlösung unterstützt und es werden damit neue Denkansätze geschaffen. Man spricht auch von einer präventiven Qualitätssicherungsmethodik und Risikoanalyse.

---

<sup>9</sup> FMEA - Einführung und Moderation / Martin Werdich (Hrsg.) / VIEWEG+TEUBNER Verlag / 1.Auflage 2011 / Seite 121ff



*Es geht um verantwortungsvolles Handeln, etwas zu tun, bevor „das Kind in den Brunnen fällt“.*<sup>10</sup>

Die FMEA ist eine teamorientierte Methode, bei der Fachexperten die zuständigen Systeme analysieren und dadurch Fehler präventiv vermeiden. Sie kommt in der Regel bereits in einem frühen Stadium des Produktentstehungsprozesses zum Einsatz und untersucht den aktuellen Entwicklungs- oder Planungsstand hinsichtlich inhärenter Fehler. Im Fall der frühzeitigen Erkennung potenzieller Fehler ist es dann auch möglich, geeignete Maßnahmen zu deren Vermeidung einzuleiten. Dieses Vorgehen dient der Risikominimierung in den Planungs- bzw. Entwicklungsprozessen und begünstigt bzw. erfordert die interdisziplinäre Zusammenarbeit aller an diesem Prozess beteiligten Bereiche. Diese Methodik ermöglicht in weiterer Folge auch eine umfangreiche Dokumentation von Expertenwissen innerhalb des Unternehmens. Die Ausführung der FMEA erfolgt nach dem Projektplan und ist den Projekt-Meilensteinen gemäß nach dem Stand der Analyse zu beurteilen. Es ist sinnvoll, eine FMEA bereits zu einem frühen Zeitpunkt in der Konzeptphase durchzuführen, da diese zur Erfassung von wesentlichen Anforderungen dient und mit fortschreitender Entwicklung deutlich detaillierter werden kann.<sup>11</sup>

Abbildung 2 zeigt den erheblichen Einfluss des Fehlerentdeckungszeitpunktes auf die anfallenden Kosten.

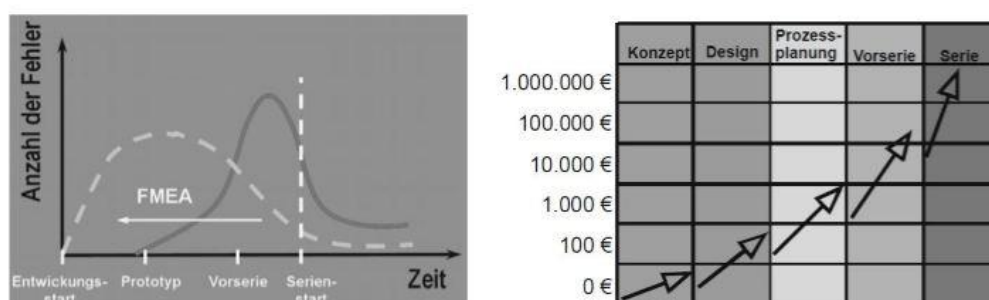


Abbildung 2: Einfluss des Entdeckungszeitpunktes auf die Kosten<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 1ff

<sup>11</sup> Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4 / VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E. V. (VDA) / Frankfurt/Main 2006 / Seite 10

<sup>12</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 3

### 2.2.2.2 Ziele der FMEA

Die Ziele einer FMEA entstehen im Wesentlichen aus den sich verändernden Einflussfaktoren einer Unternehmung. Faktoren wie Kostenoptimierung der Produkte und Prozesse, gesetzliche Produkthaftungen und natürlich die steigenden Qualitätsansprüche der Kunden prägen die Ziele einer FMEA. Im Grunde gibt es eine Vielzahl von Unternehmenszielen, für deren Erreichung eine FMEA-Analyse dienlich sein kann. Als allgemeine Beispiele gelten hierbei die Steigerung der Funktionssicherheit und Zuverlässigkeit von Produkten sowie von Prozessen, die Verkürzung von Entwicklungszeiten, störungsarme Serienanläufe, kundenorientierte Dienstleistungen sowie der Aufbau einer Wissensbasis im Unternehmen, um hier nur einige Möglichkeiten zu nennen.

In den folgenden Punkten werden die wesentlichen Ziele einer FMEA angeführt:<sup>13</sup>

- Erfassung von Produkthanforderungen auf Vollständigkeit, Verifizierbarkeit sowie Validierbarkeit.
- Erhebung von Forderungen in Bezug auf Fehlererkennung (Kundenbetrieb), hinsichtlich Diagnose/Service, Fahrerwarnung sowie fehlerbeherrschender Maßnahmen.
- Feststellung von Forderungen in Bezug auf Fehlererkennung bereits in der Entwicklung sowohl für Tests von Software- oder Hardwarekomponenten, Integrationstests sowie Fahrzeugerprobungen, andere Validierungs- bzw. Verifizierungsmaßnahmen und zur Unterstützung der Spezifikationen (Anforderungen an Bauteile, Komponenten, Subsysteme).
- Ermittlung von möglichen Fehlern durch die strukturierte Beschreibung des analysierten Systems, eine Eingliederung des analysierten Systems in das Gesamtsystem und die damit verbundene Betrachtung der erforderlichen Schnittstellen zu anderen Systemen, Betrachtung des Systemverständnisses zwischen Entwicklungspartnern sowie Anregungen hinsichtlich möglicher Optimierungen und alternativer Realisierungen.

---

<sup>13</sup> Vgl. Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, 2006, Seite 9ff

### 2.2.2.3 Bezeichnungen und Arten der FMEA

Prinzipiell gibt es eine Vielzahl von FMEA-Bezeichnungen. Abbildung 3 gibt einen Überblick über die verschiedenen Begriffe.

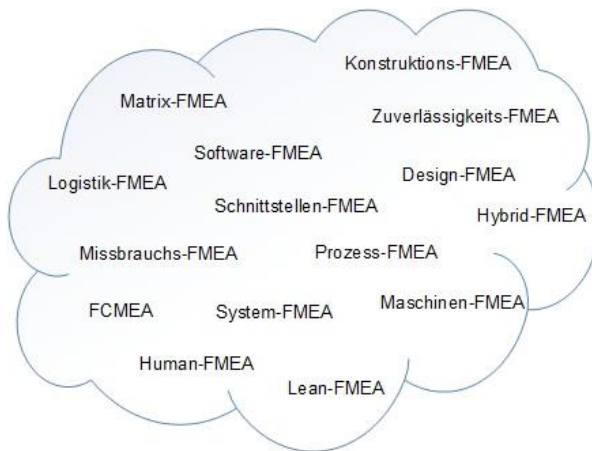


Abbildung 3: FMEA-Bezeichnungen<sup>14</sup>

Der Großteil der Begriffe bezeichnet das, was in dem jeweiligen Fall im Fokus der Betrachtung liegt. Die vielen verschiedenen Ausdrücke sind nur selten richtungsweisend für das bessere Verständnis und Ziel der Bezeichnungsfindung. Es seien hier jedoch die wichtigsten Arten bzw. Bezeichnungen aufgeführt, wie die

- **Konstruktions-FMEA**  
Bei einer Konstruktions-FMEA oder auch Design-FMEA erfolgt die Fehlerbetrachtung nur auf Bauteilebene (Hardwareansatz).
- **Produkt-FMEA**  
Bei einer Produkt-FMEA handelt es sich um eine Weiterentwicklung der Konstruktions-FMEA. Im Zuge dieser FMEA werden Teile, Teilsysteme sowie komplette Systeme betrachtet. Eine andere Bezeichnung für eine Produkt-FMEA ist die sogenannte System-FMEA Produkt.
- **Prozess-FMEA**  
Im Zuge einer Prozess-FMEA kommt es zu einer Betrachtung von Prozessen; dabei kann es sich um Herstellungsprozessen als auch Planungsprozessen handeln.

<sup>14</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 11

Im Grunde gibt es jedoch als oberste Einteilung nur zwei unterschiedliche Sichtweisen und zwar die Betrachtung von Funktionen in der Produkt-FMEA sowie die Betrachtung von Abläufen in der Prozess-FMEA.

Im folgenden Abschnitt wird auf die beiden Analysevarianten Produkt-FMEA sowie Prozess-FMEA näher eingegangen.

### 2.2.2.3.1 Produkt-FMEA

Im Bereich der Produkt-FMEA kommt es zu einer Betrachtung der Funktionen von Systemen sowie Produkten bis hin zur Ebene der Auslegung der Eigenschaften und Merkmale. In der Regel wird bei einer FMEA versucht, Systeme, Subsysteme und Bauteilbetrachtungen in mehreren Ebenen aufzubauen. Es ist jedoch auch möglich, das System in einzelne FMEAs aufzuteilen; diese Vorgehensweise ist vor allem bei weniger EDV-Unterstützung, weniger geübten FMEA-Anwendern sowie bei komplexen Systemen sinnvoll.

Es kommt bei einer FMEA in erster Linie zu einer Betrachtung der möglichen Abweichungen sowie zur Definition von Maßnahmen zur Sicherstellung der Funktionen.

Im Rahmen der Produkt-FMEA ist es prinzipiell möglich, diese in den verschiedensten Phasen des Lebenszyklus eines Produkts durchzuführen. Grundsätzlich seien hier die möglichen Phasen, in denen eine Produkt-FMEA durchgeführt werden kann, erwähnt, nämlich die

- Produkt-FMEA in der Konzeptphase  
Analyse des Produktes bzw. des Produktentwurfes in Bezug auf die Erfüllung der festgelegten Funktionen (Pflichtenheft)
- Produkt-FMEA Konstruktion  
Analyse der System- bzw. Bauteilfunktionen im Design
- Produkt-FMEA Systemebene Entwicklung  
Analyse der Systemfunktionen der Designphase (Detaillierung bis Subsystem) sowie der Fehlermöglichkeiten
- Produkt-FMEA Systemebene Kundenbetrieb  
Analyse der Systemfunktionen im Betriebszustand bzw. Kundenbetrieb
- Produkt-FMEA Systemebene Service  
Analyse der Systemfunktionen im Bereich des Services

### 2.2.2.3.2 Prozess-FMEA

In der Prozess-FMEA kommt es zu einer Betrachtung der wertschöpfenden Abläufe, die zur Herstellung von Produkten und Systemen dienen, bis hin zu anfallenden Anforderungen an die Prozesseinflussfaktoren. Im Fokus stehen die jeweiligen möglichen Abweichungen der geforderten Funktionen. Weiters kommt es zu einer Definition der Maßnahmen zur Sicherstellung der Produktionsmerkmale und Abläufe.<sup>15</sup>

### 2.2.2.4 Zeitliche Einordnung von FMEA-Arten

Unterschiedliche Begrifflichkeiten sind immer wieder der Grund für Diskussionen, wann und wie welche FMEA eingesetzt werden soll. Um ein gewisses Maß an Übersichtlichkeit in den FMEAs sicherstellen zu können, ist es oftmals von Vorteil, mehrere FMEAs aufzubauen. Wird die Analyse zur richtigen Zeit und auf die korrekte Art und Weise angewandt, so kann Doppelarbeit verhindert werden und es entsteht ein Mehrwert für alle Projektbeteiligten.<sup>16</sup>

Abbildung 4 gibt Aufschluss über die zeitliche Einordnung der Analyse-Arten.

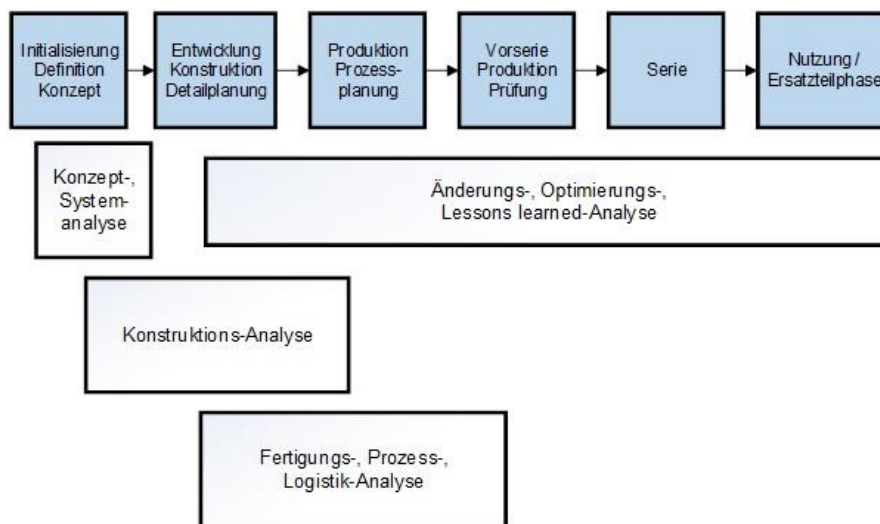


Abbildung 4: Zeitliche Einordnung der Analyse-Arten<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 11ff

<sup>16</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 16

<sup>17</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 16

### 2.2.2.5 Allgemeines Vorgehen zur Erstellung einer FMEA

Im folgenden Abschnitt wird das generelle Vorgehen bei der FMEA-Erstellung beschrieben. Hierbei seien die wesentlichen Schritte des Ablaufes erwähnt, wie<sup>18</sup>

#### 1. Datensammlung

Diese beinhaltet die Sammlung aller relevanten Daten, welche in Form von Stücklisten, Lastenheften, Vorschriften, Benchmarkergebnissen oder dergleichen vorliegen können.

#### 2. Definition der FMEA-Umfänge und Betrachtungstiefe

Diese erfolgt zum Beispiel mit Hilfe von Blockdiagrammen und der Part-Function-Matrix.

#### 3. Funktionsanalyse

Dient zur Analyse und Verknüpfung der Funktionen.

#### 4. Strukturanalyse

Diese Analyse dient dazu, beteiligte Elemente zu erfassen und zu strukturieren sowie um Funktionen zuzuordnen.

#### 5. Fehleranalyse

Dadurch werden anfallende Fehlfunktionen zugeordnet und verknüpft.

#### 6. Maßnahmenanalyse

Im Zuge dieses Schrittes kommt es zu einer Dokumentation und Bewertung des aktuellen Standes, um zukünftige Maßnahmen zu generieren.

#### 7. Optimierung

Hier kommt es durch weitere Maßnahmen zu einer Minimierung des Risikos und zu einer Bewertung des geänderten Standes.

---

<sup>18</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 19

Zur besseren und aktuelleren Darstellung der „best practice“ Reihenfolge dient Abbildung 5. Sie zeigt das sogenannte DGQ-Band (DGQ = Deutsche Gesellschaft für Qualität).

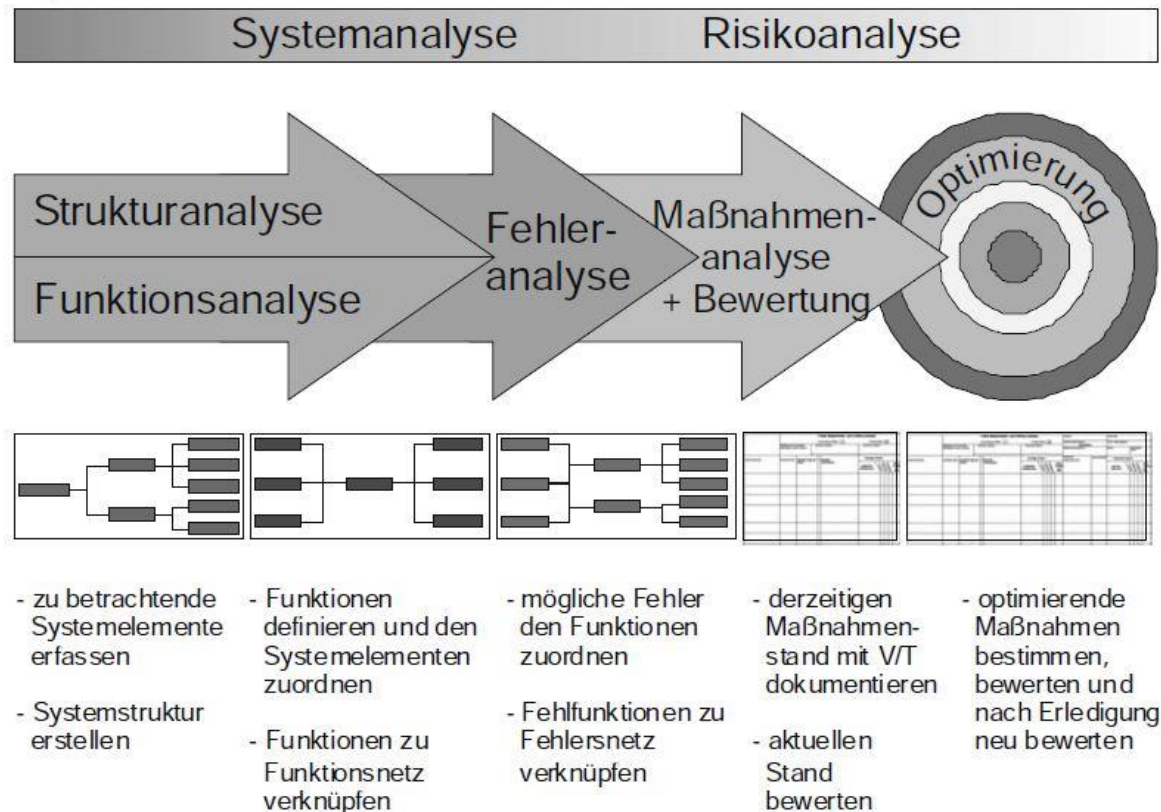


Abbildung 5: Vorgehensweise bei FMEA<sup>19</sup>

### 2.2.2.6 Maßnahmenanalyse

Um die im Zuge einer FMEA ermittelten Kennzahlen besser verstehen zu können, soll in diesem Abschnitt genauer auf die Maßnahmenanalyse eingegangen werden.

Mit dieser Analyse ist es möglich, Risiken und Arbeitsschwerpunkte zu identifizieren. Zunächst wird der aktuelle Stand dargestellt und bewertet. Bereits existierende sowie bereits festgelegte Maßnahmen werden Fehlfunktionen zugeordnet und dabei das jeweilige Risiko eingeschätzt. Hier stellt sich in erster Linie die Frage, wie und wo das Know-how des Unternehmens abgelegt ist und wie effektiv es zugänglich ist. Grundlegend gelten für die jeweiligen FMEA-Arten verschiedene Fragestellungen, nämlich

<sup>19</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 19



- System  
Welche Methoden sowie Maßnahmen kommen zurzeit zur Anwendung, um einen fehlerfreien Betrieb des Produktes zu ermöglichen?
- Konstruktion  
Welche Methoden sowie Maßnahmen kommen zurzeit zur Anwendung, um eine fehlerfreie Gestaltung des Produktes zu ermöglichen?
- Prozess  
Welche Methoden sowie Maßnahmen kommen zurzeit zur Anwendung, um eine fehlerfreie Produktion des Produktes zu ermöglichen?

Es wird prinzipiell zwischen zwei Maßnahmengruppen unterschieden: den Vermeidungsmaßnahmen und den Entdeckungsmaßnahmen.

Vermeidungsmaßnahmen sind dem optimalen Produkt insofern dienlich, als dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Fehlermöglichkeit verringert oder bestenfalls sogar völlig eliminiert werden kann. Diese Maßnahmen wirken präventiv und sollen dafür sorgen, dass die erkannte Fehlerursache über die gesamte Lebensdauer weniger wahrscheinlich wird.

Entdeckungsmaßnahmen dienen dazu, mögliche Fehlerursachen bzw. deren mögliche Folgen zu finden. Weiters sollen sie die Vermeidungsmaßnahmen bestätigen. In einer präventiven FMEA entdecken sie die Ursache bzw. deren Auswirkung schon bevor das Produkt zum externen oder internen Kunden gelangt.

Sowohl Vermeidungsmaßnahmen als auch Entdeckungsmaßnahmen müssen im Zuge einer FMEA eindeutig und nachvollziehbar beschrieben sein. Dies ist auch durch Verweis auf weitere relevante Dokumente, wie z.B. Arbeitsanweisungen, Qualitätsvorschriften, Versuchsergebnisse oder dergleichen möglich.<sup>20</sup>

### 2.2.2.7 Bewertung der Maßnahmen

Grundsätzlich werden alle Ursachen einzeln unter Berücksichtigung des aktuellen Standes der Abstell- sowie Entdeckungsmaßnahmen und deren Folgen hinsichtlich der vorherrschenden Risiken bewertet.

Diese Risikobewertung erfolgt nach den folgenden drei Kriterien:

- **B** = Bedeutung der Fehlerfolgen (engl.: S...Severity)
- **A** = Auftretenswahrscheinlichkeit der Fehlerursache (engl: O...Occurrence)
- **E** = Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache, -art, -folgen  
(eng.: D...Detection)

Die verwendeten Werte zur Bewertung umfassen jeweils einen Bereich von 1 bis 10. Dabei steht der Wert 1 für ein „geringes Risiko“ oder „sehr gut“. Die Bewertung mit 10 entspricht im Gegensatz dazu einem „hohen Risiko“ und ist somit als „sehr schlecht“ einzuordnen. Mit Hilfe dieser Einzelbetrachtungen sowie der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten dieser drei Faktoren kann eine Priorisierung vorgenommen werden.

Weiters ist es möglich, eine sogenannte Risikoprioritätszahl (RPZ / engl.: RPN = Risk Priority Number) zu bilden. Diese Risikoprioritätszahl entspricht dem Produkt der einzelnen Risikokriterien, also  $B * A * E$  und kann Werte zwischen 1 und 1000 annehmen.<sup>20</sup> Diese Risikoprioritätszahlen können beispielsweise zur Abschätzung von Risiken herangezogen werden und dienen zur Definition von Schwellenwerten. Weiters ist die Erstellung einer Rangfolge der Fehler möglich.<sup>21</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 41ff

<sup>21</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 99

### 2.2.3 Design Verification Plan and Report

In diesem Kapitel wird auf eine weitere Methode im Entwicklungsprozess eingegangen und zwar auf den Design Verification Plan and Report.

#### 2.2.3.1 Grundlagen Design Verification

Design Verification (Designverifizierung) ist ein wesentlicher Schritt in der Entwicklung eines Produktes. Alternativ wird die Design Verification auch als Qualifikationstest bezeichnet. Die grundlegende Aufgabe des Verfahrens ist die Sicherstellung, dass das konstruierte Produkt auch dem beabsichtigten Produkt entspricht. Somit laufen Projekte mit nicht abgeschlossener Design Verification Gefahr, Produkte zu generieren, welche nicht die Kundenerwartungen erfüllen. Dies kann letztendlich zu kostspieligen Designmodifikationen führen. Somit ist es zweckdienlich, Produkte in der Entwicklung Verifikationstests zu unterziehen.

Als Beispiel für sinnvolle Einsatzgebiete seien die Bereiche

- Konzeptphase bis zur Detailkonstruktion
- Spezifikationsentwicklung
- von der Detailkonstruktion bis zur Vorserie und
- Produktion

angeführt.

Prinzipiell kommt die Design Verification im Bereich der Testung von Prototypen zum Einsatz, jedoch kann dieses Werkzeug auch in anderen Untersuchungsbereichen Anwendung finden.

Es handelt sich dabei hauptsächlich um Gebiete der<sup>22</sup>

- Entwicklungstests  
Diese erfolgen mit Materialien, Modellen oder Baugruppen und dienen zur Bestimmung der Durchführbarkeit von etwaigen Konstruktionsideen und geben Aufschluss über die weitere Entwicklung der Konstruktion.

---

<sup>22</sup> Universität Calgary Homepage. Design Verification

- **Prototypentests**  
Die hier analysierten Entwicklungsbauteile sind dem endgültigen Produkt bereits sehr nahe. Die Testung dieser erfolgt in der Regel in Bereichen, welche über den herkömmlichen Einsatzbereichen liegen. Aus diesem Grund bewirken Prototypentests oftmals die Zerstörung der getesteten Objekte.
- **Beständigkeitstests**  
Auch hier kommen meist Prototypen zum Einsatz. Der Fokus der Untersuchung liegt dabei auf der Feststellung der Haltbarkeitsgrenze von Produkten und es kommt weniger zur Überprüfung von möglichen Spezifikationen.
- **Abnahmetests**  
Hierbei handelt es sich um eine Form der zerstörungsfreien Prüfung von Produktionseinheiten. In Abhängigkeit von der Schwere der Fehler, der Testkosten und der Menge der produzierten Einheiten wird unterschieden, was einer Prüfung unterzogen wird. Untersuchungen können dann beispielsweise an der Urproduktion, an Produkten, welche mittels statistisch festgelegtem Muster ausgewählt werden, oder an jedem einzelnen Produkt durchgeführt werden.

#### 2.2.3.2 Grundlagen des DVP&R

Bei einem **Design Verification Plan and Report**, kurz DVP&R, handelt es sich um eine Methode zur systematischen Planung und zur Dokumentation von Testaktivitäten in jeder Phase der Produkt- bzw. Prozessentwicklung. Diese Versuchsplanung erstreckt sich vom Beginn, also der Konzeptphase, bis hin zur Erlangung anhaltender Verbesserungen und somit zur Serieneinführung.

Bei einem effektiven DVP&R handelt es sich um ein präzises Arbeitsdokument, welches Ingenieuren in vielen Bereichen unterstützend zur Seite stehen kann, wie zum Beispiel bei<sup>23</sup>

- der Entwicklung von logischen Testabläufen durch die Forderung an die verantwortlichen Bereiche benötigte Tests gründlich zu planen und dadurch zu gewährleisten, dass die Komponenten oder das System alle Anforderungen erfüllen.
- der Sicherstellung, dass die Zuverlässigkeit des Produktes den Kundenzielen entspricht.
- dem Aufzeigen von Bereichen, in denen kundenbezogene Termine eine Beschleunigung des Testplanes erfordern.
- der Bereitstellung von Arbeitsinstrumenten für verantwortliche Bereiche, wie
  - Zusammenfassen der Funktionen, der Haltbarkeit und der Zuverlässigkeit von Testanforderungen und Ergebnissen in einem Dokument zur leichteren Referenzierung.
  - Bieten der Möglichkeit, Fortschrittsbericht und Test-Status leicht bereitzustellen.

Ein DVP&R soll, vereinfacht ausgedrückt, ein unterstützendes Instrument in der Produktentwicklung sein und eine systematische Versuchsplanung erleichtern. Mit Hilfe dieser Methode kann ermittelt werden, ob im Zuge eines Projektes korrekt spezifiziert wird. Es ist notwendig, die Entwicklungsergebnisse kontinuierlich zu prüfen, um festzustellen, ob diese in der Anwendung geeignet sind. Eine systematische Versuchsplanung ist hier unumgänglich. Verantwortlichkeiten, Termine, sowie Tests werden erfasst und eine Beurteilung der umgesetzten Tests wird somit ermöglicht. Der DVP&R dient auch zur Vorlage gegenüber den Auftraggebern und erbringt den Nachweis, dass die vom Kunden definierten Anforderungen des Pflichtenheftes erfüllt werden. Er erleichtert auch die ständige Einsicht aller Projektbeteiligten in Bezug auf den aktuellen Stand der Designverifizierung.

---

<sup>23</sup> Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP) / Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation / 1995 / Seite 83

Grundlegend sollten mit Hilfe des DVP&R alle Funktionen, Anforderungen, Spezifikationen aus der Gefahren-, Anforderungsanalyse oder FMEA zur Verfügung stehen. Damit wird ermöglicht, dass der gesamte Testing-Prozess im Entwicklungsprozess integriert ist.<sup>24</sup>

## 2.2.4 Grundlagen bezüglich der Requirements

Der nachfolgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Themengebiet der Requirements (Anforderungen) und dem damit einhergehenden Requirements Engineering und Management (RE&M).

Prinzipiell sei festgehalten, dass Projekte im Allgemeinen zur Lösung von Aufgaben dienen. Diese Aufgaben sind meist neuartig und somit in der Regel nicht standardisiert. Dadurch ist es notwendig, dass sich ein Projekt immer an spezifischen Anforderungen sowie deren Umsetzung orientiert. Diese Ausrichtung führt mit sich, dass der erhoffte Projekterfolg oftmals von der Qualität der Anforderungen und der damit verbundenen Qualität des Requirements Engineering abhängig ist.<sup>25</sup>

### 2.2.4.1 Definition Requirement

#### *„Anforderung*

*Erfordernis oder Erwartung, das oder die festgelegt, üblicherweise vorausgesetzt oder verpflichtet ist“<sup>26</sup>*

Unter einer Anforderung versteht man in der Technik definitionsgemäß eine Festlegung hinsichtlich einer zu erzielenden Leistung oder einer zu erfüllenden Eigenschaft eines Systems, Prozesses oder Produktes. Diese Anforderungen werden in einer Anforderungserhebung aufgenommen, spezifiziert und verifiziert.<sup>27</sup>

---

<sup>24</sup> Plato Homepage. DVP und R

<sup>25</sup> Requirements Engineering und Projektmanagement / Uwe Valentini, Rüdiger Weißbach, Ralf Fahney, Thomas Gartung, Jörg Glunde, Andrea Herrmann, Anne Hoffmann, Eric Knauss / Springer Vieweg Verlag / 2013 / Seite 1

<sup>26</sup> Vgl. ÖNORM EN ISO 9000, Grundlagen und Begriffe, Dez.2000, Seite 19

<sup>27</sup> Change Management bei Software-Projekten / Gerhard Versteegen / Springer Verlag / 2001 / Seite 17

### 2.2.4.2 Sichten auf Requirements

Man unterscheidet zwischen den folgenden drei Sichten auf Requirements (Anforderungen):

- Marktanforderungen

Handelt es sich um Anforderungen an ein Produkt aus Sicht des Kunden, so spricht man von Marktanforderungen. Diese Anforderungen werden oftmals auch als Benutzer-, Kunden-, Geschäftsanforderungen oder Bedürfnisse bezeichnet. Sie drücken in erster Linie aus, warum ein Projekt durchgeführt wird und bilden somit den Nutzen und die Erfahrungen mit diesem Produkt in der Sprache des Benutzers bzw. des Kunden ab. Die Spezifikation oder die Wahrnehmung des Kunden ist daher der einzige Maßstab für Erfüllungsgrad und Wert. Die Dokumentation der Anforderungen erfolgt im Lastenheft.

- Produktanforderungen

Im Fall von Produktanforderungen spricht man von Anforderungen an ein Produkt, welche aus der Sicht der Realisierung einer späteren Lösung betrachtet werden. Hierbei geht es um die Umsetzung der Marktanforderungen sowie der Kundenbedürfnisse an ein Produkt. Es wird beschrieben, was ein Nutzer mit dem entstandenen Produkt tun kann. Diese Anforderungen werden auch als Eigenschaften, Funktionen oder Systemanforderungen bezeichnet, da es hier zu einer Beschreibung der Eigenschaften mit Hilfe der Sprache des Produktes kommt. Prioritäten sowie Lösungsräume werden definiert und im Pflichtenheft dokumentiert.

- Komponentenanforderungen

Kommt es zur Beschreibung von Anforderungen hinsichtlich einer Komponente eines Produkts, so spricht man von Komponentenanforderungen. Hier erfolgt die Betrachtung aus Sicht der Realisierung sowie der späteren Lösung. Im Fokus steht, wie etwaige Produktanforderungen mit Hilfe einer Komponente des Produkts realisiert werden.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Systematisches Requirements Engineering / Christof Ebert / dpunkt.verlag / 4.Auflage / 2012 / Kapitel 2.2

### 2.2.4.3 Erklärung des Requirements Engineerings & Managements

Alle Tätigkeiten, welche sich mit Anforderungen beschäftigen, fallen in den Bereich des Requirements Engineerings und des Requirements Managements.

Das Requirements Engineering umfasst alle Tätigkeiten, die erforderlich sind, um Produkt- und Projektanforderungen zu ermitteln, zu untersuchen, zu verstehen und zu dokumentieren. Weiters inkludiert dieser Bereich auch Tätigkeiten zur Auflösung von technischen Unstimmigkeiten sowie zur Validierung und Verifizierung von Anforderungen.

Das Requirements Management beschäftigt sich mit Tätigkeiten, deren Fokus auf der Verwaltung von Anforderungen, Anforderungsentwicklung sowie Interaktion zwischen den Anforderungen liegt.<sup>29</sup>

### 2.2.4.4 Bedeutung des Requirements Engineerings & Managements im Projekt

Eine mangelhafte Qualität von Projektergebnissen ist oftmals zu einem wesentlichen Anteil auf Probleme im RE&M zurückzuführen, da Anforderungen die Grundlage jeglicher Projektarbeit bilden.

Wird ein Projekt gestartet, liegen aber die relevanten Anforderungen bis dato in unvollständiger, mehrdeutiger oder gar widersprüchlicher Form vor, dann ist das Risiko groß, das „falsche“ Projekt zu erarbeiten. Dies gilt selbst dann, wenn man dabei das Projekt „richtig“ macht. Ein professionelles RE&M ist somit eine zwingende Voraussetzung, um ein Projekt zur Zufriedenheit eines Auftraggebers durchzuführen und abzuschließen, unabhängig davon, ob es sich dabei um Produkt- oder um Prozessanforderungen handelt.

Wie wichtig ein professionelles RE&M und die damit verbundenen Anforderungen für die Abwicklung von Projekten sind, soll mit Hilfe der Definition von Qualität unterstrichen werden.

*„Qualität*

*Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale Anforderungen erfüllt.“<sup>30</sup>*

Dieses Zitat spiegelt den Zusammenhang von Anforderungen und der Qualität des entwickelten Systems, welches auf Basis dieser Anforderungen entsteht, wider. Ein

---

<sup>29</sup> Vgl. Requirements Engineering und Projektmanagement, 2013, Seite 9

<sup>30</sup> DIN EN ISO 9000:2005 / Qualitätsmanagementsysteme / Grundlagen und Begriffe / Dez.2005 / Seite 18



System hat nur dann Qualität, wenn es die Anforderungen erfüllen kann. Diese Anforderungen bilden somit das Fundament des Projekts und bringen die Möglichkeit, das Ist der Resultate mit dem Soll der Anforderungen abzugleichen. Nur so ist die Erfüllung von Projektzielen nachweisbar.<sup>31</sup>

## 2.2.5 Verifikation und Validierung

Bei der Verifikation sowie bei der Validierung handelt es sich um Prozesse, deren Ziel es ist, sicherzustellen, dass beispielsweise Produkte oder Konstruktionen die an sie gestellten Anforderungen erfüllen.<sup>32</sup> Die Definitionen als auch der Unterschied dieser beiden Begriffe sind dem folgenden Abschnitt zu entnehmen.

### 2.2.5.1 Definition Verifikation

Unter dem Begriff Verifikation bzw. Verifizierung versteht man das Bestätigen durch Bereitstellen eines objektiven Nachweises, um die Erfüllung festgelegter Anforderungen zu gewährleisten. Dabei können Tätigkeiten wie beispielsweise die Durchführung alternativer Berechnungen, der Vergleich neuer mit bereits bewährten Entwicklungsspezifikationen, die Bewertung von Dokumenten vor Herausgabe oder die Durchführung von Tests zu dieser Bestätigung führen.<sup>33</sup>

Allgemein ist Verifikation auf den Abgleich eines Resultates eines Entwicklungsschrittes mit dem Vorherigen zurückzuführen. Es handelt sich dabei um einen sogenannten formalen Beweis. Vereinfacht ist der Begriff bezogen auf ein Produkt mit der Frage „Entspricht das Produkt der Spezifikation?“ zu umschreiben.<sup>34</sup>

### 2.2.5.2 Definition Validierung

Validierung entspricht definitionsgemäß dem Bestätigen mit Hilfe der Bereitstellung eines objektiven Nachweises, um die Erfüllung von Anforderungen in Bezug auf eine spezifische beabsichtigte Anwendung bzw. einen spezifischen beabsichtigten

---

<sup>31</sup> Vgl. Requirements Engineering und Projektmanagement, 2013, Seite 10

<sup>32</sup> PTC Homepage. Themenblatt: Verifizierung und Validierung

<sup>33</sup> DIN EN ISO 9000:2005, 2005, Seite 30ff

<sup>34</sup> Humboldt Universität zu Berlin Homepage. Verifikation und Validierung

Gebrauch sicherzustellen. Die Anwendungsbedingungen können dabei sowohl real als auch simuliert sein.<sup>33</sup>

Grundlegend spricht man bei Validierung von einem Abgleich des analytischen Produkts mit dem entsprechenden synthetischen Produkt. Es handelt sich dabei um eine informelle Überprüfung. Mit der Aussage „Entspricht die Spezifikation den Anforderungen?“ kann auch hier eine umschreibende Fragestellung gefunden werden.<sup>34</sup>

### **2.2.6 Anordnung der Methoden im V-Modell**

Die zuvor beschriebenen Methoden FMEA, DVP&R und Requirements finden sich auch im sogenannten V-Modell wieder.

Bei einem V-Modell handelt es sich um ein Vorgehensmodell wie es im Zuge von Entwicklungsprozessen zum Einsatz kommt. Dieses Modell ermöglicht eine grafische Veranschaulichung von Beziehungen einzelner Entwicklungsphasen mit den damit verbundenen Prüfungsphasen. Anstelle einer herkömmlichen linearen und nach unten gerichteten Vorgehensform („Wasserfallmodell“) bildet das V-Modell namensgerecht eine V-Form, indem die Vorgehensweise nach der Implementierung bzw. der Realisierung den Verlauf in die entgegengesetzte Richtung fortführt. Das V-Modell bietet somit eine gut strukturierte Methode, in welcher jede Phase mithilfe der detailliert dokumentierten vorhergehenden Phase realisiert werden kann. Testaktivitäten können durch diese Vorgehensweise bereits zu einem sehr frühen Zeitpunkt in der Entwicklung implementiert werden und somit gewährleistet dieses Modell eine erhebliche Reduktion der Projektzeit.<sup>35</sup>

Wie eingangs erwähnt, finden sich auch die für diese Arbeit relevanten Methoden und Analysen im V-Modell wieder und deren Positionierung wird in Abbildung 6 dargestellt.

---

<sup>35</sup> Advancements in the V-Model / Sonali Mathur, Shaily Malik / International Journal of Computer Applications / 2010 / Seite 30

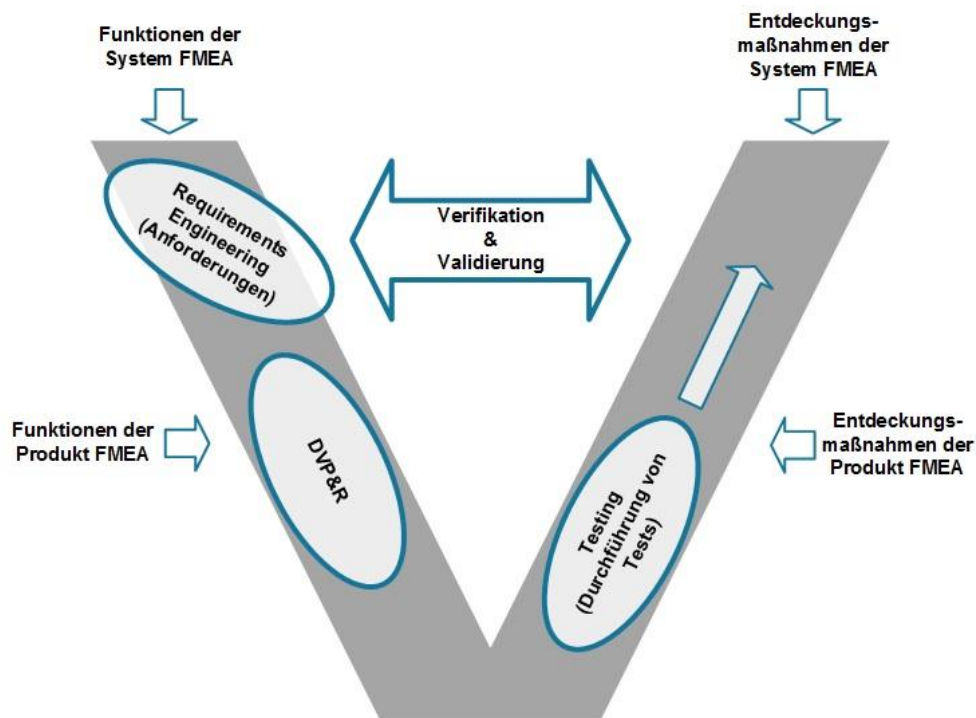


Abbildung 6: Requirements, DVP&R und FMEA im V-Modell

In dieser Abbildung wird verdeutlicht, dass vor allem der Einfluss der FMEA ein weitreichender und nicht immer eindeutiger ist. In der FMEA deklarierte Funktionen fließen auf der rechten Seite des Modells ein und beeinflussen somit die dort angesiedelten Anforderungen und das Design (DVP&R). Entdeckungsmaßnahmen der FMEA sind hingegen relevant in Bezug auf Untersuchungen, Tests und das Testing an sich. Die ständigen Abgleiche zwischen den einzelnen Phasen und den relevanten Untersuchungen werden mittels der Verifikation und Validierung zwischen der linken und der rechten Hälfte der V-Form verdeutlicht.<sup>36</sup>

## 2.2.7 Überlegung zum Zusammenhang der Methoden

Allgemein sei festgehalten, dass der direkte Zusammenhang zwischen Requirements, DVP&R und FMEA nicht immer eindeutig und zum Teil äußerst fließend ist. Es sei hier jedoch ein kurzer gedanklicher Exkurs diesbezüglich erlaubt.

Wie bereits im V-Modell ersichtlich, ist vor allem die FMEA mit ihrem umfangreichen und weitläufigen Aufbau nicht ganz einfach zu erfassen und zuzuordnen. Im angeführten Modell wird jedoch verdeutlicht, dass der Zusammenhang zwischen

<sup>36</sup> Vgl. FMEA - Einführung und Moderation, 2011, Seite 166

FMEA und den Anforderungen über die definierten Funktionen der FMEA gegeben sein sollte. Dies gilt zum Teil auch für DVP&R-spezifische Aspekte, jedoch bei weiterer Überlegung sollte auch der Einfluss in der FMEA formulierter, möglicher Fehler nicht vernachlässigt werden. Es erscheint, als sollte die Beachtung dieser potentiellen Fehler bei der Überlegung hinsichtlich benötigter Tests und Testzyklen im DVP&R eine nicht unwesentliche Rolle spielen. Dies sollte somit neben den Funktionen einen weiteren Zusammenhang zwischen FMEA und DVP&R darstellen.

## 2.2.8 Grundlagen des Paretoprinzips

Das Paretoprinzip, auch als 80-zu-20-Regel bzw. Pareto-Effekt bezeichnet, drückt aus, dass es möglich ist, mit nur 20 % des gesamten Aufwandes bereits 80 % der Resultate erzielen zu können. Im Gegensatz dazu muss zur Erlangung der restlichen 20 % der Ergebnisse mit rund 80 % ein Vielfaches an Aufwand investiert werden.

Vereinfacht ausgedrückt besagt das Paretoprinzip, dass man mit nur 20 % Aufwand immerhin 80 % Wirkung erreichen kann. Will man mehr erreichen, so kommt man in einen Bereich, in dem der Aufwand bei geringer Wirkung extrem ansteigt.

Dieser Ansatz lässt sich auf viele ungleich verteilte Bereiche anwenden, wie beispielsweise Aufwand und Wirkung, Aufwand und Ertrag, Fehler und Ursache, um nur einige zu nennen.

Bei der Pareto-Verteilung handelt es sich um die Beschreibung eines statistischen Phänomens. Dieses Phänomen liegt dann vor, wenn in einer Wertemenge eine geringe Anzahl relativ hoher Werte mehr zum gesamten Wert beiträgt als die vorliegende große Anzahl der kleinen Werte dieser Menge. Diese grundlegende Überlegung basiert auf der Analyse des Volksvermögens in Italien durch Vilfredo Pareto (1848-1923). Dieser fand heraus, dass 80 % des Vermögens im Besitz von nur 20 % der Bevölkerung sind. Aus diesem Ansatz leitet sich das Paretoprinzip ab und besagt, dass es möglich ist, mit einem 20 %igen Mitteleinsatz viele Aufgaben zu erledigen und zwar so, dass 80 % aller Probleme geklärt werden.<sup>37 38</sup>

Ein wesentliches Gebiet, in dem dieser Paretoansatz angewandt wird, ist das Qualitätsmanagement. Genau dieser Zusammenhang zwischen Fehler und Ursache ist hier von Bedeutung. Man geht davon aus, dass 20 % der Fehlerursachen für 80 % der auftretenden Fehler verantwortlich sind. Es ist somit möglich, die Qualität mit relativ geringem Aufwand deutlich zu steigern.<sup>39</sup>

Häufig kommt es zu einer Darstellung des Paretoprinzips mit Hilfe eines Pareto-Diagramms zur Visualisierung der Zusammenhänge. Die Häufigkeit von bestimmten Produktfehlern wird beispielsweise über deren Ursachen aufgetragen. Prinzipiell erstellt man eine sogenannte Häufigkeitsverteilung mit Berücksichtigung der Ordnung nach abnehmender Häufigkeit. Abbildung 7 zeigt hier als Beispiel die Verteilung von Wirkung bzw. Kosten über den Fehlerklassen (Ursachen).

---

<sup>37</sup> Pareto-Design Homepage. Paretoprinzip

<sup>38</sup> BWL für Ingenieurstudium und -praxis / Andreas Daum, Wolfgang Greife, Rainer Przywara / Springer Vieweg Verlag / 2.Auflage / 2014 / Seite 30

<sup>39</sup> OLEV Homepage. 80-20-Regel

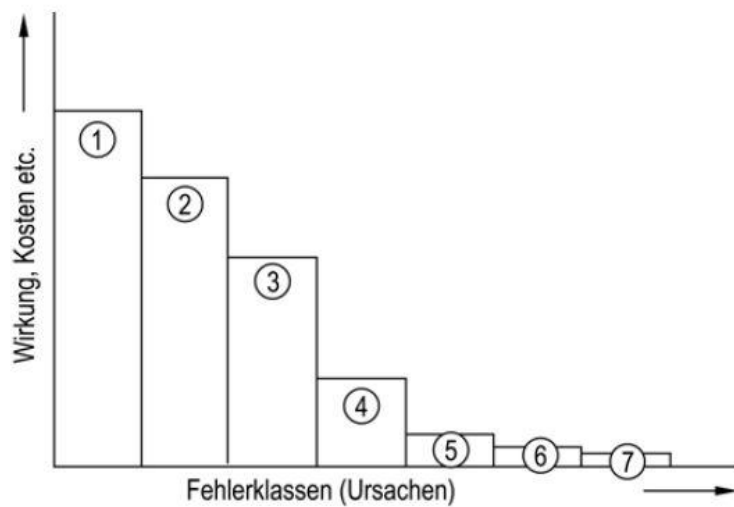


Abbildung 7: Exemplarisches Pareto-Diagramm<sup>40</sup>

Das abgebildete Diagramm zeigt, dass es sinnvoll erscheint, seine Anstrengungen in erster Linie auf die Fehlerklassen 1 und 2 zu fokussieren.

Weiters sei erwähnt, dass anstelle der Fehlerhäufigkeit auch andere Größen, wie zum Beispiel Kosten von Reparaturen, Abwicklungen von Garantiefällen etc. gut darstellbar sind.<sup>40</sup>

<sup>40</sup> Managementwissen für Ingenieure / Adolf J. Schwab / Springer Vieweg Verlag / 2014 / Seite 440ff

## **2.3 Grundlagen zum Hybridantrieb**

Der folgende Abschnitt soll einen Einblick in die grundlegende Motivation von Hybridantrieben im Automobilssektor sowie eine Übersicht der gängigen Hybridsysteme und deren Aufbau geben. Weiters soll näher auf das in dieser Masterarbeit behandelte Parallelhybridantriebssystem eingegangen werden.

### **2.3.1 Motivation für Hybridantriebe**

Mobilität zählt in der heutigen Zeit zu einem essentiellen Grundbedürfnis der Menschheit und das Auto ist dabei das beliebteste Fortbewegungsmittel. Diese Tatsache macht die Automobilindustrie zu einem der wichtigsten Industriezweige unserer Zeit. Das Automobil wurde im Laufe seiner über 100-jährigen Geschichte stetig weiterentwickelt und verbessert. Trotz dieser kontinuierlichen Optimierung in Bereichen wie Sicherheit, Performance, Komfort und Effizienz gibt es immer noch einiges an Verbesserungs- und Optimierungspotential. In erster Linie seien hier die Bereiche Verbrauch sowie der damit korrelierende CO<sub>2</sub>-Ausstoß erwähnt, da diese in der Öffentlichkeit immer mehr an Interesse gewinnen. Hauptgründe dafür sind in erster Linie die begrenzte Verfügbarkeit von fossilen Brennstoffen und der extreme CO<sub>2</sub>-Anstieg in der Atmosphäre, welcher auch mitverantwortlich für den globalen Klimawandel sein soll. Im Sektor des Automobils gibt es zur Eindämmung des CO<sub>2</sub>-Anstiegs von der Europäischen Union jahresbezogene Zielwerte in Bezug auf den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Gramm je Kilometer für den Durchschnittsverbrauch der Neuwagenflotte (Flottenverbrauch). Bei einer Überschreitung und somit einer Nichteinhaltung der Grenzwerte müssen die Fahrzeughersteller je nach Höhe der Überschreitung empfindliche Strafen pro verkauftem PKW an die Europäische Union zahlen. Um das zu vermeiden, wird versucht sowohl mittels fahrzeugtechnischer als auch mittels motorischer Maßnahmen diese EU-Vorgaben zu erfüllen. Ein weiteres Problem dabei ist der vermehrte Kauftrend in Richtung schwerer und großer Fahrzeuge, sodass es rein durch kontinuierliche Weiterentwicklung des Antriebsstranges nicht möglich ist, die Flottenverbrauchswerte zu erreichen. Da es erfahrungsgemäß auch durch sehr hohe Kraftstoffpreise nicht zu einer Beeinflussung des Kaufverhaltens kommt, wird die Suche nach neuen Technologien, mit deren Hilfe auch schwere und große Fahrzeuge mit viel Performance bewegt werden können, immer wichtiger. Neue Technologien müssen sich immer mehr auf die Steigerung der

Wirkungsgrade bei der Energieumwandlung, Erhöhung der Freiheitsgrade beim Betrieb sowie auf den Bereich der Energierückgewinnung beim Verzögern fokussieren. Vor allem im Bereich des Stadtbetriebes kann ein großes Kraftstoffeinsparungspotenzial ausgemacht werden.

Da Hybridfahrzeuge sowohl von der kontinuierlichen Verbesserung von Verbrennungsmotoren (primäre Energiewandlung) profitieren, aber auch mehr Freiheitsgrade bei der folgenden Energieumwandlung und unter Umständen auch die Möglichkeit der Bremsenergieerückgewinnung und Speicherung bieten, sind diese Systeme eine sehr interessante Alternative zu konventionellen Antriebssystemen.<sup>41</sup>

Ein Hybridantriebskonzept, welches in der Automobilindustrie zum Einsatz kommt, ist das sogenannte elektrische Hybridfahrzeug (Hybrid Electric Vehicle, HEV). Dabei handelt es sich um ein Konzept, mit dem es möglich ist, trotz Reduktion von Kraftstoffverbrauch, CO<sub>2</sub>- und Schadstoffemissionen den Fahrspaß und Fahrkomfort zu erhöhen. Hier erfolgt der Antrieb sowohl durch Einsatz eines Verbrennungskraftmotors, als auch durch die Verwendung mindestens eines Elektromotors. Dabei kommen die unterschiedlichsten Kombinationsvarianten zum Einsatz.

### **2.3.2 Prinzip der Hybridantriebe**

Wie bereits erwähnt, können mit dem Einsatz von elektrischen Hybridantrieben drei wesentliche Ziele erreicht werden: Kraftstoffeinsparung, Reduktion der Emissionen sowie Erhöhung des Drehmomentes und der damit verbundenen Erhöhung der Fahrdynamik.

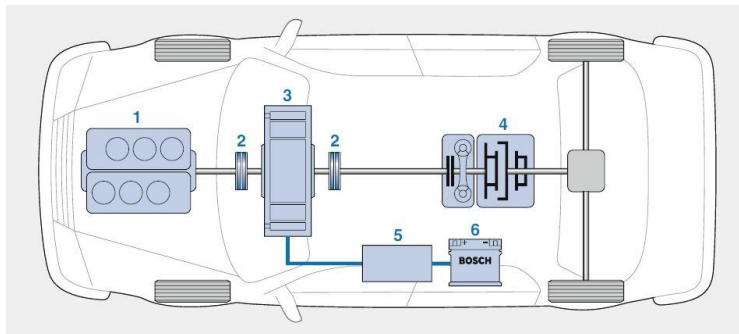
Abbildung 8 ist das schematische Prinzip eines elektrischen Hybridantriebes anhand eines Parallelhybrids ersichtlich. Weiters werden die wichtigsten Baugruppen zugewiesen, nämlich<sup>42</sup>

---

<sup>41</sup> Hybridfahrzeuge / Peter Hofmann / Springer-Verlag / Wien / 2010 / Seite 1ff

<sup>42</sup> Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe / Konrad Reif / Vieweg+Teubner Verlag / 1. Auflage 2010 / Seite 10ff





- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Kupplung
- 3 E-Maschine
- 4 Getriebe
- 5 Inverter
- 6 Batterie

Abbildung 8: Prinzip elektrischer Hybridantrieb<sup>43</sup>

Allgemein ist festzuhalten, dass es durch die Kombination von verbrennungsmotorischer sowie elektrischer Antriebsquelle im Hybridantriebsstrang zu verschiedenen Vorteilen gegenüber konventionellen Antriebssträngen kommt. Die folgenden Punkte beschreiben die essentiellen Vorteile des Hybridantriebsstranges:

- Durch die konstant hohen Drehmomente der E-Maschine bei niedrigen Drehzahlen ergänzt diese in idealer Weise den Verbrennungsmotor, der erst bei mittleren Drehzahlen einen Drehmomentanstieg aufweist. So kann durch die Kombination von E-Maschine und Verbrennungskraftmotor praktisch in jeder Fahrsituation eine hohe Dynamik bereitgestellt werden. Abbildung 9 zeigt die Drehmomentverläufe über der Drehzahl von Elektromotor, Verbrennungsmotor und deren Kombination im Vergleich.

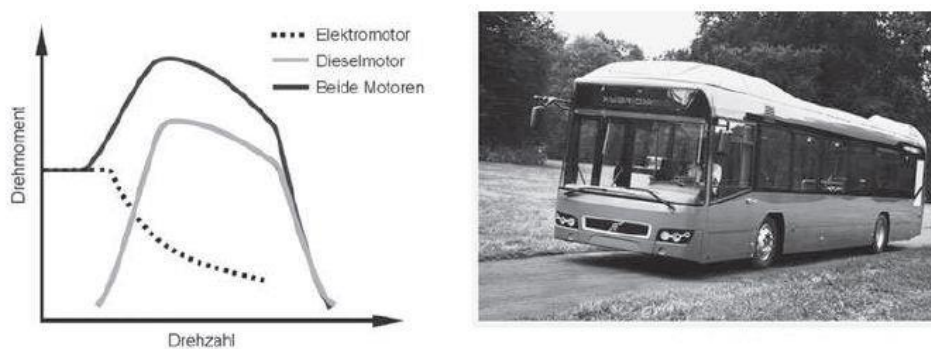


Abbildung 9: Drehmomentverlauf 7700 parallel Hybrid Volvo I-SAM<sup>44</sup>

- Durch die Unterstützung der E-Maschine ist es möglich, den Betriebspunkt des Verbrennungsmotors dahingehend zu optimieren, dass dieser vorwiegend

<sup>43</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 10

<sup>44</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 356

im Bereich seiner optimalen Wirkungsgrade betrieben werden kann oder aber auch in Gebieten, in denen nur geringere Schadstoffemissionen entstehen.

- Durch die Unterstützung der E-Maschine ist auch eine Verkleinerung des Verbrennungsmotors, trotz gleichbleibender Gesamtleistung, möglich. Dabei spricht man vom sogenannten leistungsneutralen Downsizing.
- Basierend auf der Kombination von E-Maschine und Verbrennungsmotor ist es auch möglich, ein länger übersetztes Getriebe zu verwenden, ohne dabei die Fahrleistungen verändern zu müssen. Dieses wird als Downspeeding bezeichnet.

Darüber hinaus gibt es bei Hybridsystemen die Möglichkeit, durch Rückgewinnung der Bremsenergien Kraftstoff einzusparen. Dabei kann durch generatorisches Betreiben des Elektromotors oder mittels Verwendung eines zusätzlichen Generators ein Teil der beim Bremsen entstandenen Bremsenergie in elektrische Energie umgewandelt werden. Diese gewonnene Energie kann gespeichert werden und gegebenenfalls zum Antrieb wieder genutzt werden.<sup>45</sup>

### **2.3.3 Betriebsmodi**

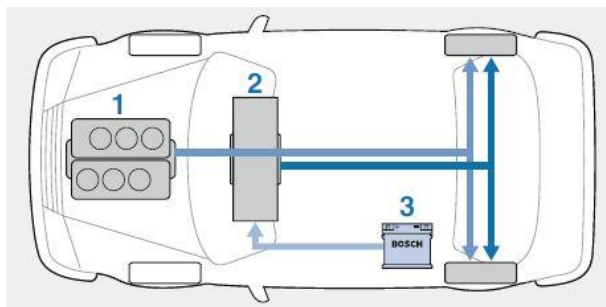
Je nach erforderlichem Drehmoment und Betriebszustand tragen sowohl der Verbrennungsmotor als auch die E-Maschine in unterschiedlichem Ausmaß zur Antriebsleistung bei. Die Aufteilung der Momente zwischen den Antrieben wird von der Hybridsteuerung festgelegt. Die verschiedenen Betriebsmodi definieren die Art des Zusammenwirkens von E-Maschine, Verbrennungsmotor sowie Energiespeicher. Die unterschiedlichen Betriebsmodi unterteilen sich neben dem konventionellen Fahren in hybridisches bzw. elektrisches Fahren, Boosten, Generatorbetrieb und rekuperatives Bremsen.

---

<sup>45</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 10ff

### 2.3.3.1 Hybridisches Fahren

Unter hybridischem Fahren versteht man alle Zustände, bei denen sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor ein Antriebsmoment generieren. Abbildung 10 zeigt schematisch die Aufteilung der Antriebsmomente. Die Hybridsteuerung berücksichtigt bei der Verteilung des Antriebsmoments nicht nur die Optimierungsziele wie Kraftstoffverbrauch und Reduktion der Emissionen, sondern insbesondere auch den Ladezustand des Energiespeichers.

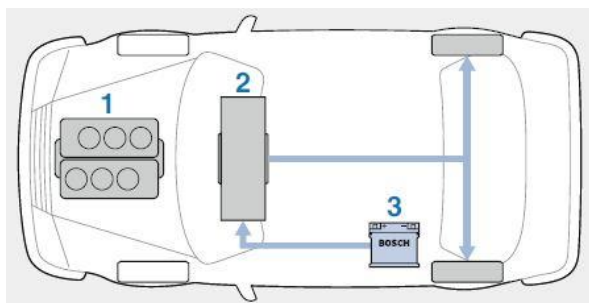


- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie (Energiespeicher)

Abbildung 10: Schema hybridisches Fahren<sup>46</sup>

### 2.3.3.2 Rein elektrisches Fahren

Ein unabhängiges und rein elektrisches Fahren, infolge dessen das Fahrzeug über eine weite Strecke ausschließlich durch den Elektromotor angetrieben wird, ist nur mit Hilfe eines Voll-Hybrides umzusetzen. Dabei kommt es zu einer Entkopplung des Verbrennungsmotors und durch den rein elektrischen Vortrieb wird ein nahezu geräuschfreies und lokal emissionsfreies Fahren ermöglicht. Abbildung 11 veranschaulicht dieses rein elektrische Fahren.



- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie (Energiespeicher)

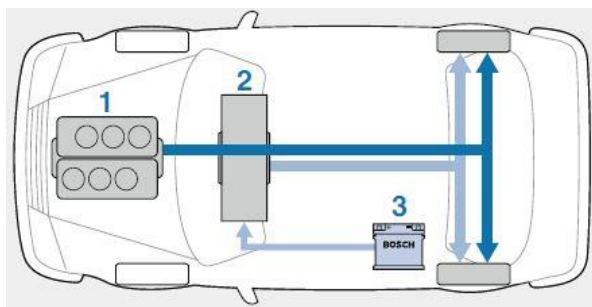
Abbildung 11: Schema rein elektrisches Fahren<sup>47</sup>

<sup>46</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 11

<sup>47</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 12

### 2.3.3.3 Boosten

Wenn sowohl Verbrennungsmotor als auch Elektromotor positives Antriebsmoment abgeben, dann befindet man sich im sogenannten Boost-Betrieb. Um das Maximum an Vortriebsmoment des Fahrzeugs zu erreichen, geben sowohl Verbrennungsmotor als auch Elektromotor ihr maximales Drehmoment ab, siehe Abbildung 12.

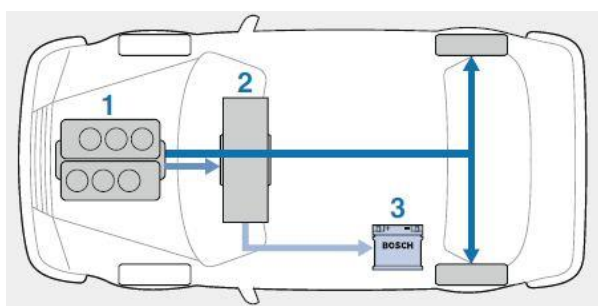


- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie (Energiespeicher)

Abbildung 12: Schema Boosten<sup>48</sup>

### 2.3.3.4 Generatorbetrieb

Der Generatorbetrieb dient der Aufladung des elektrischen Energiespeichers. Hierfür wird mittels des Verbrennungsmotors eine Leistung produziert, welche höher ist als jene, die für den gewünschten Vortrieb des Fahrzeugs nötig ist. Die dabei produzierte überschüssige Leistung wird mittels Zuführung zum Generator in elektrische Energie gewandelt und im Energiespeicher gespeichert. Sofern der Batterieladezustand es zulässt, ist es auch möglich, im Schubbetrieb den Energiespeicher mittels Generator zu laden. Abbildung 13 veranschaulicht das Prinzip des Leistungsflusses bei Generatorbetrieb.



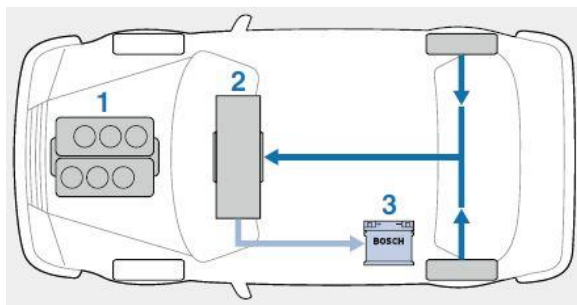
- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie (Energiespeicher)

Abbildung 13: Schema Generatorbetrieb<sup>48</sup>

<sup>48</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 12

### 2.3.3.5 Regeneratives Bremsen

Wenn das Fahrzeug nicht, oder nicht nur, mittels Betriebsbremse und dem damit verbundenen Reibmoment abgebremst wird, sondern mit Hilfe eines generatorischen Bremsmomentes, welches durch den Elektromotor eingeleitet wird, spricht man von regenerativem Bremsen. Dabei wird die E-Maschine generatorisch betrieben und kann so die anliegende kinetische und potentielle Energie des Fahrzeuges in elektrische Energie umwandeln und dem Energiespeicher zuführen, siehe Abbildung 14. Dieses regenerative Bremsen wird oft auch als rekuperatives Bremsen bezeichnet oder man spricht von der sogenannten Rekuperation.<sup>49</sup>



- 1 Verbrennungsmotor
- 2 E-Maschine
- 3 Batterie (Energiespeicher)

Abbildung 14: Schema regeneratives Bremsen<sup>50</sup>

### 2.3.4 Start/Stop-Funktion

Sowohl Hybridkonzepte als auch konventionelle Antriebskonzepte können über eine Start/Stop-Funktionalität verfügen. Dabei handelt es sich um eine Funktion, welche beim Anhalten des Fahrzeuges mittels des Motorsteuergerätes prüft, ob kein Gang eingelegt ist, das Fahrzeug steht und ob in der Batterie genügend Energie für einen Startvorgang gespeichert ist. Wenn all diese Anforderungen erfüllt sind, so kommt es zu einem automatischen Abstellen des Verbrennungsmotors. Mit der Betätigung des Kupplungs- bzw. des Gaspedals wird der Verbrennungsmotor wieder gestartet. Anschließend kommt es zu einem schnellen und geräuscharmen Starten des Motors und dieser ist wieder betriebsbereit. Durch Anwendung dieses Start/Stop-Systems ist es möglich, im Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEDC) bis zu 4,5 % Kraftstoff einzusparen.

<sup>49</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 11ff

<sup>50</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 12

Um diese Funktionen erfüllen zu können, wird bei Start/Stop-Systemen der konventionelle Starter durch einen verstärkten Starter ersetzt. Weiters erfordert das Start/Stop-System eine Anpassung der Motorsteuerung, welche über zusätzliche Schnittstellen zu Sensoren und Starter verfügt. Aufgrund der hohen Anzahl von Startvorgängen ist es nötig, dass die Batterie zyklenfest ausgelegt ist und ihr Ladezustand von einem Sensor überwacht wird.

Abbildung 15 zeigt die Hauptkomponenten des Start/Stop-Systems, wie<sup>51</sup>

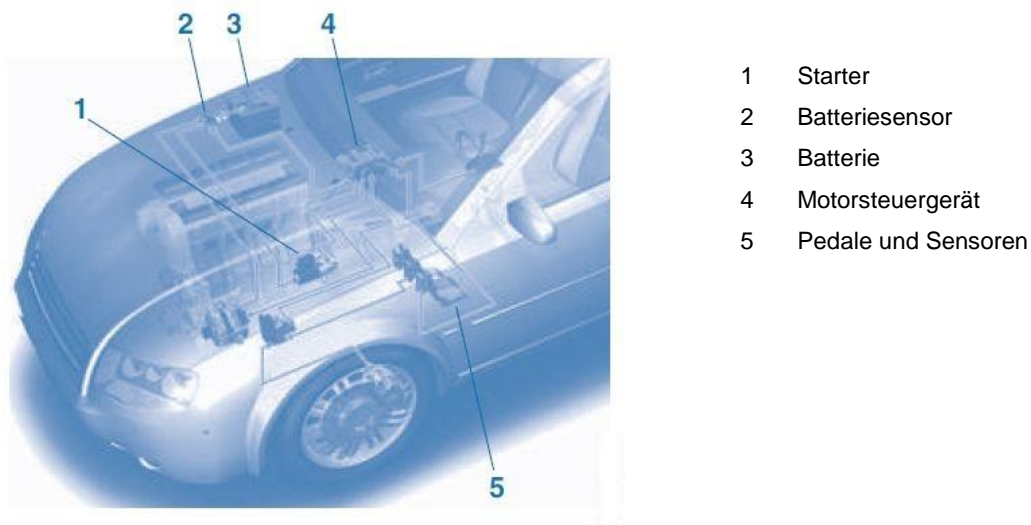


Abbildung 15: Komponenten Start/Stop<sup>52</sup>

<sup>51</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 13ff

<sup>52</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 14

### 2.3.5 Hybridisierungsgrade

Prinzipiell kommen je nach gewünschter Zielsetzung unterschiedliche Hybridkonzepte zum Einsatz. In erster Linie kommt es zu einer Unterscheidung zwischen Mild-Hybridfahrzeugen und Voll-Hybridfahrzeugen. Diese unterscheiden sich je nach der Fähigkeit des Fahrzeugkonzeptes, auch rein elektrisch zu fahren. Es gibt auch die Möglichkeit, einen Voll-Hybrid als Plug-In-Hybrid auszuführen.<sup>53</sup> Weiters gibt es noch die Ausführungsvariante als Micro-Hybrid, welcher jedoch im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug nur geringe Modifikationen aufweist.

#### 2.3.5.1 Micro-Hybrid

Bei dieser Hybridvariante kommt die Start/Stop-Funktion zum Einsatz und darum ersetzt ein leistungsfähiger Anlasser (Starter) oder ein Riemenstarter/Generator die konventionelle Anlasservariante. Der Micro-Hybrid unterscheidet sich zu den reinen Start/Stop-Systemen dadurch, dass teilweise Verzögerungsenergie rekuperiert werden kann. Diese Fähigkeit ist jedoch durch die begrenzte elektrische Leistung des Systems beschränkt und ein Energie-Management-System ist erforderlich. Micro-Hybridssysteme sind die erste Hybridisierungsstufe. Prinzipiell halten sich bei dieser Variante Aufwand, Kosten und Mehrgewicht in Grenzen. Die Kraftstoffersparnis im Stadtverkehr liegt in der Regel unter 10 %.

#### 2.3.5.2 Mild-Hybrid

Im Allgemeinen liegt beim Mild-Hybridssystem die E-Maschine direkt auf der Kurbelwelle, wie es in Abbildung 16 abgebildet ist. Ausgeführt wird die Anordnung meist als Kurbelwellen-Starter-Generator. Neben der Rekuperation und der Start/Stop-Funktion ermöglicht diese Hybridvariante auch die sogenannte Boost-Funktion, mittels welcher eine Unterstützung des Verbrennungsmotors bei Anfahr- oder Beschleunigungsphasen möglich wird. Durch Einsatz von Hochspannungsbatterien und geeigneten Elektromotorausführungen kann der Spannungsbereich auf 42-150 Volt erhöht werden und dadurch mit höherer Leistung operiert werden. Daraus resultieren eine höhere Effizienz beim Rekuperieren und eine

---

<sup>53</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 10 und 15

Verkürzung der Startzeiten.<sup>54</sup> Da es nicht möglich ist, den Verbrennungsmotor von der E-Maschine zu entkoppeln, kann reines elektrisches Fahren nur mittels Mitschleppen des Verbrennungsmotors umgesetzt werden. Dieses ist natürlich nur dann energetisch sinnvoll, wenn der Verbrennungsmotor ein relativ geringes Schleppmoment aufweist. Hier bieten sich Verbrennungsmotoren mit der Möglichkeit der Zylinderabschaltung an. Mit diesem Hybridkonzept können Kraftstoffeinsparungen im NEDC von bis zu 15 % erreicht werden.<sup>55</sup>

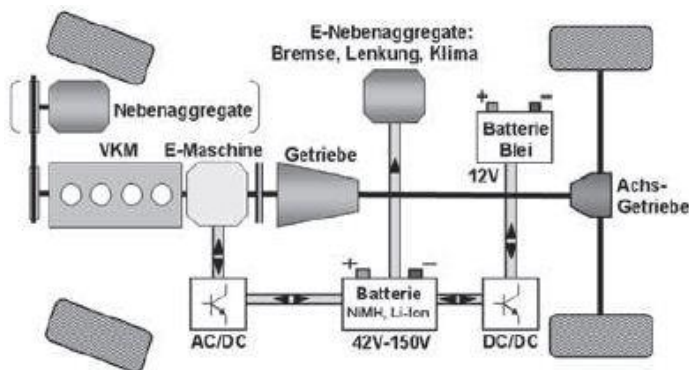


Abbildung 16: Schematischer Aufbau eines Mild-Hybridsystems<sup>56</sup>

### 2.3.5.3 Voll-Hybrid

Diese Hybridvariante kann optionsweise rein elektrisch, nur mittels Verbrennungsmotor, aber auch in kombinierter Form angetrieben werden. Dadurch sind im Vergleich zum Mild-Hybrid weitere konstruktive Modifikationen nötig. Veränderungen sind hierbei zum Beispiel eine zusätzliche Kupplung, eine oder auch mehrere E-Maschinen sowie eine Hochspannungsbatterie. Diese Hochspannungsbatterie muss eine hohe Maximalleistung aufweisen, da sonst eine Speicherung des Großteils der umgewandelten kinetischen Energie bei den Bremsvorgängen nicht möglich wäre. Vollhybride liefern, aufgrund der hohen elektrischen Leistungen, auch beim Beschleunigen aus niederen Drehzahlbereichen sehr hohe Drehmomente. Durch die Kombination von Verbrennungsmotor sowie Elektromotor in Verbindung mit einer intelligenten Betriebsstrategie, welche die jeweilige individuelle Drehmomentcharakteristik der Motoren nutzt, ist es möglich, gute

<sup>54</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 52ff

<sup>55</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 14

<sup>56</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 45



Beschleunigungswerte bei maximaler Verbrauchseinsparung umzusetzen. Im Gesamten kommt es jedoch zu einem deutlichen Anstieg der Systemkomplexität und der Kosten. Zur Erklärung des grundlegenden Aufbaus dient Abbildung 17.<sup>57</sup> Um den Hybrid rein elektrisch zu betreiben, wird der Verbrennungsmotor vom Elektromotor mittels Trennkupplung mechanisch getrennt, somit wirkt auch kein störendes Schleppmoment auf die Verbrennungskraftmaschine. Mittels dieser Hybridvariante liegen die Kraftstoffeinsparungen im NEDC bei bis zu 30 %.<sup>58</sup>

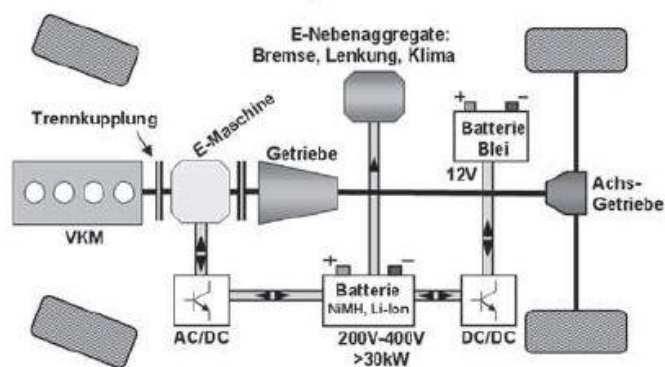


Abbildung 17: Schematischer Aufbau eines Aufbau Voll-Hybridsystems<sup>59</sup>

#### 2.3.5.4 Plug-In-Hybrid

Es ist alternativ möglich, einen Voll-Hybrid auch als Plug-In-Hybrid auszuführen. Bei einem Plug-In-Hybrid ist es möglich, die Traktionsbatterie über eine externe elektrische Energiequelle, zum Beispiel eine Steckdose, zu laden. Hier kommen meist größere Batterien zum Einsatz, da es so möglich ist, kürzere Fahrten rein elektrisch angetrieben zurückzulegen und den Hybridantrieb für längere Strecken zu nutzen. Diese größere Batterie und die damit verbundenen Mehrkosten sowie das Mehrgewicht zählen gegenwärtig noch zu den Nachteilen von Plug-In-Hybriden.<sup>60</sup> Grundsätzlich verbinden Plug-In-Konzepte die Vorteile von Batteriefahrzeugen und Verbrennungskraftfahrzeugen.<sup>61</sup>

<sup>57</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 52ff

<sup>58</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 14

<sup>59</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 46

<sup>60</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 15

<sup>61</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 52ff

Zur besseren Übersicht der unterschiedlichen Hybridvarianten sind die wesentlichen konstruktiven Merkmale und Funktionen in Tabelle 1 noch einmal angeführt.

Tabelle 1: Übersicht Merkmale und Funktionen verschiedener Hybridvarianten<sup>62</sup>

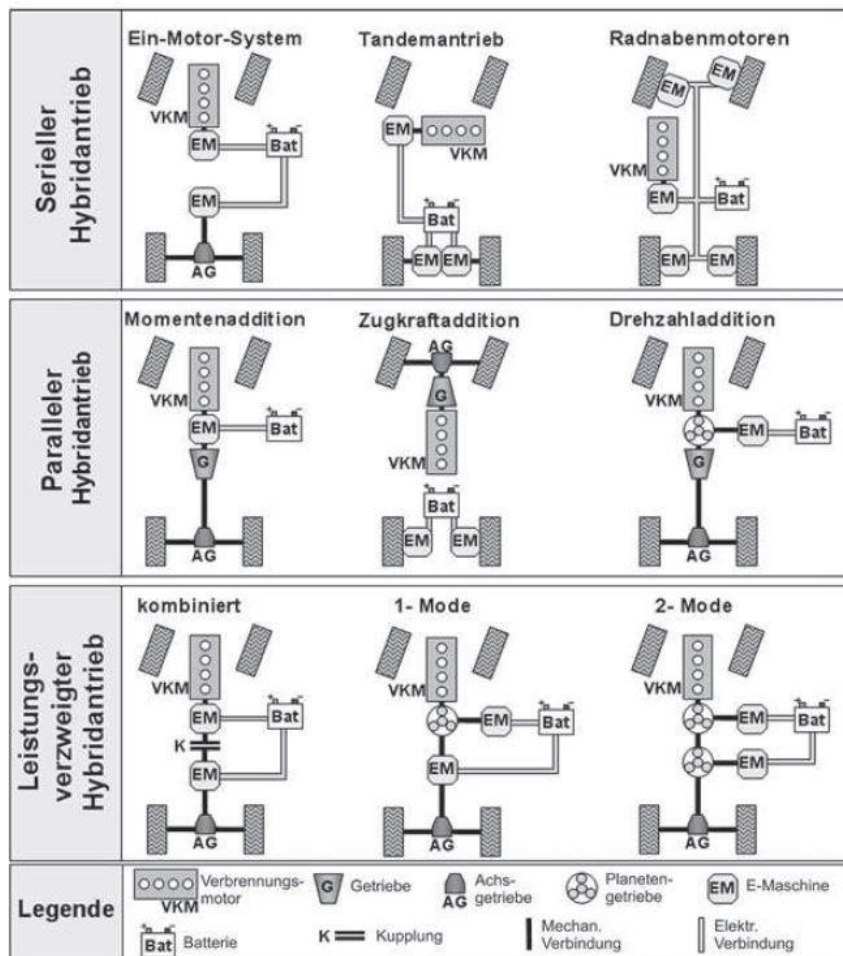
	<b>Micro-Hybrid</b>	<b>Mild-Hybrid</b>	<b>Voll-Hybrid</b>	<b>Plug-In-Hybrid</b>
<b>Konstruktive Merkmale</b>	Leistungsfähiger Anlasser und regelbarer Generator oder Riemenstarter-Generator	Kurbelwellen-Starter-Generator	Trennkupplung zum Verbrennungsmotor oder mehrere E-Maschinen	Elektroantrieb mit Verbrennungsmotor als Range Extender
<b>Funktionen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start/Stopp</li> <li>• Eingeschränkt Rekuperation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start/Stopp</li> <li>• Rekuperation</li> <li>• Boosten</li> <li>• Generatorbetrieb</li> <li>• Eingeschränkt E-Fahren bei niedrigen Geschwindigkeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start/Stopp</li> <li>• Rekuperation</li> <li>• Boosten</li> <li>• Generatorbetrieb</li> <li>• E-Fahren für kurze Reichweiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Start/Stopp</li> <li>• Rekuperation</li> <li>• Boosten</li> <li>• Generatorbetrieb</li> <li>• E-Fahren für mittlere Reichweiten</li> <li>• Externe Nachladung</li> </ul>

### 2.3.6 Antriebskonfigurationen

Im Wesentlichen unterscheidet man zwischen drei Hauptantriebskonfigurationen, dem seriellen Hybrid, dem leistungsverzweigten Hybrid sowie dem parallelen Hybrid. Diese Einteilung erfolgt grundlegend nach der Kombination von Verbrennungsmotor, Elektromotor, Generator, Batterie und Getriebe. Abbildung 18 zeigt die verschiedenen Konfigurationen im Überblick. Der folgende Abschnitt soll näher auf diese Konfigurationen eingehen.<sup>63</sup>

<sup>62</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 19

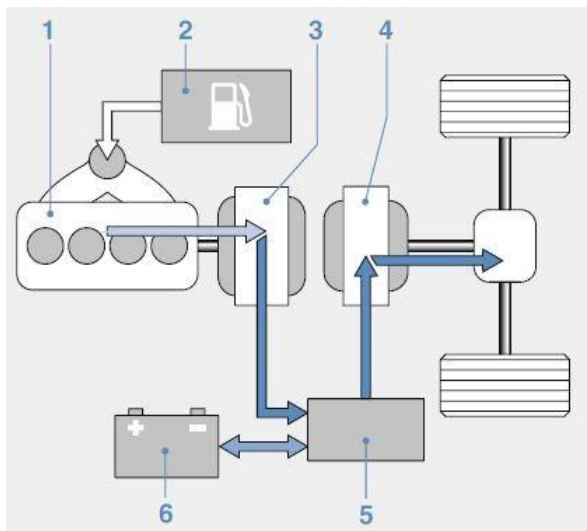
<sup>63</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 17

Abbildung 18: Strukturen von Hybridantrieben<sup>64</sup>

### 2.3.6.1 Serieller Hybridantrieb

Gekennzeichnet wird ein serieller Hybridantrieb (S-HEV) durch die Reihenschaltung der Energiewandler (Verbrennungsmotor und E-Maschine). Um eine serielle Anordnung zu erreichen sind zusätzlich zum Verbrennungsmotor zwei E-Maschinen erforderlich. Eine E-Maschine erfüllt dabei die generatorische Funktion und die andere die motorische Aufgabe. In dieser Konfiguration ist der Verbrennungsmotor nicht mit der Antriebsachse gekoppelt. Abbildung 19 bildet den Aufbau schematisch ab und kennzeichnet die Hauptkomponenten.

<sup>64</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 17



- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Generator
- 4 Elektromotor
- 5 Inverter
- 6 Batterie

Abbildung 19: Konfiguration serieller Hybridantrieb<sup>65</sup>

In einem ersten Schritt kommt es zu einer Umwandlung der Bewegungsenergie des Verbrennungsmotors in elektrische Energie mittels Generator. Ein implementierter Inverter (Pulswechselrichter) sorgt für das Wandeln der Leistung gemäß des Fahrerwunsches und speist den zweiten Elektromotor, welcher für die Erzeugung des Antriebsmomentes verantwortlich ist. Die gesamte Antriebsleistung, mit welcher die Bewegung des Fahrzeugs erzielt wird, kommt ausschließlich von dieser Elektromotoreinheit. Durch diese Anordnung des Triebstranges ergibt sich der wesentliche Vorteil, dass, solange die benötigte elektrische Energie bereitgestellt wird, der Betriebspunkt des Verbrennungsmotors zur Gänze frei gewählt werden kann. In Abhängigkeit von der jeweiligen Betriebsstrategie ist es möglich, dass der Verbrennungsmotor leistungstechnisch dem aktuellen Bedarf folgen kann oder aber auch konstant im effizientesten Betriebspunkt betrieben werden kann. Überschüssige Energien können der Batterie zugeführt und gespeichert werden. Durch den Betrieb des Verbrennungsmotors im effizientesten Betriebspunkt ist eine Minimierung der Schadstoffemissionen umsetzbar. Ein weiterer Vorteil dieser Konfiguration ergibt sich durch die große Leistungsfähigkeit der E-Maschinen und der damit verbundenen Möglichkeit der Rekuperation starker Fahrzeugverzögerungen. Einer der größten Nachteile, neben hohen Kosten, Mehrgewicht und Bauteilgröße, ist die mehrfache Energieumwandlung, aufgrund welcher es zu massiven Wirkungsgradverlusten kommt. Bei Berücksichtigung der üblichen mittleren Verluste von einzelnen Baugruppen, liegt der Gesamtverlust bei bis zu 30 %. Somit liegt das Einsatzgebiet

<sup>65</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 16

dieser Hybridkonfiguration eher im Nutzfahrzeugsektor, wie zum Beispiel in Lokomotiven (diesel-elektrischer Antrieb) oder Bussen im Stadtverkehr.<sup>66</sup>

### 2.3.6.2 Leistungsverzweigter Hybridantrieb

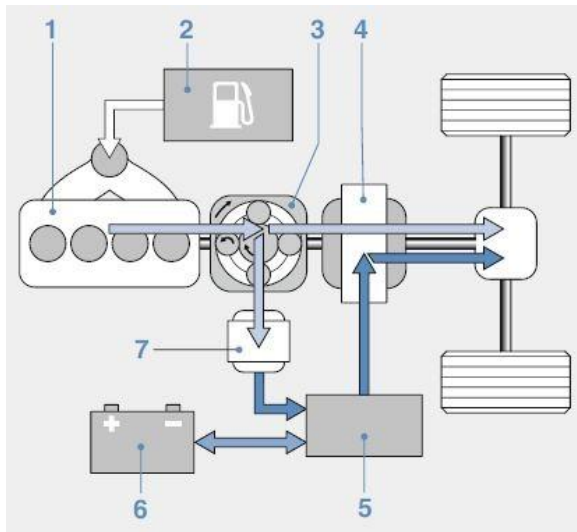
Im Zentrum des leistungsverzweigten Hybridkonzepts liegt das Planetengetriebe, mit welchem eine Leistungsaufteilung der Verbrennungsmotorleistung auf zwei Pfade möglich ist. Die Aufteilung erfolgt zum einen auf einen mechanischen Pfad, dabei wird über eine Verzahnung Kraft direkt auf die Räder übertragen, und zum anderen auf einen elektrischen Pfad. Eine erste E-Maschine wirkt neben Verbrennungsmotor und Abtrieb zusätzlich auf eine dritte Welle des Planetengetriebes. Durch den Lastpunkt der E-Maschine können den Fahranforderungen entsprechend Last sowie die Drehzahl des Verbrennungsmotors in Raddrehzahl und Abtriebsmoment übersetzt werden. Planetengetriebe haben die Eigenschaft, dass die Drehzahl einer Welle immer über Drehzahlen zweier anderer Wellen bestimmt wird. Dieser Zusammenhang ist analog auch für die Momentenverhältnisse der Wellen gültig. Somit ist eine Leistungsübertragung bezogen auf den mechanischen Pfad nur dann möglich, wenn durch die E-Maschine Leistung aufgenommen und in elektrische Leistung gewandelt wird. Daraus folgt, dass es in diesem System zu einer kontinuierlichen Erzeugung von elektrischer Leistung kommt. Dadurch ist es nicht möglich, und aus Gründen des Wirkungsgrades auch nicht zielführend, diese Energie in einer Batterie zu speichern. Durch das Anordnen einer zweiten E-Maschine, direkt auf der Antriebswelle, ist es möglich, die auftretende elektrische Leistung wieder in mechanische Leistung zu wandeln und somit diesen elektrischen Pfad zu schließen. Eine aus Raddrehzahl und erwünschtem Radmoment bestehende Fahranforderung führt somit zu einer Vorzugsdrehzahl des Verbrennungsmotors, welche mit Hilfe der ersten E-Maschine geregelt werden kann. Durch diese Anordnung und die damit verbundene Splittung der Pfade können die grundlegenden Prinzipien von seriell und parallel Hybrid kombiniert werden.<sup>67</sup>

---

<sup>66</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 16ff

<sup>67</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 20ff

Zum besseren Verständnis des Aufbaues dient Abbildung 20. Hier sind auch die wesentlichen Komponenten ersichtlich.



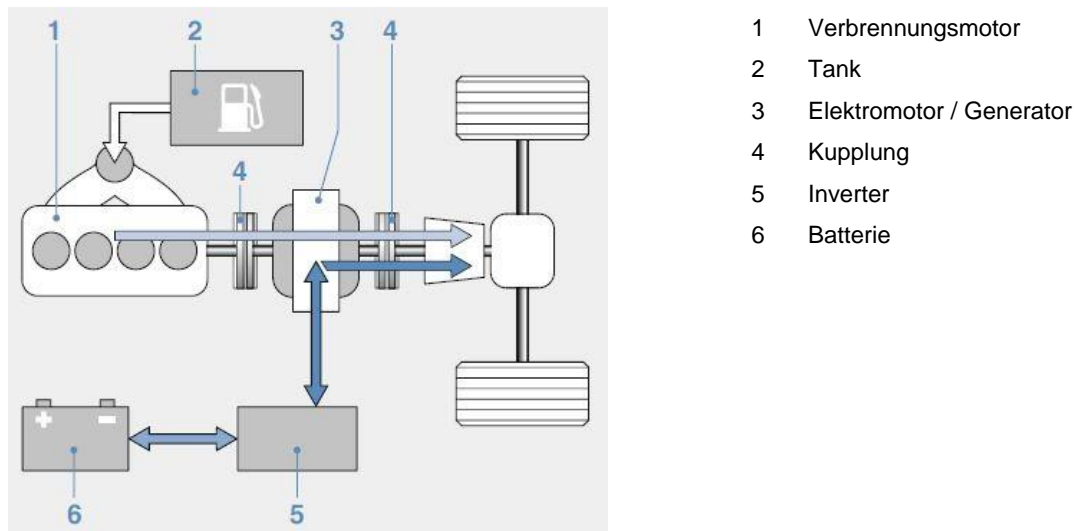
- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Planetengetriebe
- 4 Elektromotor
- 5 Inverter
- 6 Batterie
- 7 Generator

Abbildung 20: Konfiguration leistungsverzweigten Hybridantrieb<sup>68</sup>

### 2.3.6.3 Paralleler Hybridantrieb

Abweichend sowohl vom seriellen Hybrid als auch vom leistungsverzweigten Hybrid kommt bei der parallelen Antriebsstrangtopologie nur eine E-Maschine zum Einsatz. Diese E-Maschine ist mechanisch mit der Kurbelwelle des Verbrennungsmotors gekoppelt und kann sowohl generatorisch als auch motorisch betrieben werden. Das Schema des Antriebskonzepts ist in Abbildung 21 anhand einer Ausführung mit zwei Kupplungen ersichtlich und besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

<sup>68</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 20



- 1 Verbrennungsmotor
- 2 Tank
- 3 Elektromotor / Generator
- 4 Kupplung
- 5 Inverter
- 6 Batterie

Abbildung 21: Konfiguration paralleler Hybridantrieb<sup>69</sup>

Bei diesem Konzept kommt es zur sogenannten Momentenaddition, bei welcher die Drehmomente beider Antriebseinheiten, also sowohl vom Verbrennungsmotor als auch von der E-Maschine, frei variiert werden können. Das Verhältnis der Drehzahlen bleibt hingegen konstant zueinander. Weiters ist durch Schließen der Kupplung bzw. der Kupplungen eine rein mechanische Kraftübertragung zwischen Verbrennungsmotor und Antriebsachse unabhängig vom E-Maschinenzustand möglich. Dadurch liegt im Gegensatz zu den anderen Hybridtopologien der Gesamtwirkungsgrad höher, jedoch wirkt sich die direkte Anbindung von Verbrennungsmotor und E-Maschine nachteilig auf die freie Wahl des Betriebspunktes aus. Der Grund dafür ist, dass sowohl die Getriebeübersetzung als auch die Fahrgeschwindigkeit bestimmend für die Drehzahlen beider Aggregate sind. Diese Faktoren können zwar durch eine Getriebeschaltung verändert werden, jedoch ist dieses nur für beide Aggregate in gleicher Weise möglich.

Einer der größten Vorteile des parallelen Hybridantriebs ist, dass der konventionelle Antriebsstrang zu einem großen Teil erhalten bleiben kann. Dadurch bleibt nicht nur das gewohnte Fahrverhalten bestehen, sondern es wirkt sich auch günstig auf Bauraum, Kundenakzeptanz und Fahrzeugherstellung aus. Im Vergleich zu seriellen und leistungsverzweigten Ausführungen ist auch der Entwicklungs- und Implementierungsaufwand geringer. Dies ist auf die geringeren elektrischen

<sup>69</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 18

Leistungen und die geringen Hardwareanpassungen bei der Umstellung eines konventionellen Antriebsstrangs zurückzuführen.<sup>70</sup>

Ein weiterer großer Vorteil dieses Konzeptes ist die Möglichkeit, dass sowohl der Verbrennungsmotor als auch die E-Maschine parallel die Räder antreiben können. Ein rein verbrennungsmotorisches als auch ein rein elektrisches Fahren ist dadurch möglich und eine Kombination der beiden Antriebsvarianten ist verwirklichtbar. Der parallele Hybridantrieb ist somit im Stande, eine Vielzahl von vorteilhafteten Betriebszuständen umzusetzen. Funktionen wie Start/Stop, Rekuperation, Lastpunktverschiebung, Boosten oder rein elektrisches Fahren sind in dieser Form relativ einfach zu realisieren.<sup>71</sup>

#### 2.3.6.4 Charakterisierungen des parallelen Hybridantriebs

Grundlegend erfolgt eine Charakterisierung eines parallelen Hybrids nach dem Einbauort der E-Maschine im Antriebsstrang, siehe Abbildung 22. Der folgende Abschnitt soll Aufschluss über den grundlegenden Aufbau der wichtigsten Antriebsstrukturen für parallele Hybride geben. Aus diesen einzelnen parallelen Hybridvarianten können noch eine Vielzahl weiterer Parallel-Hybrid-Kombinationen gebildet werden.

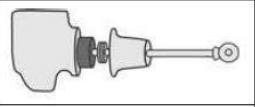
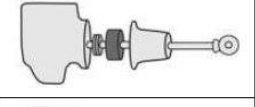
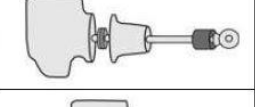
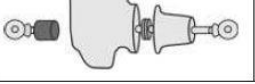
P1		E-Motor drehfest mit Verbrennungsmotor verbunden
P2		E-Motor am Getriebe-eingang, durch Kupplung vom Verbrennungsmotor getrennt
P3		E-Motor hinter dem Getriebe
P4		E-Motor an der nicht verbrennungsmotorisch angetriebenen Achse

Abbildung 22: Basiskonzepte von Parallelhybriden<sup>72</sup>

<sup>70</sup> Vgl. Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, 2010, Seite 17ff

<sup>71</sup> Vgl. Hybridfahrzeuge, Hoffmann, 2010, Seite 32

<sup>72</sup> Vgl. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Hans Hermann Braess, Ulrich Seiffert, 2013, Seite 188



#### 2.3.6.4.1 P1-Hybrid

Der schematische Aufbau des P1-Hybrid ist in Abbildung 23 dargestellt. Es befindet sich die E-Maschine am hinteren Ende der Kurbelwelle. Dadurch ist sie auch relativ unkompliziert in einen konventionellen Antriebsstrang integrierbar. Funktionen wie Boosten, Lastpunktverschiebung sowie Start/Stop sind gut implementierbar. Der größte Nachteil dieser Anordnung liegt in der untrennbaren Verbindung zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine. Diese verhindert ein rein elektrisches Fahren und wirkt sich negativ auf die Kraftstoffeinsparung aus. Die Rekuperation ist prinzipiell realisierbar, doch auch hier wirkt sich die zusätzliche Schleppleistung des Verbrennungsmotors negativ aus.<sup>73</sup>

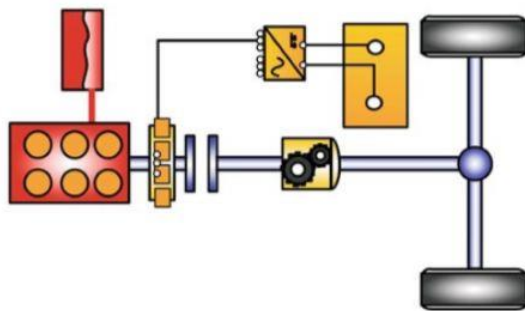


Abbildung 23: Schematischer Aufbau P1-Hybrid<sup>74</sup>

#### 2.3.6.4.2 P2-Hybrid

Wie in Abbildung 24 ersichtlich, wird bei diesem Antriebskonzept zwischen dem Verbrennungsmotor und der E-Maschine eine Kupplung eingefügt. Somit befindet sich die E-Maschine hinter der Kupplung. Prinzipiell unterscheidet man zwei Arten des P2-Hybrids, abhängig davon, ob zwischen der E-Maschine und dem Getriebe eine Wandlerkupplung verbaut ist oder nicht. Bei beiden Ausführungen ist eine Realisierung von Funktionen wie Boosten, Lastpunktverschiebung und vor allem rein elektrisches Fahren und Rekuperation gut realisierbar. Durch die zwischengeschaltete Kupplung zwischen Verbrennungsmotor und E-Maschine und die damit verbundene mögliche Trennung tritt hier kein sich negativ auswirkendes Schlepptomment auf. Weiters kann durch diese Trennung bei Schubbetrieb die E-Maschine generatorisch betrieben

<sup>73</sup> Kraftfahrzeug-Hybridantriebe / Reif, Konrad, Borgeest / Vieweg+Teubner Verlag / 1. Auflage 2012 / Seite 31 und 34ff

<sup>74</sup> Vgl. Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Reif, 2012, Seite 32

werden. Auch ein Laden der Batterie bei stehendem Fahrzeug ist durch Verwendung einer weiteren Kupplung zwischen E-Maschine und Getriebe realisierbar.

Da ein P2-Hybrid alle Hybridfunktionen erfüllt und ein Maximum an Kraftstoffverbrauchseinsparung ermöglicht, gilt dieser als Voll-Hybrid.<sup>75</sup>

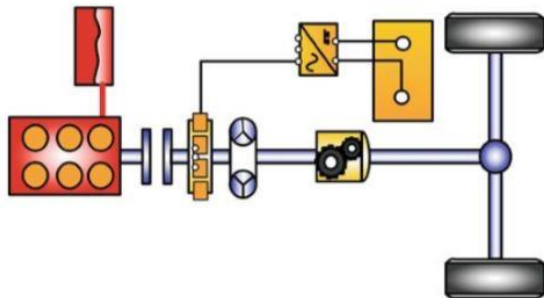


Abbildung 24: Schematischer Aufbau P2-Hybrid<sup>76</sup>

#### 2.3.6.4.3 P3-Hybrid

Abbildung 25 zeigt das Aufbauschema eines P3-Hybrids. Hier befindet sich die E-Maschine vor dem Differential, also am Getriebeausgang. Dieses Konzept ist relativ einfach in einen bestehenden konventionellen Antriebsstrang integrierbar und ermöglicht die Erhaltung der Zugkraft während Getriebe-schaltvorgängen. Dies wirkt sich positiv auf den Komfort des Fahrzeuges aus. Um die Start/Stop Funktion zu ermöglichen, ist ein zusätzlicher Starter von Nöten und auch die Lastpunktverschiebung ist nur bedingt realisierbar. Rein elektrisches Fahren, Boosten sowie die Verzögerung durch generatorisches Nutzen der E-Maschine im Schubbetrieb sind durchführbar.

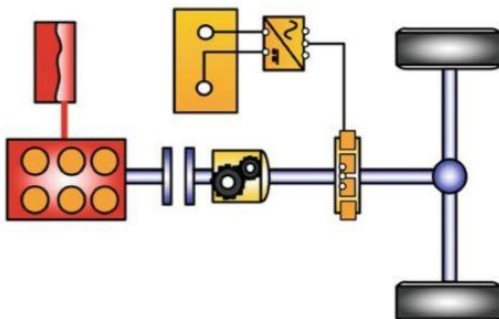


Abbildung 25: Schematischer Aufbau P3-Hybrid<sup>76</sup>

<sup>75</sup> Vgl. Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Reif, 2012, Seite 34ff

<sup>76</sup> Vgl. Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Reif, 2012, Seite 32

#### 2.3.6.4.4 P4-Hybrid

Beim P4-Hybrid ist der Verbrennungsmotor in der Regel mit der Vorderachse gekoppelt und die E-Maschine mit der Hinterachse verbunden. Abbildung 26 zeigt die jeweiligen Anordnungen der Aggregate. Diese Ausführung hat den großen Vorteil, dass die Adaption bei konventionellen Serienfahrzeugen relativ einfach ist, da der vorhandene Antriebsstrang erhalten bleibt. Somit ist es möglich, den P4-Hybrid als Variante in vorhandene Fahrzeugbaureihen zu inkludieren. Die Start/Stop Funktion wird mittels zusätzlichem Starter, welcher am Verbrennungsmotor sitzt, umgesetzt. Eine Lastpunktverschiebung ist hier nicht möglich, jedoch sind Boosten, rein elektrisches Fahren sowie die Verzögerung durch generatorisches Nutzen der E-Maschine im Schubbetrieb gut realisierbar. Ein weiterer Vorteil der auf Vorder- bzw. Hinterachse verteilten Aggregate ist die Möglichkeit des Allradbetriebes. Dieser ist jedoch nur zeitlich begrenzt möglich.<sup>77</sup>

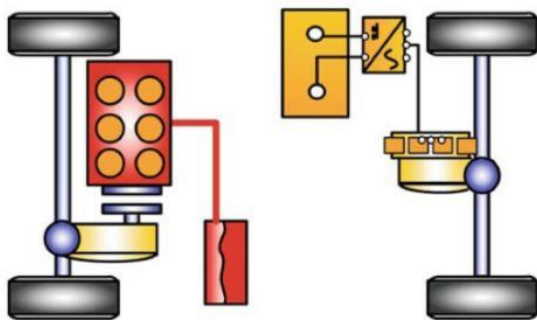


Abbildung 26: Schematischer Aufbau P4-Hybrid<sup>78</sup>

<sup>77</sup> Vgl. Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Reif, 2012, Seite 34ff

<sup>78</sup> Vgl. Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Reif, 2012, Seite 33

### **3 Analytischer Teil der Masterarbeit**

Alle im Zuge dieser Masterarbeit durchgeführten Analysen und Auswertungen sind im nachfolgenden Kapitel dokumentiert. Aufgrund der Geheimhaltungsvereinbarung mit der AVL List GmbH, beinhaltet die hier vorliegende Studie keine kundenspezifischen Daten sondern ausschließlich Auszüge bzw. Ersatzbezeichnungen.

#### **3.1 Beschreibung des zu analysierenden Systems**

Um das Ableiten von Anforderungen an das Flottenmonitoring auf Basis von diversen Methoden des Entwicklungsprozesses untersuchen bzw. verifizieren zu können wird ein geeignetes System gewählt, welches die benötigten Daten und Auswertungen für eine Auswertung zur Verfügung stellen kann. In diesem speziellen Fall wird ein Fahrzeugkonzept mit parallelem Hybridantrieb gewählt. Näher handelt es sich dabei um die Antriebsstrangbaugruppe eines dieselgetriebenen Fahrzeuges mit einem P2-Hybridkonzept in Vollhybridausführung.

Nach anfänglicher Analyse des Antriebsstrangs, der damit verbundenen Vielzahl an Komponenten und der umfangreichen Datenmenge wird der Fokus auf das P2-Modul gelegt. Diese Fokussierung hat eine Reduktion der analysierten Bauteile und Daten auf ein überschaubares Maß zur Folge. Diese Vorgehensweise ermöglicht eine bessere Vergleichbarkeit der einzelnen Auswertungen (FMEA, DVP&R, Requirements) sowie übersichtlichere Datenmengen. Ein weiterer Grund für die Konzentration auf das P2-Hybridmodul ist, dass der Schwerpunkt des Flottenmonitorings im Projekt auf dieser Komponente liegt.

Als Basis der Analyse dienen hierbei bereits erstellte Auswertungen der AVL List GmbH, wie FMEA-Auswertungen, DVP&R-Berichte sowie Requirementsdokumente, welche dieses spezielle P2-Modul behandeln.

Es gilt die Annahme, dass Fahrzeuge, welche innerhalb einer Testflotte zum Einsatz kommen, in einem funktionsfähigen Zustand sind. Dies umfasst sowohl die Grundfunktionalitäten als auch den Aufbau sowie die Konstruktion der Fahrzeuge. Diese Sicherstellung der Funktionen wird mittels davor durchgeführter Tests und Untersuchungen gewährleistet. Weiters wird vorausgesetzt, dass ein Fahrzeug, welches im Laufe der Flottentests gewisse Ausfall- oder Defekterscheinungen aufweist, aus dem Flottentestlauf entfernt wird und einer fachgemäßen Analyse unterzogen wird.

Es sei hier auch festgehalten, dass alle relevanten Untersuchungsfahrzyklen bereits definiert sind.

### 3.1.1 Aufbau des analysierten P2-Modul

Die wesentlichen Aufbaumöglichkeiten und die wichtigsten Funktionen eines parallelen Hybrids, im speziellen eines P2-Hybridkonzeptes, wurden bereits in den Kapiteln 2.3.6.3 *Paralleler Hybridantrieb* sowie 2.3.6.4.2 *P2-Hybrid* abgehandelt. Um jedoch einen besseren Einblick über den Aufbau und die verschiedenen Baugruppen des P2-Modules zu erlangen sei Abbildung 27 erwähnt. Hier werden die Hauptkomponenten eines P2-Hybridmoduls abgebildet. Dieses beispielhaft dargestellte Modul ist in einem VW Touareg Hybrid verbaut und ist vom Aufbau ähnlich dem im Zuge dieser Masterarbeit analysierten System.

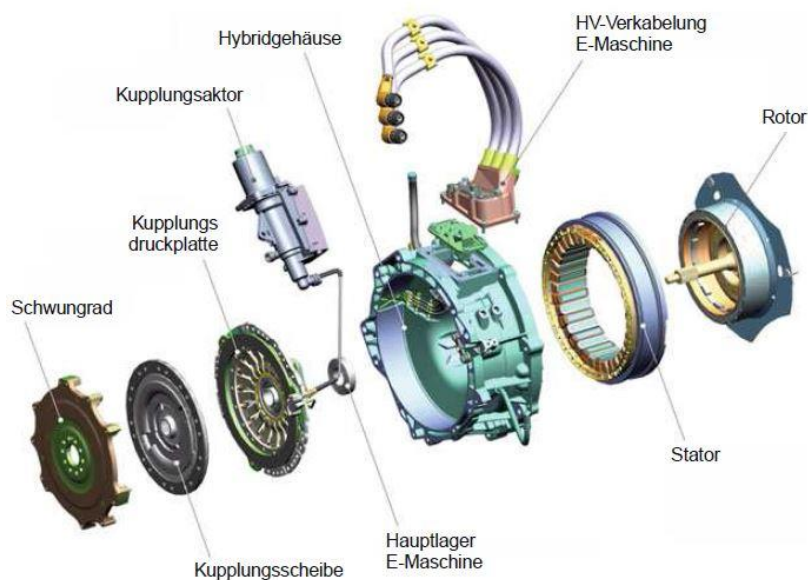


Abbildung 27: P2 Hybridkopf (VW Touareg Hybrid)<sup>79</sup>

Bei der im untersuchten System verwendeten E-Maschine handelt es sich um eine permanentmagneterregte Synchronmaschine. Diese setzt sich aus Stator und Rotor zusammen und ist im Hybridgehäuse untergebracht. Zur Trennung von Verbrennungsmotor und Elektromotor kommt eine Trennkupplung (C0) zum Einsatz, welche mit einer geeigneten Ansteuerung geregelt wird. Neben notwendigen elektrischen Verkabelungen und Steckverbindern beinhaltet das System einen Hydraulikkreislauf sowie einen Kühlkreislauf.

<sup>79</sup> Vgl. Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Hans Hermann Braess, Ulrich Seiffert, 2013, Seite 190

## **3.2 Überblick zum projektbezogenen Flottenmonitoring**

Die nachfolgenden Informationen bezüglich der Vorgehensweise im Flottenmonitoring sollen den grundlegenden Aufbau und den Ablauf des Flottenmonitorings in der AVL List GmbH beschreiben. Sämtliche Informationen stammen aus Gesprächen mit Fachleuten der AVL List GmbH sowie aus zur Verfügung gestellter Präsentationen.

### **3.2.1 Aufbau des Flottenmonitoringprozesses**

Die Erfassung und Analyse von fahrzeugspezifischem Verhalten in der realen Umwelt ist ein wesentlicher Teil in der Fahrzeugentwicklung. Diese Untersuchungen werden anhand von Testflotten durchgeführt, welche über die ganze Welt verteilt in den unterschiedlichsten Testumgebungen zum Einsatz kommen. Zu erwähnen ist hier vor allem die enorme Datenakkumulation, die im Zuge dieser Flottenuntersuchungen entstehen kann. Die dabei gesammelten Datenmengen bewegen sich im Bereich von mehreren hundert Gigabyte pro Jahr. Grundlegende Einflussfaktoren sind hierbei

- Anzahl der Fahrzeuge in der Flotte
- Abtastfrequenz
- Anzahl benötigter Messkanäle
- Anzahl der Betriebszeit je Fahrzeug und Tag
- Anzahl der gesamten Testtage pro Jahr

Im Allgemeinen unterteilt sich der Arbeitsablauf des Flottenmonitorings in drei Bereiche:

- Daten-Beschaffung
- Bewertung und Überwachung
- Ergebnisse

Das Gebiet der Beschaffung (Acquiring) erstreckt sich von der Planung der Testabläufe, über die Definition von Parametern, der Messmittelinstallation, dem Datentransfer bis hin zur Sicherstellung einer ausreichenden Datenqualität.

Der Bereich Bewertung und Überwachung (Assessment and monitoring) beschäftigt sich in erster Linie mit der Dokumentation, der Fehlersuche und der weiteren Aufbereitung der erfassten Informationen.

Die aus den vorherigen Gebieten gewonnenen und aufbereiteten Erkenntnisse werden anschließend in geeigneter Form als Ergebnisse bereitgestellt. Diese Darstellung kann mittels Statusberichten und je nach Anforderung benötigten Übersichten erfolgen. Die Auswertungen beschäftigen sich mit relevanten flottenspezifischen bzw. mit fahrzeugspezifischen Bereichen, mit aufgetretenen Fehlern sowie Trenddarstellungen. Im Fokus der Trenddarstellung steht die Zuverlässigkeitssteigerung (Reliability growth) und die Veränderung der auftretenden Fehler. Grundlegend variieren je nach Bedarf die Übersichtsumfänge hinsichtlich der dargestellten Zeitspannen (Wochenübersichten oder langfristige Übersichten) sowie der analysierten Fahrzeuge bzw. deren Anzahl (fahrzeugspezifische oder flottenspezifische Übersichten). Übersichten und Auswertungen werden an die projektspezifischen Anforderungen angepasst und gegebenenfalls adaptiert bzw. erweitert.

### 3.2.2 Überblick zu möglichen Datenerfassungsarten im Fahrzeug

Prinzipiell unterscheidet man drei Hauptvarianten der Fahrzeugdatenerfassung im Flottenmonitoring. Diese sind in Abbildung 28 symbolisch dargestellt.

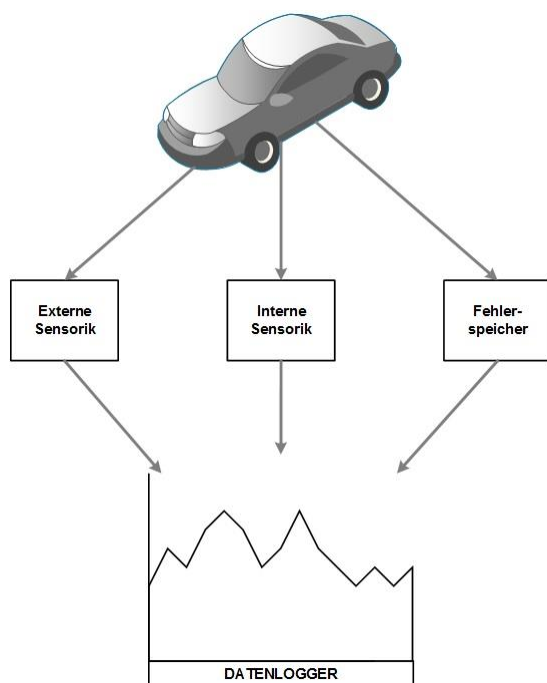


Abbildung 28: Symbolische Darstellung der Hauptvarianten der Fahrzeugdatenerfassung

Man unterscheidet zwischen einer Datenerfassung mit Hilfe einer externen Sensorik, der internen Fahrzeugsensorik und der Dokumentation der Einträge im Fahrzeugfehlerspeicher. Interne Fahrzeugsensorik und die vorhandenen Einträge im Fehlerspeicher haben den Vorteil gegenüber der externen Sensorik, dass diese bereits im System integriert sind und somit keine gravierenden Veränderungen am Fahrzeug benötigen. Dies hat positive Auswirkungen hinsichtlich der realitätsnahen Abbildung des Fahrzeuges (z.B. kein Mehrgewicht durch externe Komponenten) aber auch auf Kosten und Umsetzung. Für bestimmte Analysen ist eine externe Sensorik jedoch unabdingbar, da in der Regel nicht alle für das Flottenmonitoring relevanten Messgrößen mittels interner Sensorik und Fehlerspeicher abgedeckt werden können. Weiters besteht auch die Möglichkeit, dass die interne Sensorik fehlerhafte Werte ermittelt. Hier kann eine Überprüfung auf korrektes Arbeiten der internen Sensorik mittels externer Sensorik von Vorteil sein.

Allgemein stellt sich nicht nur die Frage wie die erforderlichen Informationen gesammelt werden können, sondern auch in welchen Intervallen die Erfassung dieser notwendig ist. Man unterscheidet hier zwischen einer kontinuierlichen und einer regelmäßigen Erfassung der Daten. Eine kontinuierliche Speicherung der Informationen, z.B. Fehlerspeichereinträge, hat den großen Vorteil, dass somit eine eindeutige Erkennung des Zeitpunktes wann welcher Fehler aufgetreten ist, möglich ist. Rückschlüsse, beispielsweise auf den jeweiligen Fahrzeugfahrzustand an dem der Fehler aufgetreten ist, wären möglich. Diese Vorgehensweise ist jedoch aufgrund der durchgängigen Aufzeichnung von Informationen mit immensen Datenmengen verbunden. Somit stellen sich im Wesentlichen drei Fragen:

- Welche Messgrößen müssen erfasst und aufgezeichnet werden?
- In welcher Abtastrate ist die Erfassung erforderlich?
- Welche Messgrößen müssen durchgehend im Betrieb aufgezeichnet werden und welche reichen Event-basiert (Aktivierung bei Auffälligkeit mittels Triggerknopf durch Fahrer)?

Es gilt also den bestmöglichen Kompromiss zwischen Datenvolumen und der Akzeptanz einer nicht kontinuierlichen Aufzeichnung, dem sogenannten „blinden Fleck“, zu finden. Dies ist natürlich in erster Linie von den jeweiligen projektspezifischen Anforderungen abhängig und kann nicht pauschalisiert werden.



### 3.2.3 Auswertung im Flottenmonitoring mittels AVL Concerto™

Die Auswertung der im Flottenversuch gewonnenen Daten erfolgt in der AVL List GmbH im Allgemeinen mittels des Datennachbearbeitungsprogrammes AVL Concerto™. Dabei handelt es sich um ein generisches Datennachbearbeitungswerkzeug. Der Fokus dieser Software liegt dabei auf schneller und intuitiver Analyse von Signalen, Korrelation, Validierung sowie Auswertung erfasster Daten. Bei AVL Concerto™ handelt es sich um ein Werkzeug, welches Daten in aussagekräftige Informationen umwandelt.

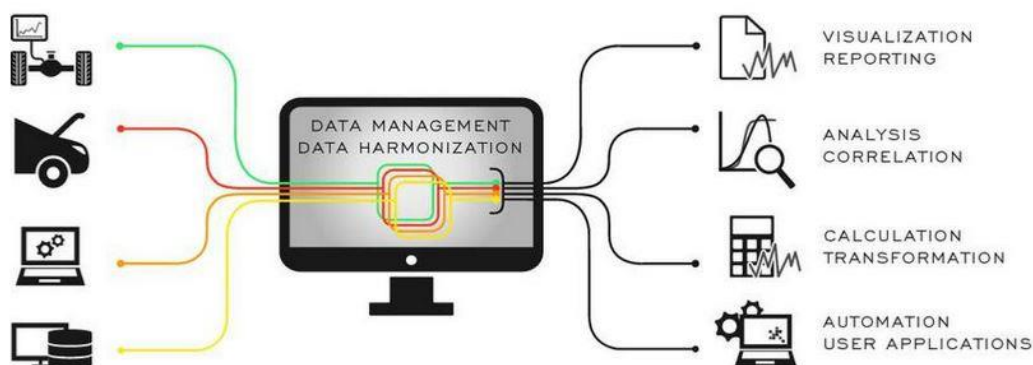


Abbildung 29: AVL Concerto™ Datennachbearbeitungswerkzeug

Dieses Softwarepaket bietet die Möglichkeit der graphischen Auswertung und Visualisierung aller Daten, die beispielsweise aus Prüfstands- oder Fahrzeugversuchen resultieren und stellt somit dem Entwicklungsingenieur ein umfangreiches Anwendungsspektrum zur Verfügung.<sup>80</sup>

---

<sup>80</sup> AVL List GmbH Homepage. CONCERTO

### 3.3 Auswertung - FMEA

Eine der wesentlichsten Auswertungen und Analysen, die dieser Masterarbeit als Grundlage dienen, ist die FMEA-Analyse. Der folgende Abschnitt beschäftigt sich mit dieser essentiellen Analysetechnik und gibt Aufschluss über die Abläufe innerhalb eines Projektes. Weiters wird die Analyse der FMEA zur Ableitung der Anforderungen, der damit verbundene Arbeitsablauf sowie die daraus entstandene Kanalliste skizziert und abgehandelt. Die grundlegende Erstellung der FMEA erfolgt mit Hilfe des Analyseprogrammes APIS (APIS IQ-Software).

#### 3.3.1 FMEA-Struktur und Aufbau im Projekt

Zum besseren Verständnis der relevanten Vorgänge im Zuge einer FMEA und für einen konkreteren Einblick in den projektbezogenen Ablauf einer solchen Auswertung wird im Folgenden der strukturelle Aufbau einer Produkt-FMEA im Projekt erörtert. Die Informationen des nachfolgenden Abschnittes beruhen auf Firmenpräsentationen sowie Gesprächen mit Fachleuten der AVL List GmbH und orientieren sich an dem Standardablauf einer FMEA wie er in der Literatur zu finden ist.

Abbildung 30 zeigt den FMEA-Prozess, wie er im Zuge eines Projektes von Seiten der AVL List GmbH durchgeführt wird.

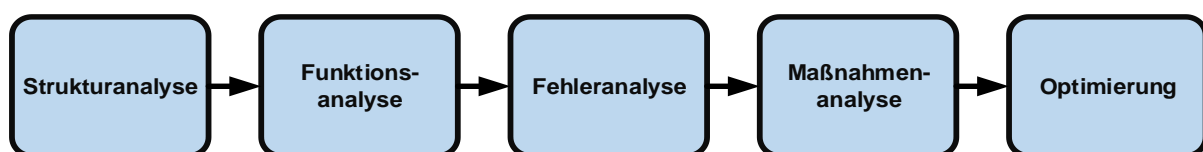


Abbildung 30: Überblick FMEA-Prozess<sup>81</sup>

Im Wesentlichen kommt es bei einer FMEA zu einer Analyse des Gesamtsystems. Diese Betrachtung erfolgt in der Regel von unten nach oben (Bottom up).

In einem ersten Schritt kommt es zu einer Untersuchung des Betrachtungsumfangs, infolge der sogenannten Strukturanalyse. Durch die Erfassung aller Elemente und deren anschließender Diskussion werden die Analysetiefe und der Strukturaufbau festgelegt. Dabei kommt es in weiterer Folge zur Abgrenzung der relevanten

<sup>81</sup> Vgl. Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, 2006, Seite 31ff

Systemgrenzen unter Berücksichtigung aller auftretenden Schnittstellen. Die grundlegende FMEA-Systemstruktur kann nun in APIS erstellt bzw. aufgebaut werden. Den exemplarischen Aufbau einer solchen Systemstruktur zeigt Abbildung 31.

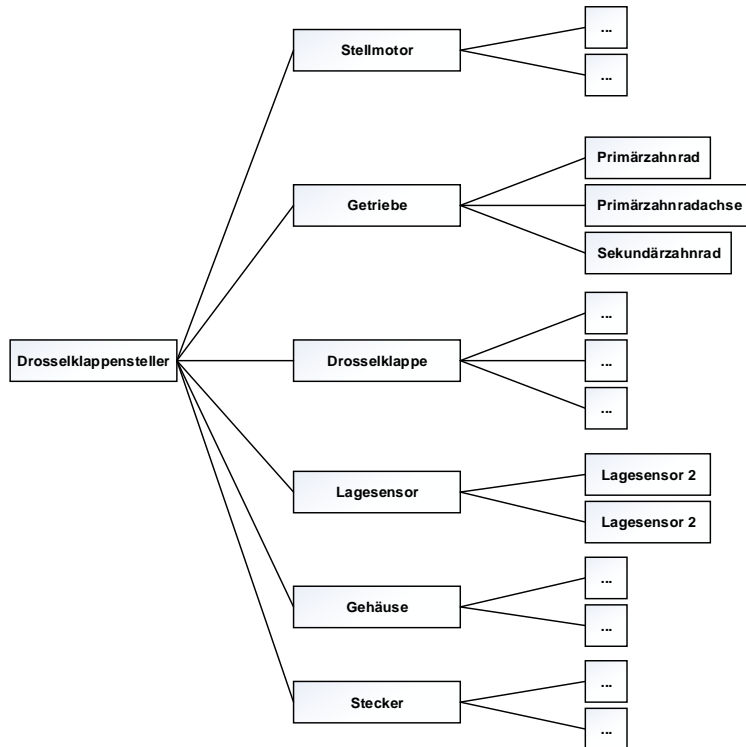
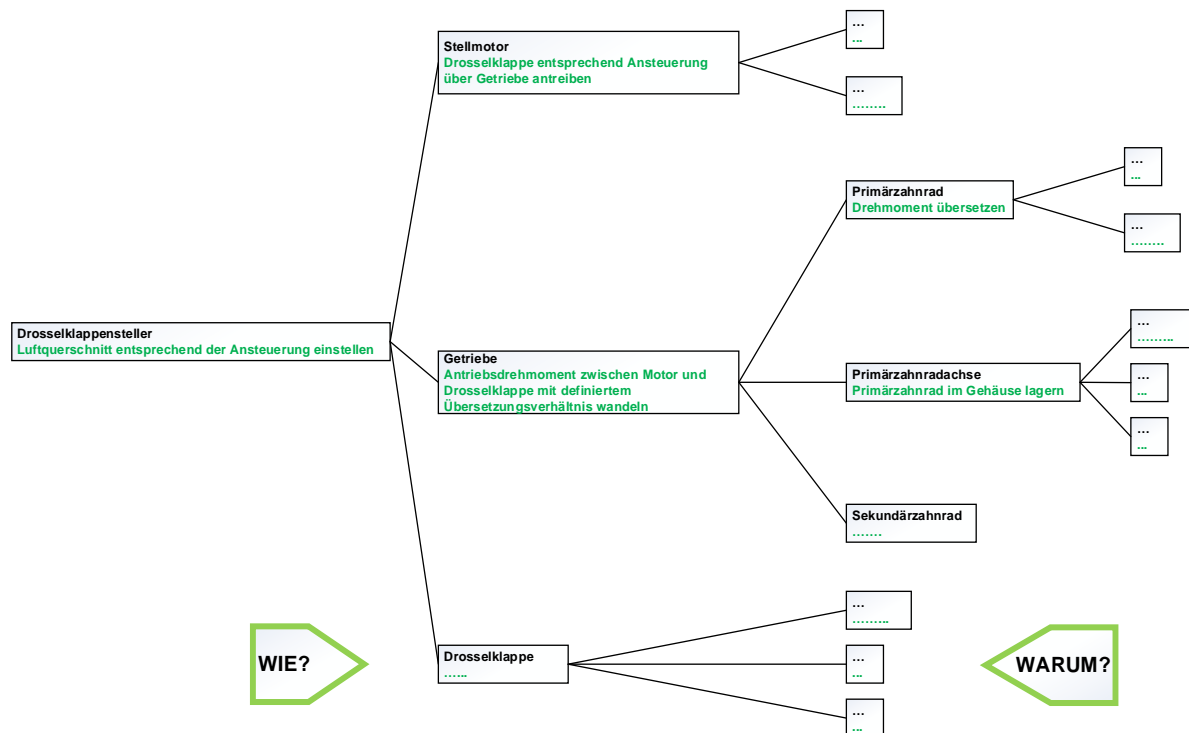


Abbildung 31: Fiktives Beispiel für eine FMEA-Systemstruktur bis zur Komponentenebene<sup>82</sup>

Im Anschluss kommt es zur sogenannten Funktionsanalyse. Hier werden alle Funktionen bzw. Anforderungen, welche sich im Betrachtungsumfang befinden, definiert. „Was muss erfüllt werden?“ und „Was muss es können?“ sind in diesem Abschnitt die zentralen Fragen der Überlegungen. Nach der Festlegung der wesentlichen Funktionen erfolgt eine Einbindung dieser in APIS, siehe Abbildung 32. Hinsichtlich der logischen Verknüpfung der Funktionsstruktur sind die Fragen „WIE?“ (von links nach rechts) sowie „WARUM?“ (von rechts nach links) von Nutzen.

<sup>82</sup> Vgl. Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, 2006, Seite 33

Abbildung 32: Fiktives Beispiel für eine FMEA-Funktionsanalyse<sup>83</sup>

Bei der nachfolgenden Fehleranalyse werden basierend auf den Funktionen mögliche Störungen detektiert und es wird versucht potentielle Auswirkungen bzw. mögliche Ursachen der Fehlfunktion(en) zu identifizieren. Das heißt es werden Fehler, die zur Nichterfüllung einer Funktion führen, erfasst und die Fehlfunktionen sowie die damit verbundenen Verknüpfungen werden in APIS implementiert, wie in Abbildung 33 ersichtlich ist. Das Team besteht für diese ersten Schritte der FMEA in der Regel aus dem zuständigen FMEA-Moderator und einer geeigneten Expertenrunde. Im Laufe der durchgeführten Fehleranalyse wird der Kreis des Teams jedoch um einige Personen erweitert. Teile der Projektleitung, Mitarbeiter der Konstruktion sowie aus der Berechnung und dem Versuch können bei Bedarf die Arbeitsgruppe bei den weiteren FMEA-Schritten unterstützen. Optional können auch externe Experten als auch Lieferanten miteingebunden werden.

<sup>83</sup> Vgl. Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, 2006, Seite 35

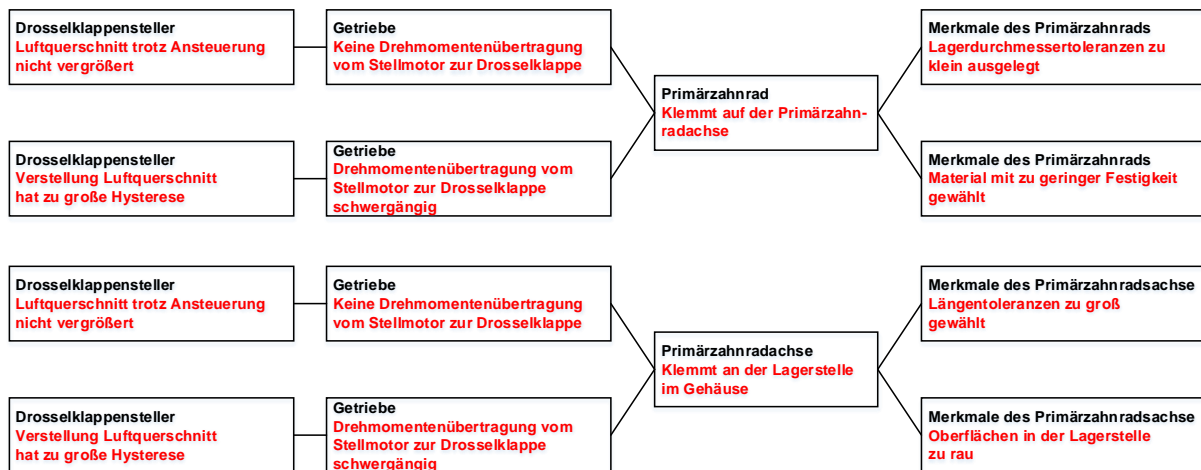


Abbildung 33: Fiktives Beispiel für eine FMEA-Fehleranalyse ausgehend von einem Drosselklappensteller<sup>84</sup>

Nach abgeschlossener Fehleranalyse erfolgen Betrachtung der Maßnahmen und Bewertung dieser mit Hilfe einer Maßnahmenanalyse. Dabei werden Maßnahmen zur Risikominderung identifiziert sowie dokumentiert und es kommt zur Bewertung und Priorisierung potenzieller Ausfälle. Nach Vergabe der Risikokennzahlen und der Bildung von Risikoprioritätszahlen werden diese in die APIS-Struktur eingebunden. Grundlegend gibt es in diesem Abschnitt zwei Ansätze welche sich auf die folgende Fragestellung stützen:

- Welche Maßnahmen sind geplant?
- Welche Maßnahmen sind bereits umgesetzt?

Seitens der AVL List GmbH wird ersterer Ansatz präferiert und umgesetzt.

Der letzte Schritt dieser Prozedur ist die sogenannte Optimierung. Im Zuge dessen kommt es zur Kontrolle der Prüfbarkeit sowie Effizienz der Minderungsmaßnahmen und zur Ermittlung neuer Ausfallarten und der damit verbundenen Aktionen. Somit kommt es hier zu einer Ergänzung der definierten Maßnahmen und Überlegungen hinsichtlich weiterer möglicher Versuche oder Simulationen. Zur Beurteilung welche Bereiche einer Optimierung unterzogen werden sollten und wo entsprechende weitere Maßnahmen notwendig sein könnten gibt es verschiedene Herangehensweisen. Ein Ansatz wäre die Wahl fixer Risikoprioritätswerte, welche als Grenzwert eingesetzt werden. Dieser Ansatz hat den Nachteil, dass es im Zuge dessen zur Beeinflussung von Bewertungen kommen könnte, um eventuelle Maßnahmen zu vermeiden und somit einzusparen. Die AVL List GmbH bevorzugt hier die Ermittlung eines Grenzwertes basierend auf der Risikoprioritätszahl mittels Paretoprinzip.

<sup>84</sup> Vgl. Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, 2006, Seite 37

Bei der im Laufe eines Projektes durchgeführten FMEA-Prozedur handelt es sich um einen sich ständig weiterentwickelnden Prozess. Diese „lebende“ FMEA-Struktur wird ständigen Erweiterungen und Optimierungen unterzogen. Daraus resultierende Veränderungen werden mit Hilfe von chronologisch angeordneten Maßnahmenständen in APIS deklariert und somit zugänglich gemacht. Abbildung 34 zeigt einen möglichen Aufbau eines FMEA-Formblattes. Im rechten Bereich dieser Darstellung ist die chronologische Anordnung der Maßnahmenstände beispielhaft ersichtlich. Die jeweiligen darunter angeführten Bereiche geben Aufschluss über den aktuellen Stand der durchzuführenden Maßnahmen. Dadurch ist auch ersichtlich, welche Prozesse bereits abgeschlossen bzw. nicht umgesetzt sind.

Mögliche Fehlerfolge	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	K	Vermeidungsmaßnahme	A	Entdeckungsmaßnahme	E	RPZ	V/T
<b>Systemelement: Primärzahnrad</b>										
<b>Funktion: Drehmoment von der Ausgangswelle auf das Sekundärzahnrad übertragen</b>										
[Getriebe] <Antriebsdrehmoment zwischen Motor und Drosselklappe mit definiertem Übersetzungsverhältnis wandeln> Keine Drehmomentübertragung vom Stellmotor zur Drosselklappe	10	[Primärzahnrad] Klemmt auf der Primärzahnradachse	[Merkmale des Primärzahnrad] <Lagerdurchmesser 3 mm +/- 0,1mm> Lagerdurchmessertoleranzen zu klein ausgelegt				Maßnahmenstand - Anfang: 13.06.2005			
>> [Drosselklappensteller] <Luftquerschnitt entsprechend der Ansteuerung einstellen> Luftquerschnitt trotz Ansteuerung nicht vergrößert	10				Auslegung nach Toleranzberechnung nach VA 554 auf den Wert +/- 0,1 mm Müller KW 24, 2005 abgeschlossen	2	Funktionstest nach PA 998 Musterteile Schmidt KW 25, 2005 nicht umgesetzt	6	200 (120)	Müller Schmidt KW 24, 2005 - KW 25, 2005 nicht umgesetzt
[Getriebe] <Antriebsdrehmoment zwischen Motor und Drosselklappe mit definiertem Übersetzungsverhältnis wandeln> Drehmomentübertragung vom Stellmotor zur Drosselklappe schwergängig	9									
>> [Drosselklappensteller] <Luftquerschnitt entsprechend der Ansteuerung einstellen> Verstellung Luftquerschnitt hat zu große Hysterese	9						Maßnahmenstand: 20.06.2005			
						2	Verschleißanalyse nach Dauerlauf im Temperaturwechselbetrieb	2	(40)	Meier KW 25, 2005 nicht abgeschlossen

Abbildung 34: Auszug eines Beispiels für den Aufbau eines FMEA-Formblattes<sup>85</sup>

<sup>85</sup> Vgl. Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, 2006, Seite 47

### 3.3.2 Analyse der FMEA-Daten

Wie bereits erwähnt fokussiert sich die Betrachtung auf das P2-Modul und den damit verbundenen Auswertungen. Somit ist es notwendig, die vorhandenen FMEA-Daten dementsprechend auf diese P2-Modul-Baugruppe hin zu optimieren, zu filtern und auszuwerten. Diese Vorgangsweise und Methodik zur Analyse der FMEA-Daten wird im folgenden Abschnitt abgehandelt und der grundlegende Ablauf in Abbildung 35 dargestellt.

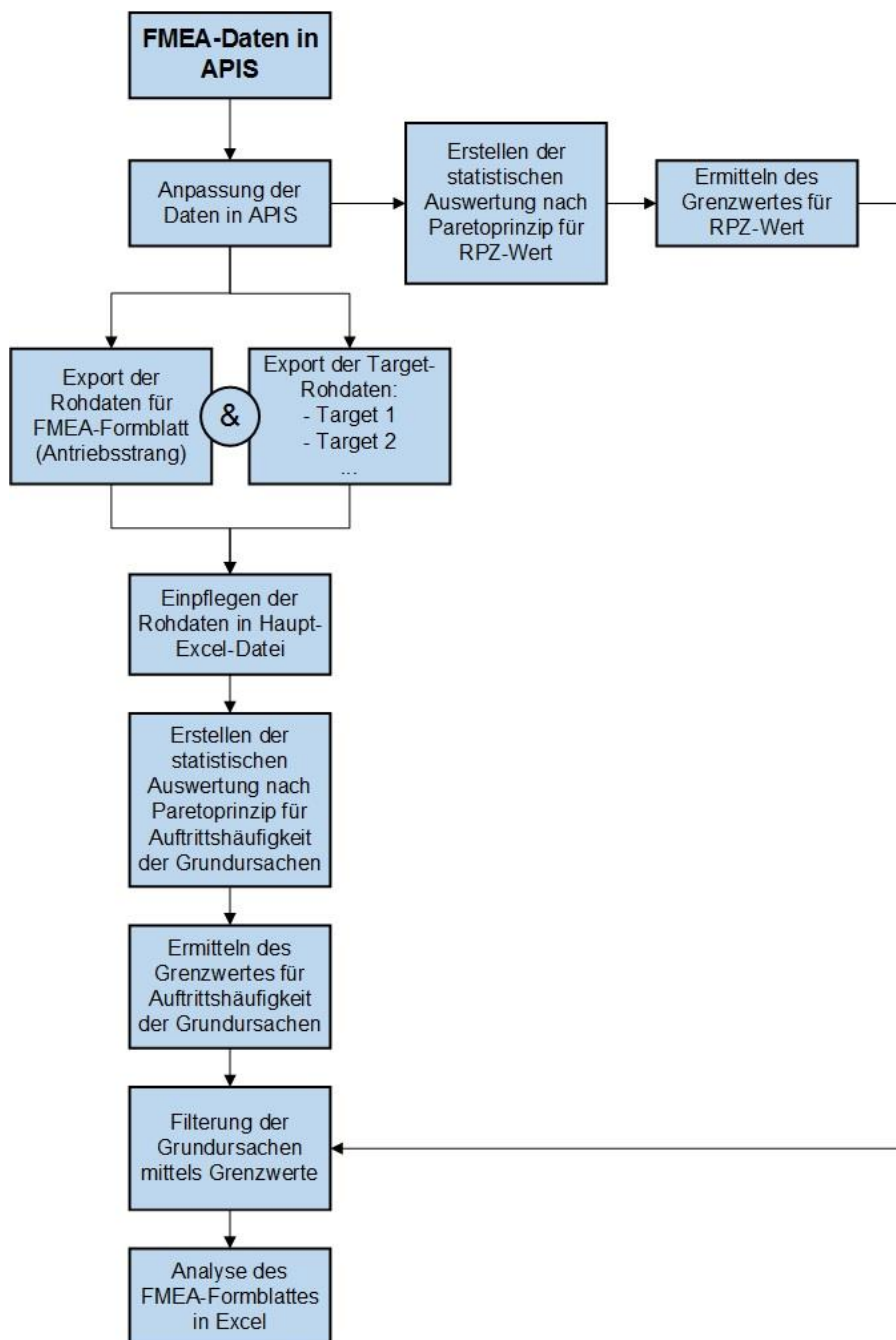


Abbildung 35: Grundlegender Ablauf bei der Analyse der FMEA-Daten

### 3.3.2.1 Rohdatenerstellung in APIS

Eine erste Anpassung der FMEA-Daten auf das gewünschte Teilsystem erfolgt mit Hilfe der FMEA-Software APIS.

Abbildung 36 zeigt einen fiktiven Aufbau einer FMEA-Struktur. Ausgehend vom hier angeführten Antriebsstrang kommt es zu einer Aufteilung in mehrere Teilsysteme, welche jeweils wieder aus Baugruppen bestehen. Diese Baugruppen setzen sich wiederum aus verschiedenen Bauteilen zusammen.

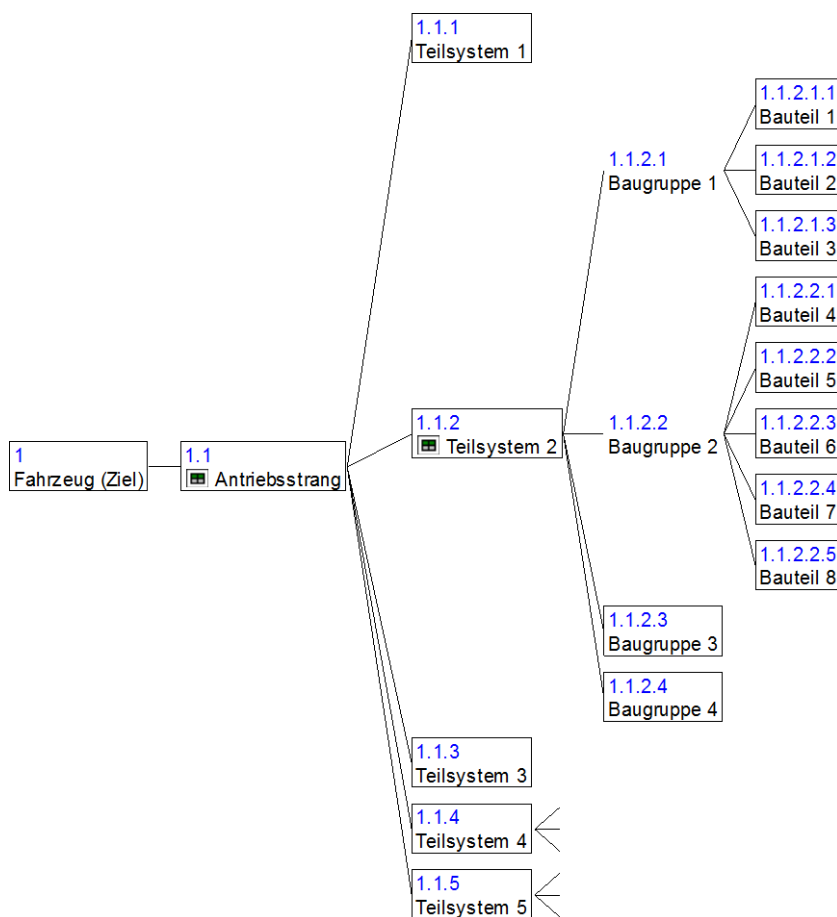


Abbildung 36: Schema einer fiktiven FMEA-Struktur

Um eine Reduktion der FMEA-Struktur auf ein wesentliches Teilsystem zu erreichen werden alle für diese Betrachtung unbedeutenden Teilsysteme entfernt. Weiters ist es notwendig, Verknüpfungen von noch verbliebenen Baugruppen zu bereits eliminierten Teilsystemen zu beseitigen. Wie in Abbildung 37 ersichtlich, bleibt dadurch nur noch das zu analysierende Teilsystem mit seinen Baugruppen und Bauteilen erhalten.



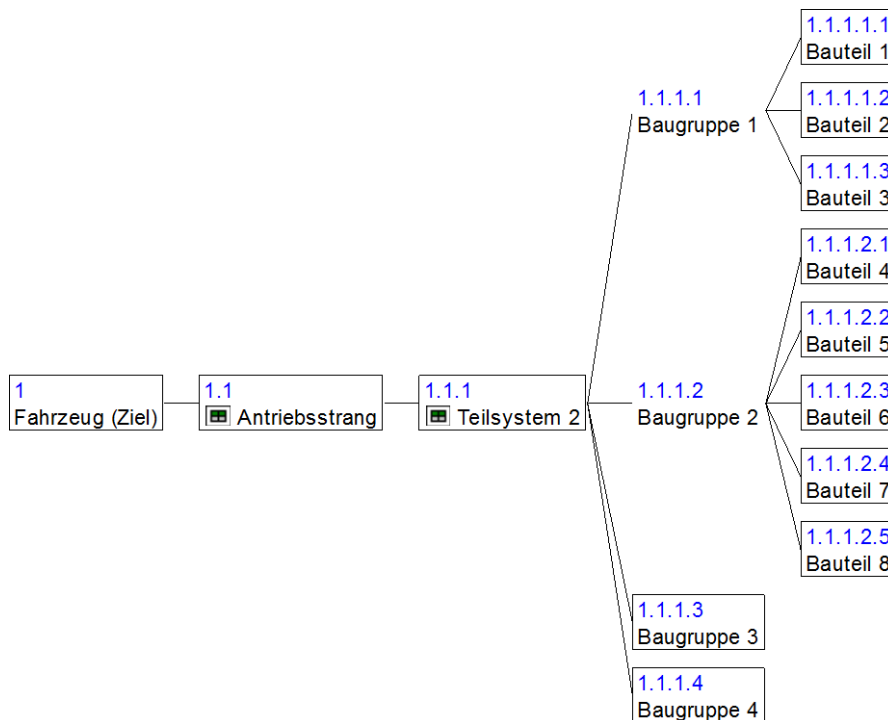


Abbildung 37: Reduzierte FMEA-Struktur mit dem Fokus auf das betrachtete Teilsystem

Im nächsten Schritt wird ein Formblatt für die noch verbliebene Struktur in APIS abgeleitet. Die Ableitung erfolgt auf Ebene des Antriebsstranges durch Nutzung der APIS-Funktion FMEA-Formblatt. Dadurch erhält man ein vollständiges APIS-Formblatt dieser FMEA-Struktur mit allen relevanten FMEA-Daten in Tabellenform. Diese Daten werden mittels der Exportfunktion ausgegeben und im Excel-Format abgelegt. Diese Rohdatentabelle bildet die Basis für die weiteren Auswertungen. Nach der Einbindung und der geeigneten Formatierung in einer Excel-Datei wird diese Datenliste als FMEA-Formblatt bezeichnet. Auf den Aufbau und die Formatierung dieses FMEA-Formblattes wird in Kapitel 3.3.2.2 *Struktur und Aufbau des FMEA-Formblattes* in Excel eingegangen.

Zusätzlich zu der im vorherigen Schritt gewonnenen Datenliste sind Informationen, welche sich direkt auf das Ziel (Target) beziehen, von Interesse.

Diese werden aus dem soeben abgeleiteten APIS-Formblatt durch geeignete Filterung auf das jeweilige Target gewonnen. Die Filterung erfolgt innerhalb der APIS-Software durch Setzen eines benutzerdefinierten Filters über die individuelle Nomenklatur der FMEA. Die im Zuge dieser Masterarbeit analysierte FMEA verfügt über insgesamt zehn relevante Targets, welche durch eine Nummerierung von 1.a. bis 1.j. zu unterscheiden sind, siehe Tabelle 2. Mit Hilfe dieser Bezeichnungen ist eine

zielbezogene Filterung möglich. Anschließend wird mittels der Exportfunktion für jedes Target eine eigene Rohdatendatei im Excel-Format abgelegt.

Tabelle 2: Übersicht der relevanten Targets des P2-Moduls

	Targets
1	1.a fuel consumption target
2	1.b max. velocity performance targets
3	1.c acceleration performance targets
4	1.d pure electric performance targets
5	1.e drivability target
6	1.f comfort/NVH
7	1.g emission targets
8	1.h environment
9	1.i safe operation
10	1.j durability and reliability targets

### 3.3.2.2 Struktur und Aufbau des FMEA-Formblattes als Excel-Tabelle

Um die aus APIS exportierten Rohdaten in einer strukturierten Form analysieren zu können, müssen diese Informationen in ein geeignetes Layout eingepflegt werden. Als Basis dient eine Exceldatei, welche als Haupt-Excel-Datei bezeichnet wird. Als erstes werden die ungefilterten abgeleiteten Rohdaten eingefügt. Wie bereits erwähnt bilden diese die Grundlage der weiteren Auswertungen und werden in Excel als FMEA-Formblatt benannt. Nach dem Einfügen der Daten muss eine bestimmte Formatierung und Strukturierung vorgenommen werden. Tabelle 3 zeigt schematisch den Aufbau eines solchen FMEA-Formblattes in Excel anhand eines Datenblockes.

Tabelle 3: Schematischer Aufbau des FMEA-Formblattes in Excel

FMEA-Formblatt in Excel												
Target / Effects	S	Failure mode	Cause	O	Detection action	D	RPN	Überwachte Größen	Messkanäle	Einheit	Messgrößen rein aus FMEA-Text	Kommentar
<b>Funktion</b>												
<b>Ziele / Auswirkungen</b>	Risikobewertung: Bedeutung (Severity)	<b>Fehler</b>	<b>Ursachen</b>	Risikobewertung: Auftretenswahrscheinlichkeit (Occurrence)	Entdeckungsmaßnahme	Risikobewertung: Entdeckungs-wahrscheinlichkeit (Detection)	Risikoprioritätszahl					
				Risikobewertung: Auftretens-wahrscheinlichkeit (Occurrence)	Entdeckungsmaßnahme	Risikobewertung: Entdeckungs-wahrscheinlichkeit (Detection)	Risikoprioritätszahl					
			<b>Grundursachen</b>	Risikobewertung: Auftretenswahrscheinlichkeit (Occurrence)	Entdeckungsmaßnahme	Risikobewertung: Entdeckungs-wahrscheinlichkeit (Detection)	Risikoprioritätszahl					
				Risikobewertung: Auftretenswahrscheinlichkeit (Occurrence)	Entdeckungsmaßnahme	Risikobewertung: Entdeckungs-wahrscheinlichkeit (Detection)	Risikoprioritätszahl					

In dieser Ausgabeform der FMEA-Struktur findet man übergeordnet die verschiedenen Funktionen, welche Aufschluss über die jeweilige zu erfüllende Aufgabe geben. Die Funktion ist durch eine orange Hintergrundfarbe gekennzeichnet. Beispielsweise könnte es sich hier um eine Funktion wie das „Bereitstellen der statischen Kraft für den Boost-Betrieb“ handeln. Darunter findet man die zu erreichenden Ziele (Targets) sowie die dazugehörigen Auswirkungen, welche mit der jeweiligen Funktion verknüpft sind. Exemplarisch könnte hier eines dieser Ziele das Erreichen einer maximalen Geschwindigkeit sein, verbunden mit der Auswirkung, dass eine zu geringe Antriebsleistung abgeliefert wird. Ein weiteres Feld gibt Aufschluss über mögliche Fehler, wie zum Beispiel „kein Boosten“. In Anbetracht des hier angeführten Fehlers bzw. nicht erfüllten Zieles stellt sich die Frage der Ursache der Nichterreichung der Vorgabe. Diese Ursache ist im Formblatt mittels grauer Hintergrundfarbe gekennzeichnet und könnte etwa auf „kein Drehmomenttransport von Motor und Elektromotor zum Getriebe“ zurückzuführen sein. Direkt unter der jeweiligen Ursache findet man die sogenannte Grundursache, welche wiederum mit der Ursache verknüpft ist. So könnte zum Beispiel eine Grundursache wie „unzureichender Öldruck der Pumpe“ dazu führen, dass sich eine Kupplung nicht schließen kann und somit kein

Drehmomenttransport zum Getriebe stattfindet. Weiters beinhaltet das Formblatt relevante Entdeckungsmaßnahmen sowie alle Risikobewertungszahlen wie Bedeutung der Fehlerfolgen, Auftretenswahrscheinlichkeit und Entdeckungswahrscheinlichkeit der Fehlerursache.

Die weiteren Felder des Formblattes wie Überwachte-Größen, Messkanäle, Einheit Messgrößen rein aus FMEA-Text und Kommentar sind erst in weiterer Folge relevant und werden im Zuge der Auswertung der Daten befüllt.

### 3.3.2.3 Einbindung der Target-Rohdaten in die Haupt-Excel-Datei

Im erstellten FMEA-Formblatt finden sich eine Vielzahl von Grundursachen wieder. Eine vollständige Analyse all dieser Einträge wäre aus zeitlichen als auch aus Gründen der untergeordneten Bedeutung nicht sinnvoll. Weiters ist eine Filterung von Grundursachen vertretbar, da diese einem detaillierteren Hinweis zur Ursache der Fehlerfunktion entsprechen. Um einen Überblick über alle Ursachen als auch Grundursachen zu bekommen und somit diese in weiterer Folge auch bewerten zu können, ist es notwendig die vorher erstellten zielbezogenen Rohdaten einzubinden. Dazu werden die Rohdaten in ein eigenes Exceldatenblatt der Haupt-Excel-Datei kopiert. Diese entsprechen dem jeweiligen Target und werden zum Beispiel als 1\_a\_fuel-consumption-target\_raw benannt. Zur weiteren Bearbeitung der Daten und zur Erhaltung der unveränderten Rohdaten wird dieses erstellte Excelblatt in derselben Exceldatei nun kopiert und umbenannt in 1\_a\_fuel-consumption-target. Diese Vorgehensweise wird für alle erstellten Target-Rohdaten durchgeführt. Zur besseren Übersichtlichkeit werden mit Hilfe eines geeigneten Makros alle Zeilen, welche keine relevanten Daten für die weitere Analyse enthalten, gelöscht. Dazu wird das Makro „delete\_Cell“ an allen erstellten Excelblättern (kopierte Target-Rohdaten wie z.B. 1\_a\_fuel-consumption-target) angewandt.

### 3.3.2.4 Ansätze für geeignete Filterungsmethoden der Grundursachen

Um eine sinnvolle Filterung und eine damit verbundene Reduktion der Grundursachen zu erreichen, werden zwei Parameter als Grenzwert eingesetzt. Diese sind einerseits die Höhe der Risikoprioritätszahl und andererseits die Auftrittshäufigkeit der Grundursache und die damit verbundene Anzahl der Verletzungen von zu erreichenden Zielen (Targets).



Es ist natürlich möglich diese Grenzwerte in verschiedener Art und Weise zur Filterung der vorliegenden Grundursachen einzusetzen. Hier haben sich zwei unterschiedliche Methoden als zielführend herauskristallisiert. Beide Anwendungen haben ihre Vor- bzw. Nachteile.

Die erste Filterungsart setzt den Grenzwert der Auftrittshäufigkeit zur Vorfilterung ein und reduziert dadurch im ersten Schritt die Anzahl der Grundursachen. In einem zweiten Schritt werden die den Grenzwert der Auftrittshäufigkeit überschreitenden Grundursachen nach ihrer Risikoprioritätszahl beurteilt. Dadurch ergibt sich eine stark reduzierte Menge an Grundursachen, was sich in Folge dessen positiv auf den Auswertungsumfang auswirkt. Jedoch führt diese starke Reduktion auch ein gewisses Maß von Ungenauigkeit mit sich.

Der zweite Ansatz für eine Filterung der Grundursachen nutzt beide Grenzwerte separat voneinander. Das heißt, alle Grundursachen werden hinsichtlich ihrer Auftrittshäufigkeit als auch ihrer Risikoprioritätszahl gefiltert. Überschreitet eine Grundursache einen dieser Grenzwerte, so wird diese in die Auswertung aufgenommen. Eine solche Methode hat den Nachteil, dass sich der Auswertungsumfang aufgrund der fehlenden Vorfilterung deutlich umfangreicher gestaltet, allerdings wird die Untersuchung dadurch auch detaillierter ausgelegt. Ein wesentlicher Vorteil dieses Ansatzes ist jedoch, dass Grundursachen welche nicht häufig auftreten aber eine sehr hohe Risikoprioritätszahl haben, im Zuge dieser Filterungsmethode definitiv berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wird dieses Reduktionsprinzip für die weitere Auswertung herangezogen.

### 3.3.2.5 Reduktion der Grundursachen und Aufbereitung des FMEA-Formblattes

Zur Ermittlung der benötigten Grenzwerte wird das Paretoprinzip angewandt, welches in Kapitel 2.2.8 *Grundlagen des Paretoprinzips* erörtert wird.

Für die Anwendung des Paretoprinzips auf die Risikoprioritätszahlen kommt das APIS-Paretowerkzeug zum Einsatz. Dazu wird die auf die P2-Modul-Baugruppe reduzierte APIS-Struktur geöffnet und die Funktion „Statistische Auswertung“  angewählt. Im nächsten Schritt wird durch das Symbol „Paretoanalyse“  die Auswertung gestartet. Das Resultat einer solchen Analyse ist, wie in Abbildung 38 abgebildet, eine Gegenüberstellung aller Grundursachen und der dazugehörigen Risikoprioritätszahlen. Der rote Bereich entspricht jenen Grundursachen, welche ihren

Risikoprioritätszahlen entsprechend in weiterer Folge analysiert werden müssen. Diese Auswertung bezieht sich auf das im Zuge dieser Masterarbeit analysierte System. In diesem speziellen Fall ergab sich ein Grenzwert für die Risikoprioritätszahl von 120.

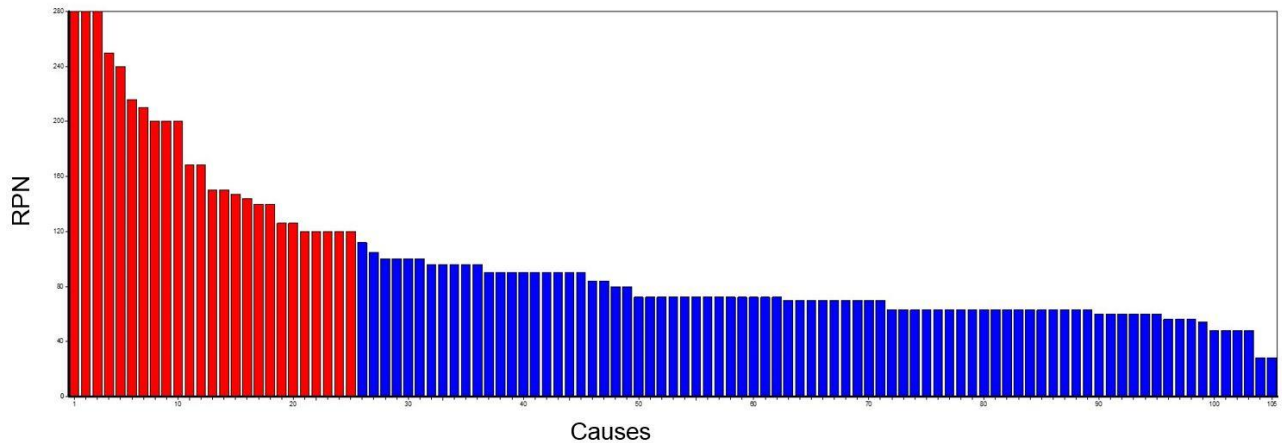


Abbildung 38: APIS-Paretoauswertung, Risikoprioritätszahl für P2-Modul

Zur Bestimmung eines Grenzwertes hinsichtlich der Auftrittshäufigkeit diverser Grundursachen muss eine andere Vorgehensweise gewählt werden. Zur besseren Übersicht der vorhandenen Grundursachen dient eine Pivottabelle. Diese soll in die Haupt-Excel-Datei inkludiert werden. Um diese Tabelle generieren zu können ist es notwendig alle Daten aus den einzelnen Excelblättern, welche zielbezogene Rohdaten beinhalten (z.B. 1\_a\_fuel-consumption-target) in eine geeignete Form umzustrukturieren. Es muss in einem ersten Schritt eine geeignete Datentabelle erstellt werden. Dazu wird das Makro „data\_Sheet“ in jedem einzelnen zielbezogenen Excelblatt ausgeführt. Dieses Makro erstellt nun automatisch ein Excelblatt und kopiert alle auftretenden Ursachen sowie Grundursachen des jeweiligen Targets in diese Tabelle. Wenn sämtliche zielbezogenen Excelblätter abgearbeitet sind und somit eine vollständige Datentabelle vorliegt, kann mit Hilfe des Makros „data\_Pivot“ eine pivottaugliche Tabelle erstellt werden.

Nun ist eine Einbindung der Daten sowie die Darstellung aller Ursachen als auch Grundursachen in einer Excelpivottabelle möglich. Dies hat den Vorteil, dass durch entsprechende Konfiguration sämtliche Ursachen bzw. Grundursachen, verknüpft mit dem dazugehörigen Target und der Häufigkeit des Auftretens abgebildet werden können. Ein Beispiel dafür ist Tabelle 4, welche einen Ausschnitt einer solchen erstellten Excelpivottabelle zeigt.

Tabelle 4: Exemplarischer Ausschnitt einer Excelpivottabelle bezogen auf die Grundursachen

Grundursachen:	[Targets] <fuel consumption target 5.0 L/100 km> too high fuel consumption	[Targets] <max. velocity performance targets> too low performance	[Targets] <acceleration performance targets> too low performance	[Targets] <pure electric performance targets> too low pure electric range	Gesamtanzahl der Targetverletzungen je Grundursache
[AR LV components] <interface to LV components> insufficient sealing of LV against transmission oil	3	10	10	3	26
[Axial bearing] <axial positioning of output shaft to input shaft> wrong axial positioning	1				1
[Axial bearing] <ensure sufficient oil flow to C0 centrifugal compensation> insufficient oil flow	1				1
[C0 clutch solenoid signal] <C0 clutch solenoid signal> no current (solenoid opened)		1	1		2

In dieser Tabelle wird ersichtlich, dass zum Beispiel die Grundursache „insufficient sealing of LV against transmission oil“, 10 mal dazu führt, dass das Target „max. velocity performance targets“ nicht erreicht wird.

Im Anschluss kann eine Sortierung der einzelnen Grundursachen nach der Gesamtanzahl der Zielverletzungen vorgenommen werden. Anhand dieser Sortierung ist es nun möglich das Paretoprinzip anzuwenden und einen Grenzwert zu ermitteln. Abbildung 39 zeigt diese Auswertung hinsichtlich aller Grundursachen des analysierten P2-Moduls. Daraus geht ein Grenzwert für die Auftretshäufigkeit von 41 hervor.

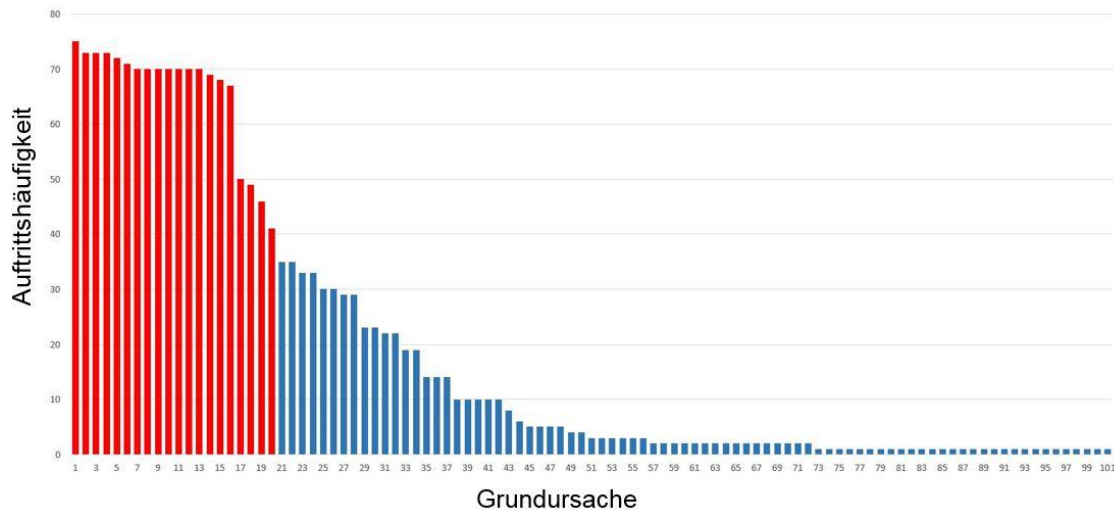


Abbildung 39: Paretoauswertung, Auftretshäufigkeit der Grundursachen für das P2-Modul

Aus den beiden vorangegangenen Analysen stehen nun zwei Grenzwerte zur Verfügung mit denen es möglich ist, die Grundursachen zu reduzieren. Dies erfolgt nach der in Kapitel 3.3.2.4 *Ansätze für geeignete Filterungsmethoden der Grundursachen* ausgewählten Filterungsmethode. Überschreitet eine Grundursache einen der beiden Grenzwerte, so ist die genauere Analyse dieser erforderlich.

Um die Grenzwerte in das auszuwertende Datenblatt einfließen zu lassen dient das Makro „analysis \_Root“. Die ermittelten Grenzwerte werden direkt im Programmcode in Excel hinterlegt und anschließend wird dieses am FMEA-Formblatt ausgeführt. Dieses Makro führt einen Abgleich aller im Dokument vorhandenen Zeilen hinsichtlich der hinterlegten Grenzwerte durch. Alle grenzwertüberschreitenden Grundursachen werden farblich markiert und somit für die weitere Auswertung gekennzeichnet.

Im Zuge dieser grenzwertorientierten Festlegung von zu analysierenden Grundursachen könnte es eventuell dazu kommen, dass Grundursachen, welche erheblichen sicherheitsrelevanten Einfluss auf Mensch und Maschine haben, aufgrund des Nichtüberschreitens der Werte nicht gekennzeichnet werden. Dabei handelt es sich um sogenannte Sicherheitsoperationen, welche in Folge als „KO-Kriterien“ deklariert werden müssen. Diese Bereiche sind im FMEA-Formblatt bereits als „<safe operation>“ benannt und werden unabhängig ihrer Auftretshäufigkeit sowie ihres RPN-Wertes immer ausgewertet. Um diese kennzeichnen zu können, wird mit Hilfe der Excel-Suchfunktion nach dem Begriff „<safe operation>“ gesucht und daraufhin werden diese Bereiche farblich markiert.



Durch all diese vorgenommenen Aktionen liegt nun ein vollständiges FMEA-Formblatt in Excel vor, in dem alle für die weitere Analyse relevanten Bereiche gekennzeichnet sind.

### 3.3.2.6 Ablauf zur Analyse des FMEA-Formblattes

Der folgende Abschnitt befasst sich mit der Analyse und der damit verbundenen Befüllung des FMEA-Formblattes. Der Fokus dieser Auswertung soll dabei auf für das Flottenmonitoring relevanten Messgrößen liegen. Grundlegend werden sämtliche Zeilen des FMEA-Formblattes begutachtet und auf Relevanz überprüft. Alle farblich markierten Grundursachen fließen prinzipiell in die Auswertung mit ein, es sei denn diese beziehen sich auf für das Flottenmonitoring irrelevante Gebiete. Dieses betrifft beispielsweise Zonen in denen es um korrekten Zusammenbau der Komponenten, Dichtheit des Systems oder grundlegende Festigkeiten der Bauteile geht. Diese Bereiche sind, wie zuvor bereits erwähnt, vernachlässigbar, da die Annahme gilt, dass das Fahrzeug, welches in der Flotte zum Einsatz kommt, voll funktionsfähig ist. Abbildung 40 gibt einen Überblick über das Verhältnis der relevanten zu den für das Flottenmonitoring irrelevanten Grundursachen bezogen auf das analysierte P2-Modul. Dieses soll zur besseren Übersicht der FMEA-Auswertungsmethode dienen. Hier ist ersichtlich, wie sich die Verteilung in Bezug auf Funktional- sowie Dauerhaltbarkeitsgrundursachen verhält.

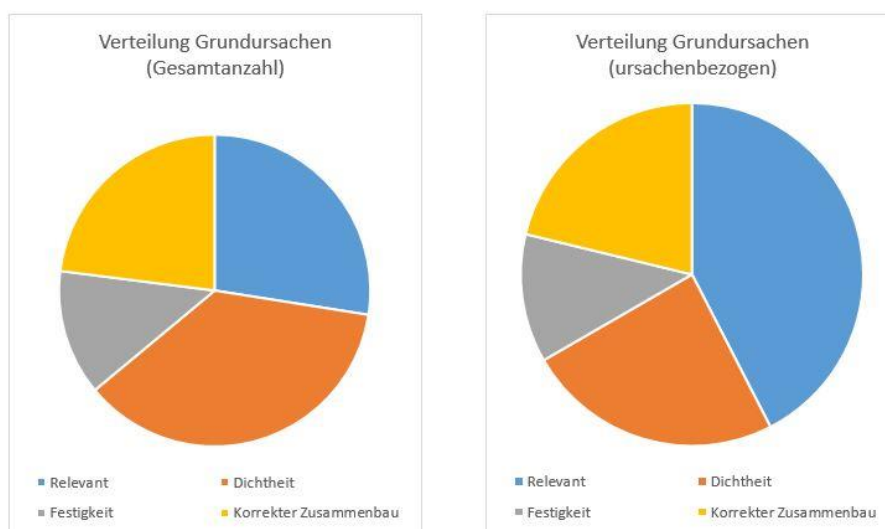
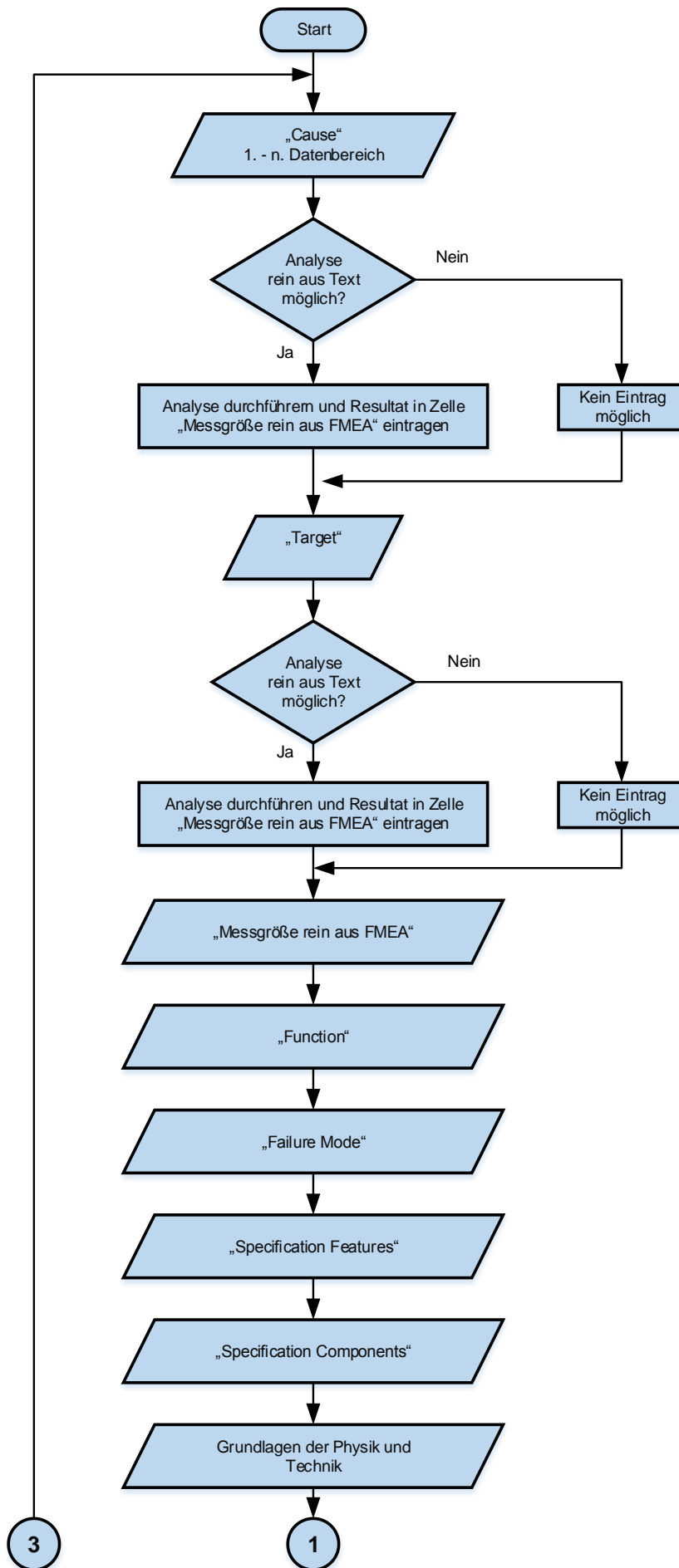


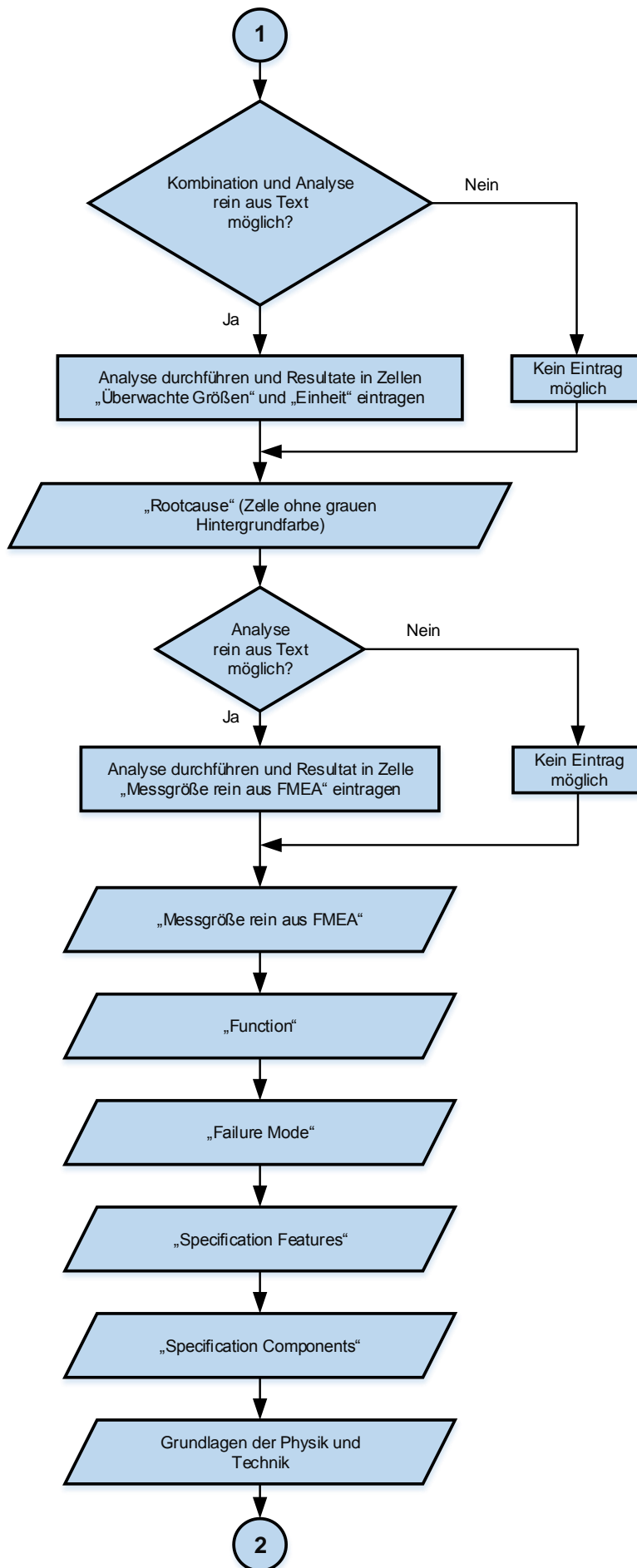
Abbildung 40: Links: Verteilung der für das Flottenmonitoring relevanten bzw. irrelevanten grenzwertentsprechenden Grundursachen (Gesamtanzahl) / Rechts: Verteilung der für das Flottenmonitoring relevanten bzw. irrelevanten grenzwertentsprechenden Grundursachen (ursachenbezogen- jeder Grundursachentyp nur einmal erfasst)

Nach Beendigung aller Vorarbeiten sowie der Berücksichtigung aller Reduktionen liegt nun ein für die weiteren Analysen vollständig aufbereitetes und hinsichtlich Relevanz gekennzeichnetes FMEA-Formblatt vor.

Analysiert werden alle als Target (Ziele), Ursachen oder „KO-Kriterium“ gekennzeichneten Zeilen bzw. Bereiche sowie alle jene Grundursachen welche farblich markiert sind und als relevant für das Flottenmonitoring gelten.

Im Zuge der weiteren Auswertung wird nun das FMEA-Formblatt Zeile für Zeile analysiert und einer Messgrößenüberlegung unterzogen. Die Resultate der Überlegungen wie überwachte Größen, Messkanäle, Einheiten werden anschließend in den entsprechenden Tabellenfeldern, siehe Tabelle 3, eingetragen. Dabei wird vor allem eine Unterscheidung getroffen, ob die ermittelten Messgrößen rein aus dem Text der FMEA oder durch technisches Verständnis und damit verbundenen Überlegungen gewonnen werden. Die genauere Vorgehensweise bzw. der korrekte Ablauf der Auswertung soll in Abbildung 41 mit Hilfe eines Ablaufdiagramms verdeutlicht werden. Hier sei weiters erwähnt, dass eine sinnvolle Auswertung aus Gründen des Systemverständnisses nur mit Hilfe geeigneter technischer Spezifikationsdokumente möglich ist. Diese Informationen werden benötigt, um die Zusammenhänge der einzelnen Komponenten verstehen zu können und stellen einen essentiellen Input für die weiteren Analysen dar.





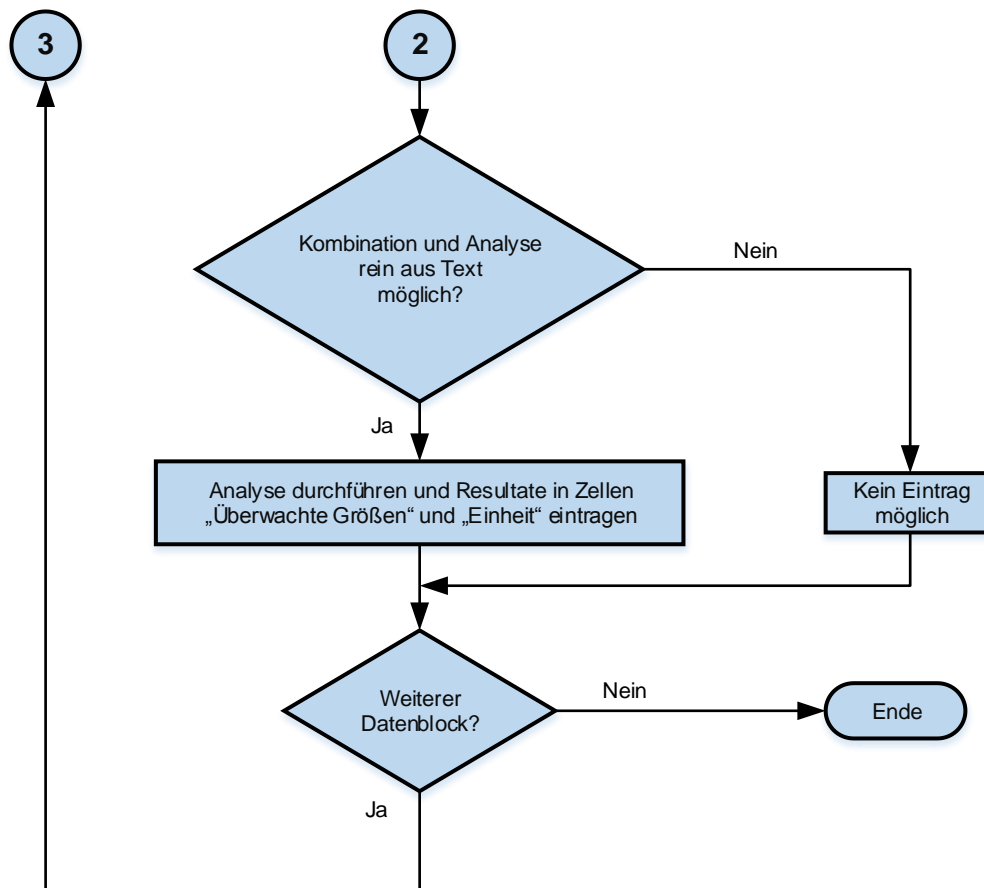


Abbildung 41: Ablaufdiagramm zur Analyse der relevanten FMEA-Datenblöcke

Zum besseren Verständnis der Auswertung sei hier Tabelle 5 angeführt, in welcher ein Teilbereich eines ausgewerteten und befüllten Datenblattes abgebildet ist. Die unterschiedlichen Textfärbungen geben hier Aufschluss über den Ursprung der jeweilig abgeleiteten Messgrößen. So sind Messgrößen mit blauer Schrift auf eine Ursache bzw. Grundursache und Messgrößen mit grüner Schrift auf ein Target zurückzuführen. Größen mit orangem Text haben ihren Ursprung entweder aus der Funktion, dem vorliegenden Failure Mode oder einer Kombination der vorliegenden Informationen.

Tabelle 5: Auszug eines exemplarisch befüllten FMEA-Formblattes

FMEA-Formblatt P2-Modul												
Target/ Effects	S	Failure mode	Cause	O	Detection action	D	RPN	Überwachte Größen	Messkanäle	Einheit	Messgrößen rein aus FMEA	Kommentar
[Targets] <drivability target (same as reference vehicle)>  <lower drivability than reference	6	too low boost	<transfer torque E-drive/engine/DC>  <too low torque transfer from engine and E-drive to DCT					Delta-Drehmoment ICE;  Delta-Drehmoment E-Drive;  CO_ Stellung; DC_ Stellung;  Fehlerspeicher Fahrer  Fahrzeugmasse Acceleration-Pedal-Position Hybrid-Status-Signal: boost	Ist-Drehmoment ICE / Soll-Drehmoment ICE; Ist-Drehzahl ICE / Soll-Drehzahl ICE; Ist-Drehmoment E-Drive / Soll-Drehmoment E-Drive; Ist-Drehzahl E-Drive / Soll-Drehzahl E-Drive; DC_offen_geschlossen_rutschen; Fehlerspeicher_ICE / Fehlerspeicher_P2 Keine  Ist-Fahrzeugmasse Ist-Acceleration-Pedal-Position Hybrid-Status-Signal-Boost	Nm rpm rpm rpm - - - - kg %	Drehmoment ICE; Drehmoment E-Drive;  Fahrer	Drehmoment / Drehzahl in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus  Detektion durch Fahrer möglich mittels Logbuch (Drehmomenttabelle, Schwingungen, ...)  Fahrzeugmasse über Logbuch
[Targets] <max. velocity performance targets>  <too low performance	7							Delta-Drehmoment ICE;  Delta-Drehmoment E-Drive;  CO_ Stellung; DC_ Stellung;  Fahrzeuggeschwindigkeit und Einflussgrößen  Klimakompressor-Status-Bit Heizung-Status-Bit  Fahrzeugmasse Acceleration-Pedal-Position Fehlerspeicher Hybrid-Status-Signal: boost	Ist-Drehmoment ICE / Soll-Drehmoment ICE; Ist-Drehzahl ICE / Soll-Drehzahl ICE; Ist-Drehmoment E-Drive / Soll-Drehmoment E-Drive; Ist-Drehzahl E-Drive / Soll-Drehzahl E-Drive; CO_offen_geschlossen_rutschen DC_offen_geschlossen_rutschen; Fahrzeuggeschwindigkeit; GPS-Position; Höhe; Umgebungsdruck; Umgebungstemperatur; Klimakompressor-Status-Bit Heizung-Status-Bit  Ist-Fahrzeugmasse Ist-Acceleration-Pedal-Position Fehlerspeicher_ICE / Fehlerspeicher_P2 Hybrid-Status-Signal-Boost	Nm rpm rpm rpm - - km/h m kPa °C - - kg %	Drehmoment ICE; Drehmoment E-Drive;  Fahrzeuggeschwindigkeit;  GPS-Position; Höhe; Umgebungsdruck; Umgebungstemperatur; Klimakompressor-Status-Bit Heizung-Status-Bit	Drehmoment / Drehzahl in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus  Fahrzeugmasse über Logbuch
[Targets] <acceleration performance targets>  <too low performance	7					3	(63)	Delta-Drehmoment ICE;  Delta-Drehmoment E-Drive;  CO_ Stellung; DC_ Stellung;  Fahrzeugbeschleunigung und Einflussgrößen  Klimakompressor-Status-Bit Heizung-Status-Bit  Fahrzeugmasse Acceleration-Pedal-Position Fehlerspeicher Hybrid-Status-Signal: boost	Ist-Drehmoment ICE / Soll-Drehmoment ICE; Ist-Drehzahl ICE / Soll-Drehzahl ICE; Ist-Drehmoment E-Drive / Soll-Drehmoment E-Drive; Ist-Drehzahl E-Drive / Soll-Drehzahl E-Drive; CO_offen_geschlossen_rutschen DC_offen_geschlossen_rutschen; Fahrzeugbeschleunigung; GPS-Position; Höhe; Umgebungsdruck; Umgebungstemperatur; Zeit oder Weg Klimakompressor-Status-Bit Heizung-Status-Bit  Ist-Fahrzeugmasse Ist-Acceleration-Pedal-Position Fehlerspeicher_ICE / Fehlerspeicher_P2 Hybrid-Status-Signal-Boost	Nm rpm rpm rpm - - km/h m kPa °C s oder m - - kg %	C: Drehmoment ICE; Drehmoment E-Drive;  T: Fahrzeugbeschleunigung;  -	Drehmoment / Drehzahl in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus  Fahrzeugmasse über Logbuch
[Housing] <alignment of E-drive>  <misalignment of Rotor						5		Für Flottenmonitoring nicht von Relevanz! Betritt korrekten Zusammenbau und wird mittels geeigneter Untersuchung im Vorfeld abgeklärt und gewährleistet.				
[Oil pump] <oil pump performance>  <too low flow						6	(210)	Delta-Öldruck E-Pumpe; Delta-Öldruck CO; Umgebungsdruck; Ist-temperatur_CO; Delta-Öltemperatur_P2 / Soll-Öltemperatur_P2; Umgebungstemperatur; Ist-Öltemperatur_Olwanne; Ist-Öllevel_Olwanne; Ol-Massenstrom_Saugrohr; Ist-Drehzahl_E-Pumpe; CO_ Stellung; Fehlerspeicher;	Ist-Öldruck E-Pumpe / Soll-Öldruck E-Pumpe; Ist-Öldruck CO / Soll-Öldruck CO; Umgebungsdruck; Ist-temperatur_CO; Ist-Öltemperatur_P2 / Soll-Öltemperatur_P2; Umgebungstemperatur; Ist-Öltemperatur_Olwanne; Ist-Öllevel_Olwanne; Ol-Massenstrom_Saugrohr; Ist-Drehzahl_E-Pumpe; CO_ Stellung; Fehlerspeicher_P2;	kPa kPa °C °C °C %	Öldruck E-Pumpe; Öldruck CO; Ol-Massenstrom_Saugrohr	

### 3.3.3 FMEA-Messkanalliste

Nach der Auswertung sämtlicher relevanter Bereiche des FMEA-Datenblattes ist es jetzt möglich, alle erarbeiteten Daten in eine Messkanalliste zu übertragen. Für die in dieser Masterarbeit behandelte P2-Modulbaugruppe ergaben sich resultierend aus den FMEA-Daten zwei Messkanallisten. Tabelle 6 zeigt die Ergebnisse aus der Untersuchung des reinen FMEA-Textes und Tabelle 7 bildet die Resultate der Auswertung unter Berücksichtigung weiterer technischer Überlegungen ab.

Tabelle 6: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der FMEA-Analyse aus dem Text

Messkanalliste aus FMEA-Analyse - reine Textanalyse			
Nummer	Messgröße	Einheit	Bemerkung
1	Fahrer	-	Detektion durch Fahrer möglich mittels Logbuch oder Triggerknopf (Leckagen, Geräusche, Warnleuchten) / Kontrolle Ölstand in gewissen Intervallen;
2	Fahrzeugbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	Errechnet sich aus Fahrzeuggeschwindigkeit sowie Zeit (über Datenlogger) oder Weg / Alternative: Sensor
3	Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h	
4	Fehlerspeicher_P2	-	
5	Ist-Batterieladestatus_HV	%	SOC
6	Ist-Batteriestrom_HV	A	Ladestrom
7	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C	Temperatursensor (Wicklungstemperatur)
8	Ist-Drehmoment_DCT_Out	Nm	
9	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
10	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	
11	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	Möglichkeit zur Detektion ob ICE läuft (Bei Änderung von 0rpm bis Schwellwert (z.b. 350rpm) => Motor-START)
12	Ist-Einspritzmenge_ICE	mg/stroke	
13	Ist-Kühlmitteltemperatur_HT	°C	
14	Ist-Öldruck_C0	kPa	
15	Ist-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
16	Ist-Öllevel_Ölwanne	%	
17	Ist-Status_BLS	on / off	
18	Ist-Tanklevel	% oder L	Eventuell über Fahrer via Logbuch
19	Öl_Massenstrom_Saugrohr	kg/s	

Tabelle 7: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der FMEA-Analyse mit technischen Überlegungen

Messkanalliste aus FMEA-Analyse			
Nummer	Messgröße	Einheit	Bemerkung
1	Bremspedal-Stellung	%	
2	C0-Stellung	-	Position: offen / geschlossen / ...
3	DCT-Stellung	-	Doppelkupplungsgetriebe, offen / geschlossen / ...
4	Fahrer	-	Detektion durch Fahrer möglich mittels Logbuch oder Triggerknopf (Leckagen, Geräusche, Warnleuchten) / Kontrolle Ölstand in gewissen Intervallen;
5	Fahrzeugbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	Errechnet sich aus Fahrzeuggeschwindigkeit sowie Zeit (über Datenlogger) oder Weg / Alternative: Sensor
6	Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h	
7	Fehlerspeicher_ICE	-	
8	Fehlerspeicher_P2	-	
9	GPS-Geschwindigkeit	km/h	
10	GPS-Position	-	
11	Heizung-Status-Bit	-	Lastzustand von Verbrauchern
12	Höhe	m	Höhe bezogen auf die jeweilige GPS-Position
13	Hybrid-Status-Signal-PureElectricDriving	-	Entspricht aktuellem Hybridstatus
14	Hybrid-Status-Signal-Boost	-	Entspricht aktuellem Hybridstatus
15	Hybrid-Status-Signal-BrakeCharge	-	Entspricht aktuellem Hybridstatus
16	Hybrid-Status-Signal-ConventionalDriving	-	Entspricht aktuellem Hybridstatus
17	Hybrid-Status-Signal-Recuperation	-	Entspricht aktuellem Hybridstatus
18	Hybrid-Status-Signal-ICE-Start-Fahrbetrieb	-	VKM-Start während des Fahrens durch E-Drive
19	Hybrid-Status-Signal-ICE-Start-Stillstand	-	VKM-Start bei Stillstand durch E-Drive
20	Gaspedal-Position	%	
21	Ist-Batterieladestatus_HV	%	SOC
22	Ist-Batteriespannung_HV	V	
23	Ist-Batteriestrom_HV	A	Ladestrom
24	Ist-Betriebspannung_P2	V	E-Drive
25	Ist-Betriebsstrom_P2	A	
26	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C	Temperatursensor (Wicklungstemperatur)
27	Ist-Drehmoment_DCT_In	Nm	
28	Ist-Drehmoment_DCT_Out	Nm	
29	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
30	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	
31	Ist-Drehzahl_DCT_In	rpm	
32	Ist-Drehzahl_DCT_Out	rpm	
33	Ist-Drehzahl_E-Drive	rpm	
34	Ist-Drehzahl_E-Pumpe	rpm	
35	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	Möglichkeit zur Detektion ob ICE läuft (Bei Änderung von 0rpm bis Schwellwert (z.B. 350rpm) => Motor-START)
36	Ist-Einspritzmenge_ICE	mg/stroke	
37	Ist-Fahrzeugmasse	kg	
38	Ist-Füllstand_Kühlmittel_HT	%	High Temperature (Hochtemperaturkreislauf)
39	Ist-Füllstand_Kühlmittel_LT	%	Low Temperature (Niedertemperaturkreislauf)
40	Ist-Gangstellung_DCT	-	1. Gang, 2.Gang, 3.Gang, 4.Gang, ...
41	Ist-Kilometerstand	km	
42	Ist-Kühlmitteltemperatur_HT	°C	High Temperature (Hochtemperaturkreislauf)
43	Ist-Kühlmitteltemperatur_LT	°C	Low Temperature (Niedertemperaturkreislauf)
44	Ist-Leistung_externer-Verbraucher	W	Kalkulierte Größe / z.B.: Ist-Leistung_Batterie - Ist-Leistung_E-Drive
45	Ist-Leistung_Batterie	W	
46	Ist-Leistung_E-Drive	W	
47	Ist-Öldruck_C0	kPa	
48	Ist-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
49	Ist-Öllevel_Ölwanne	%	Eventuell über Fahrer via Logbuch
50	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	°C	
51	Ist-Öltemperatur_P2	°C	
52	Ist-Reifendruck	kPa / bar	Eventuell über Fahrer via Logbuch
53	Ist-Status_BLS	on / off	
54	Ist-Status_Kühlerventilator	on / off	
55	Ist-Status_Wasserpumpe	on / off	
56	Ist-Stellung_Zündung	on / off	
57	Ist-Tanklevel	% oder L	Eventuell über Fahrer via Logbuch
58	Ist-Öltemperatur_C0	°C	
59	Ist-Temperatur_ICE	°C	
60	Klimakompressor-Status-Bit	-	Lastzustand von Verbrauchern
61	Ölpumpe-Status	-	
62	Öl Massenstrom_Saugrohr	kg/s	
63	Räder_Blockierung	-	Kalkulierte Größe / Vergleich Fahrzeuggeschwindigkeit mit GPS-Geschwindigkeit -> Dedektion blockierte Räder
64	Soll-Batterieladestatus_HV	%	
65	Soll-Batteriespannung_HV	V	
66	Soll-Betriebstemperatur_E-Drive	°C	
67	Soll-C0-Stellung	-	
68	Soll-Drehmoment_DCT_Out	Nm	Radseite / Drehmoment in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus / z.B.: Bestimmung des Soll-Drehmomentes_DCT über Fahrgeschwindigkeit
69	Soll-Drehmoment_E-Drive	Nm	Drehmoment in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus
70	Soll-Drehmoment_ICE	Nm	Drehmoment in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus
71	Soll-Drehzahl_E-Drive	rpm	Drehzahl in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus
72	Soll-Drehzahl_E-Pumpe	rpm	
73	Soll-Drehzahl_ICE	rpm	Drehzahl in Abhängigkeit von jeweils vorliegenden Hybridmodus
74	Soll-Kühlmitteltemperatur_LT	°C	Low Temperature (Niedertemperaturkreislauf)
75	Soll-Öldruck_C0	kPa	
76	Soll-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
77	Soll-Öltemperatur_P2	°C	
78	Soll-Tanklevel	% oder L	Eventuell über Fahrer via Logbuch
79	Umgebungsdruck	kPa	
80	Umgebungstemperatur	°C	
81	Weg	m	Alternativ zu Zeit, dient zur Berechnung der Beschleunigung
82	Wirkungsgrad-Hybridstatus	-	Wirkungsgrad bezogen auf vorliegenden Hybrid-Status / z.B. Rekuperation: Aufwand: Drehmoment u. Drehzahl // Nutzen: Spannung u. Strom (->Leistung)
83	Zeit	s	Absolutzeit eventuell über Datenlogger / zur Berechnung der Beschleunigung



## **3.4 Auswertung-DVP&R**

Ein weiteres wichtiges Werkzeug in der Entwicklung eines Produktes ist der DVP&R. Der nachfolgende Abschnitt erörtert den Aufbau bzw. die Gestaltung eines solchen DVP&R-Dokuments und gibt Aufschluss über die durchgeführten Analyseschritte zur Ableitung der essentiellen Messgrößen für das Flottenmonitoring.

### **3.4.1 DVP&R-Struktur und Aufbau im Projekt**

Um die grundlegenden Abläufe und den Aufbau einer DVP&R-Struktur besser verstehen zu können dient der nachfolgende Abschnitt. Die Informationen zu diesem Bereich stammen überwiegend aus firmeninternen Präsentationen sowie aus Gesprächen mit Fachleuten der AVL List GmbH.

Prinzipiell handelt es sich bei einem DVP&R um eine Sammlung von verschiedenen Bewertungsverfahren sowie Tests welche ein grundlegendes Vertrauen in die Zuverlässigkeit des vorliegenden Designs schaffen sollen. Im Zuge eines Projektes vereint der Design Verification Plan & Report in einem Dokument die Validierung und Verifizierung (V&V) von Testverfahren, welche im Rahmen von Entwicklungsprojekten mechatronischer Systeme oder deren Teilsysteme durchgeführt werden sollen. Weiters ermöglicht der DVP&R eine Überwachung der Fortschritte und eine Dokumentation der Tätigkeiten im Rahmen der Projektentwicklung. Somit vereint dieses Werkzeug die Validierungs- und Verifizierungsprinzipien der Mechanik, Elektronik und Softwareentwicklung und generiert so einen einfacheren, kostengünstigeren und zuverlässigeren Validierungs- bzw. Verifikationsprozess.

Zur Erfassung bzw. zur Sammlung der wesentlichen Daten dient eine sogenannte DVP&R-Vorlage (Template). Im Wesentlichen unterteilt sich wie in Abbildung 42 dargestellt, die DVP&R-Struktur in vertikaler Richtung in drei Hauptbereiche, dem virtuellen Testen, den Funktionstests sowie den Haltbarkeitstests.



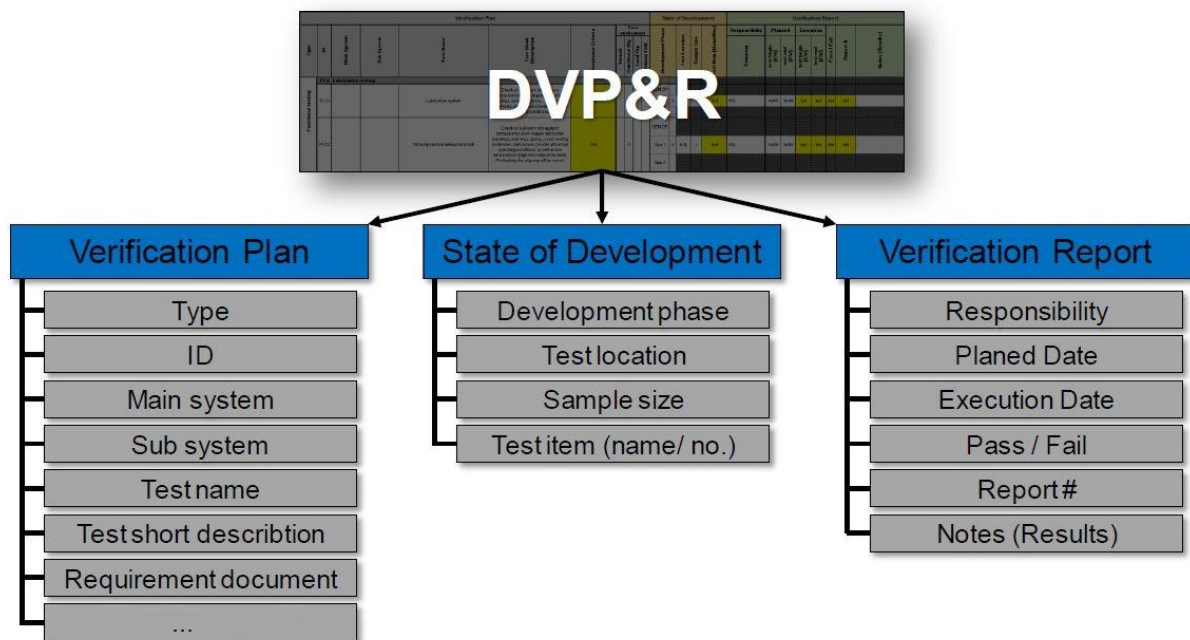


Abbildung 43: Inhalte des DVP&amp;R-Dokuments in horizontaler Richtung (Spalten)

### 3.4.2 Analyse der DVP&R-Daten

Nach erstmaliger Durchsicht der zur Verfügung stehenden DVP&R-Dokumente und den damit verbundenen Teststandards wird der Umfang der vorliegenden Informationen für den relevanten Bereich eingegrenzt. In diesem Fall kommt es zu einer Anpassung der Daten bezogen auf das behandelte P2-Modul. Diese Reduktion erfolgt in Absprache mit Fachleuten der AVL List GmbH und legt somit den Fokus auf die wesentlichen Bereiche des DVP&R, die relevanten Test-Standards und jene Bereiche die auch den abgehandelten Gebieten der FMEA- bzw. Requirement-Auswertungen entsprechen.

Für die Auswertung der Daten ist es unerlässlich, alle relevanten Teststandards, welche im DVP&R-Dokument angeführt sind und als bedeutsam befunden wurden, zu analysieren. Diese Teststandards liegen im Powerpointformat vor und es ist somit eine Auswertung der im Text gebundenen Informationen unumgänglich. Die Abarbeitung der einzelnen Teststandards erfolgt durch Analyse der einzelnen Textpassagen und der Ableitung von in Frage kommenden Messgrößen. Diese ermittelten Messgrößen werden in einem dafür geeignet formatierten DVP&R-Formblatt in Excel eingetragen. Grundlegend ist bei der Auswertung der Teststandards zu beachten, dass eine Differenzierung zwischen Messgrößen, die aus Ableitungen des Textes entstanden

sind und Messgrößen, die im Teststandard als sogenannte Measurement Channels deklariert sind, zu treffen ist. Diese Measurement Channels sind in tabellarischer Form im Teststandard inkludiert und entsprechen den zu überwachenden Größen, welche im Zuge der Testdurchführung von Relevanz sind.

### 3.4.2.1 Struktur und Aufbau des DVP&R-Formblattes in Excel

Für eine bessere Auswertbarkeit und aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die ermittelten Messgrößen in ein geeignetes DVP&R-Formblatt in Excel eingetragen. Der nachfolgende Abschnitt beschäftigt sich mit dem Aufbau bzw. der passenden Gestaltung dieses Formblattes, siehe Tabelle 8.

Tabelle 8: Grundlegender Aufbau des DVP&R-Formblatts zur Sammlung der ausgewerteten Daten

Quelle	Nummer	Überwachte Größen	Kanalname	Einheit	Erklärung	Allgemeines
	<b>Teststandard:</b>					
Test Standard (Measurement channels)						
Test Standard (Analyse Text)						

Diese Tabellenstruktur ist so aufgebaut, dass alle durch die Analyse der Teststandards ermittelten relevanten Informationen erfasst und dokumentiert werden können. Hier liegt der Fokus auf den ermittelten, überwachten Größen und den damit verbundenen Informationen. Abbildung 44 zeigt Auszüge aus einem Teststandard und die jeweilige Zuordnung im Formblatt. So sollen die grundlegenden Überlegungen die hinter der Analyse stehen besser verdeutlicht werden.

Measurement channels					
No.	Channel full name				
1	Angel meter 1 _ Input P2M				
2	Angel meter 2 _ Output P2M				
3	Angel meter 3 _ Output DCT left				
4	Input torque				
5	Output torque left				
6	Output torque right				

Quelle	Nummer	Überwachte Größen	Kanalname	Einheit	Allgemeines
Teststandard: TestStandard_Ultimate strength_test					
Test Standard (Measurement channels)	1	Angel	Angel meter 1 _ Input P2M	Deg	
	2	Angel	Angel meter 2 _ Output P2M	Deg	
	3	Angel	Angel meter 3 _ Output DCT left	mm	
	4	Input torque	Input torque	Nm	
	5	Output torque	Output torque left	Nm	
	6	Output torque	Output torque right	Nm	
Test Standard (Analyse Text)	7	Ist-Drehmoment_ICE (im Test Eingangsdrehmoment Prüfstand)	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	
	8	Ist-Drehzahl_ICE (im Test Eingangsdrehzahl Prüfstand)	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	
	9	Ist-Drehmoment_E-Drive (P2-Modul)	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
	10	Ist-Drehzahl_E-Drive (P2-Modul)	Ist-Drehzahl_E-Drive	rpm	

- To prove that the P2M transmits the maximum design torque coming from the input shaft (combustion engine) reliably.
- To prove that the P2M transmits the maximum design torque coming from the e-drive reliably.

Abbildung 44: DVP&amp;R-Formblatt und exemplarische Auszüge aus einem Teststandard

Durch eine vollständige Analyse jedes einzelnen für die Auswertung relevanten Teststandards kommt es zur Erstellung einer umfangreichen Sammlung von Messgrößen, welche im DVP&R-Formblatt in übersichtlicher Struktur gebunden sind.

### 3.4.3 DVP&R-Messkanalliste

Nach Beendigung der Teststandardanalyse ist es möglich eine Messkanalliste der für das Flottenmonitoring relevanten Messgrößen, basierend auf dem DVP&R-Formblatt, zu erstellen. Diese Liste wird in Tabelle 9 dargestellt und beinhaltet sowohl die erarbeiteten Größen als auch die dazugehörigen Einheiten. Tabelle 10 zeigt die Messkanalliste der untersuchten Measurement Channels.

Tabelle 9: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der DVP&amp;R-Analyse

Messkanalliste aus DVP-Analyse Test Standard			
Nummer	Messgröße	Einheit	Bemerkung
1	Bremspedal-Stellung	%	
2	Fahrer	-	Detektion durch Fahrer möglich mittels Logbuch (Leckagen, Geräusche, Warnleuchten); Kontrolle Ölstand in gewissen Intervallen;
3	Fahrzeugbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	Errechnet sich aus Fahrzeuggeschwindigkeit sowie Zeit (über Datenlogger) oder Weg / Alternative: Sensor
4	Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h	
5	Fehlerspeicher_ICE	-	
6	Fehlerspeicher_P2	-	
7	Gaspedal-Stellung	%	
8	GPS-Position	-	
9	Höhe	m	Höhe bezogen auf die jeweilige GPS-Position
10	Ist-Batterieladestatus_HV	%	SOC
11	Ist-Batteriestrom_HV	A	Ladestrom
12	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C	Temperatursensor (Wicklungstemperatur)
13	Ist-Drehmoment_DCT_Out	rpm	
14	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
15	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	
16	Ist-Drehzahl_DCT_Out	Nm	
17	Ist-Drehzahl_E-Drive	rpm	
18	Ist-Drehzahl_E-Pumpe	rpm	
19	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	Möglichkeit zur Detektion ob ICE läuft (Bei Änderung von 0rpm bis Schwellwert (z.b. 350rpm) => Motor-START)
20	Ist-Druck_Hydraulik	kPa	
21	Ist-Fahrzustand	-	Entspricht den einzelnen Hybrid-Status-Signalen
22	Ist-Gangstellung_DCT	-	1. Gang, 2.Gang, 3.Gang, 4.Gang, ...
23	Ist-Kühlmitteldruck	kPa	
24	Ist-Kühlmitteltemperatur_LT	°C	Low Temperature (Niedertemperaturkreislauf)
25	Ist-Öldruck_C0	kPa	
26	Ist-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
27	Ist-Öllevel_Ölwanne	%	Eventuell über Fahrer via Logbuch
28	Ist-Öltemperatur_C0	°C	
29	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	°C	Eventuell über Fahrer via Logbuch
30	Ist-Öltemperatur_P2	°C	
31	Ist-Status_BLS	on / off	Brake-Light-Switch
32	Ist-Stellung_Zündung	on / off	
33	Öl-Massenstrom_Saugrohr	kg/s	
34	Umgebungsdruck	kPa	
35	Umgebungstemperatur	°C	
36	Weg	m	Alternativ zu Zeit, dient zur Berechnung der Beschleunigung
37	Zeit	s	Absolutzeit eventuell über Datenlogger / zur Berechnung der Beschleunigung

Tabelle 10: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der DVP&amp;R-Analyse aus des Measurement Channels

Messkanalliste aus DVP-Measurement-Channel			
Nummer	Messgröße	Einheit	Bemerkung
1	Aktivierungsbit-Stromregler_Kanal_1	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
2	Aktivierungsbit-Stromregler_Kanal_2	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
3	Durchfluss_Kühlung	l/min	
4	Fehlerbit_Kanal_1	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
5	Fehlerbit_Kanal_2	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
6	Ist-Betriebsspannung_P2	V	
7	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
8	Ist-Drehmoment_Out-Rad_Links	Nm	Linkes Rad
9	Ist-Drehmoment_Out-Rad_Rechts	Nm	Rechtes Rad
10	Ist-Drehzahl_E-Drive	1/min	
11	Ist-Drehzahl_Out-Rad_Links	rpm	
12	Ist-Drehzahl_Out-Rad_Rechts	rpm	
13	Ist-Druck_Hydraulik	bar	Medium Öl / Hauptdruck
14	Ist-Druck_Hydraulikleitung_DCT	bar	
15	Ist-Druck_Hydraulikleitung_P2	bar	
16	Ist-Druck_Schmieröl_DCT	bar	
17	Ist-Druck_Schmieröl_P2	bar	
18	Ist-Öldruck_C0	bar	Medium Öl
19	Ist-Öltemperatur_C0	°C	Temperatursensor
20	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	°C	Temperatursensor
21	Ist-Schmierungsdruck	bar	Medium Öl / Schmierdruck P2
22	Ist-Spannung_E-Pumpe	V	
23	Ist-Temperatur_Hauptlagerung	°C	Temperatursensor
24	Ist-Wert_Kp-Kanal1	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
25	Ist-Wert_Kp-Kanal2	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
26	Ölpumpe-Status	-	
27	Schleppmoment	Nm	
28	Soll-Anregungsamplitude_P2_Kanal_1	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
29	Soll-Anregungsamplitude_P2_Kanal_2	-	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
30	Soll-Anregungsfrequenz_Kanal_1	Hz	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
31	Soll-Anregungsfrequenz_Kanal_2	Hz	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
32	Soll-Betriebsspannung_P2	V	
33	Soll-Strom_Kanal_1	A	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
34	Soll-Strom_Kanal_2	A	Ventilsteuerung Value Body Kupplungssteuerung
35	Soll-Strom_Rampenzeit	ms/A	
36	Verdrehwinkel_Ausgang-P2	deg	
37	Verdrehwinkel_Ausgang-DCT	mm	
38	Verdrehwinkel_Ausgang-DMF	deg	
39	Verdrehwinkel_Eingang-DMF	deg	
40	Verdrehwinkel_Eingang-P2	deg	

## **3.5 Auswertung der Requirements**

Ein wesentlicher Faktor hinsichtlich der Produktentstehung sind definierte Requirements. Diese geben Aufschluss in Bezug auf gestellte Anforderungen an die jeweiligen Bereiche. Das nachfolgende Kapitel beschäftigt sich mit der Analyse zur Ermittlung relevanter Messgrößen für das Flottenmonitoring.

### **3.5.1 Analyse der Requirement-Daten**

Da auch im Bereich der Requirements das P2-Modul des vorliegenden Systems im Fokus der Betrachtung liegt, muss in einem ersten Schritt eine Eingrenzung auf diese wesentlichen Gebiete erfolgen. Dies wird mit Hilfe von Fachleuten der zuständigen Abteilung in der AVL List GmbH umgesetzt. Das Ergebnis ist eine auf den betrachteten Bereich eingeschränkte Ausgabe der gegebenen Requirements in einem strukturierten Word-Dokument, welches die Basis der Auswertung darstellt.

Die vorliegenden Daten sind in dieser Form als Informationen im Text gebunden. Dadurch ist es notwendig, den gesamten Text des Dokuments zu analysieren um etwaige für das Flottenmonitoring relevante Informationen zu extrahieren und zu erfassen.

Um eine vollständige Sammlung der Informationen zu gewährleisten und ein benötigtes Maß an Übersichtlichkeit bieten zu können, werden die ermittelten Informationen in ein dafür geeignet formatiertes Requirement-Formblatt eingetragen. Dieses Formblatt enthält, wie in Tabelle 11 dargestellt, wesentliche Informationen zu der Datenherkunft sowie entsprechenden Raum zur Dokumentation der ermittelten Messgrößen.



Tabelle 11: Grundlegender Aufbau des Requirement-Formblatts zur Sammlung der ausgewerteten Daten

Quelle	Text aus Requirements	Nummer	Überwachte Größen	Kanalname	Einheit	Erklärung	Allgemeines
<b>Requirements-Bereich</b>							
<b>Zusatzinfo zum Requirements-Bereich</b>							
Analyse Text							

Es erfolgt eine schrittweise Auswertung des Basisdokuments. Die in diesem Dokument angeführten Textpassagen werden hinsichtlich ihrer Wichtigkeit für das Flottenmonitoring begutachtet und in das Formblatt in die Spalte „Text aus Requirements“ eingetragen. Anschließend werden Überlegungen zur Ableitung von Messgrößen in Bezug auf diesen Requirementsauszug angestellt und dokumentiert. Weiters wird im Formblatt der Zusammenhang der Textpassage mit dem jeweiligen Requirement-Bereich dokumentiert. Somit wird ersichtlich, ob es sich bei dieser Information beispielsweise um funktionale Anforderungen, thermische Anforderungen oder dergleichen handelt.

Hier sei Tabelle 12 erwähnt, welche einen exemplarischen Auszug eines fiktiv befüllten Requirement-Formblattes zeigt. Dadurch soll die grundlegende Überlegung vom Textauszug bis zur Messgröße verdeutlicht werden. Die Angaben in dieser Tabelle entsprechen aus Gründen der Geheimhaltung keinen originalen Ergebnissen und sind dahingehend abgeändert. Sämtliche Zahlenwerte für etwaige Temperaturbereiche, Drehmomente und dergleichen werden durch (\*\*\*) ersetzt.

Tabelle 12: Auszug eines exemplarisch befüllten Requirement-Formblattes

Quelle	Text aus Requirements	Nummer	Überwachte Größen	Kanalname	Einheit	Erklärung	Allgemeines
<b>P2 Hybrid Module Overview</b>							
<b>Zusatzinfo: Mechanical Interfaces</b>							
Analyse Text	The P2 module shall have a mechanical connection to the engine to transfer a max. torque of (***) Nm from/ to the engine.	1	Ist-Drehmoment_ICE	Ist-Drehmoment_ICE	Nm		
		2	Ist-Drehzahl_ICE	Ist-Drehzahl_ICE	rpm		
		3	Ist-Drehmoment_E-Drive	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm		
		4	Ist-Drehzahl_E-Drive	Ist-Drehzahl_E-Drive	rpm		
	The P2 module shall have a mechanical connection to the transmission to transfer a max. torque of (***) Nm from/ to the wheels.	5	Ist-Drehmoment_Räder (Ausgang DCT)	Ist-Derhmoment_Räder	Nm		
		6	Ist-Drehzahl_Räder (Ausgang DCT)	Ist-Drehzahl_Räder	rpm		
		7	Fahrzeuggeschwindigkeit	Ist-Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h		
<b>Zusatzinfo: Material Flow Interfaces</b>							
Analyse Text	The P2 hybrid module shall have .....	1	.....				
		2	.....				
		3	.....				
		4	.....				
<b>P2 Hybrid Module Performance and Targets</b>							
Analyse Text	The P2 module shall be able to accept a max. engine starting torque of (***) Nm.	1	Ist-Drehmoment_ICE	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	Überwachen. Bei Änderung von 0rpm bis Schwellwert (z.b. 350rpm) => Motor-START	
		2	Ist-Drehzahl_ICE	Ist-Drehzahl_ICE	rpm		
		3	Ist-Drehmoment_E-Drive	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm		
	The max. ambient temperature shall not exceed (***) °C.	4	Umgebungstemperatur	Ist-Umgebungstemperatur	°C		
		5	Betriebstemperatur_E-Drive (Stator-E-drive / Öltemperatur)	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C		
	The min. ambient temperature shall not be below -(***) °C.	6	Umgebungstemperatur	Ist-Umgebungstemperatur	°C		
		7	Betriebstemperatur_E-Drive (Stator-E-drive / Öltemperatur)	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C		
	The max. oil temperature of the P2 module shall not exceed (***) °C.	8	Ist-Öltemperatur_P2	Ist-Öltemperatur_P2	°C		
	The min. oil temperature of the P2 module shall not be below -(***) °C.	9	Ist-Öltemperatur_P2	Ist-Öltemperatur_P2	°C		
	The P2 module shall be able to withstand (***) engine starts.	10	Ist-Drehzahl_ICE	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	Überwachen. Bei Änderung von 0rpm bis Schwellwert (z.b. 350rpm) => Motor-START	
		11	Startbit	Startbit	-		
	The P2 module shall not produce any transient, rough, modulating or impulsive noises or characteristic tones, that the OEM would consider unusual and objectionable or as a cause for concern.	12	Fahrer	Fahrer	-	Detektion durch Fahrer möglich mittels Logbuch oder Triggerknopf (Dokumentation von Leakagen, auffälligen Geräuschen oder Schwingungen)	Optional

### 3.5.2 Requirement-Messkanalliste

Nach der Analyse des vorliegenden Requirementsdokuments liegt ein Requirement-Formblatt vor, welches die relevanten Messgrößen für das Flottenmonitoring beinhaltet. Basierend auf diesem Formblatt kann eine Messkanalliste erstellt werden, welche in Tabelle 13 abgebildet ist. Die vorliegenden Resultate beziehen sich auf ein, sich zum Zeitpunkt der Auswertung noch im Entstehungsprozess befindliches und somit nicht vollständiges Requirementsdokument.

Tabelle 13: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der Requirement-Analyse

Messkanalliste aus Requirements			
Nummer	Messgröße	Einheit	Bemerkung
1	C0-Stellung	-	Position: offen / geschlossen / ...
2	Fahrer	-	Detektion durch Fahrer möglich mittels Logbuch oder Triggerknopf (Leckagen, Geräusche, Warnleuchten) / Kontrolle Ölstand in gewissen Intervallen;
3	Fahrzeugbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	Errechnet sich aus Fahrzeuggeschwindigkeit sowie Zeit (über Datenlogger) oder Weg / Alternative: Sensor
4	Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h	
5	Fehlerspeicher_P2	-	
6	Gasedal-Stellung	%	
7	GPS-Position	-	
8	Höhe	m	Höhe bezogen auf die jeweilige GPS-Position
9	Hybrid-Status-Signal-Boost		
10	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C	Temperatursensor (Wicklungstemperatur)
11	Ist-Drehmoment_DCT_Out	Nm	
12	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
13	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	
14	Ist-Drehzahl_DCT_Out	rpm	
15	Ist-Drehzahl_E-Drive	rpm	
16	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	Möglichkeit zur Detektion ob ICE läuft (Bei Änderung von 0rpm bis Schwellwert (z.b. 350rpm) => Motor-START)
17	Ist-Druck_Hydraulik	kPa	
18	Ist-Füllstand_Kühlmittel_LT	%	
19	Ist-Gangstellung_DCT	-	
20	Ist-Kühlmitteldruck	kPa	
21	Ist-Kühlmitteltemperatur_HT	°C	
22	Ist-Öldruck_C0	kPa	
23	Ist-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
24	Ist-Öltemperatur_C0	°C	
25	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	°C	
26	Ist-Öltemperatur_P2	°C	
27	Öl-Massenstrom_Saugrohr	kg/s	
28	Soll-Drehmoment_E-Drive	Nm	
29	Soll-Drehzahl_E-Drive	rpm	
30	Startbit	-	Wenn vorhanden!!!
31	Umgebungsdruck	kPa / mBar	
32	Umgebungstemperatur	°C	
33	Weg	m	Alternativ zu Zeit, dient zur Berechnung der Beschleunigung
34	Zeit	s	Absolutzeit eventuell über Datenlogger

## **3.6 Standard-Messkanalliste**

Der nachfolgende Abschnitt behandelt den Aufbau und die Struktur der vorliegenden Standard-Messkanalliste. Weiters beinhaltet dieses Kapitel die in dieser Liste gebundenen Daten und Informationen.

### **3.6.1 Ziel der Standard-Messkanalliste**

Um die Qualität der in den analysierten Daten FMEA-Dokument, DVP&R-Dokument und Requirement-Dokument besser beurteilen zu können, ist eine sogenannte Standard-Messkanalliste als Referenz Voraussetzung. Diese Liste beinhaltet alle für das P2-Modul zum aktuellen Entwicklungszustand hinsichtlich des Flottenmonitorings relevanten Messgrößen. Die Ermittlung dieser Informationen erfolgt durch ein Team aus Fachexperten der AVL List GmbH aus den Bereichen Zuverlässigkeit und Flottenmonitoring.

Diese Informationen werden in ein Dokument mit geeigneter Formatierung eingepflegt und bilden die Basis der weiteren Untersuchungen.

### **3.6.2 Standard-Messkanalliste**

Die im Team erarbeiteten Messgrößen finden sich in der zur Referenz dienenden Standard-Messkanalliste wieder und sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14: Standard-Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten von Fachleuten der AVL List GmbH

Standard-Messkanalliste			
Nummer	Messgröße	Einheit	Bemerkung
1	Abstellhemmung_ICE	-	
2	Batterie_HV-Fehlerkontrolllampe	-	
3	Batterie_HV-Verlustleistung	W	Kalkulierte Größe
4	Batterie_LV-Fehlerkontrolllampe	-	
5	Bremspedal-Stellung	%	
6	C0-Stellung (Ist-C0-Stellung)	-	Ist-Position
7	DCT-Drehrichtungsstatus	-	
8	DCT-Status (Ist-DCT-Status)	-	Bezogen auf (z.B. Creep / Drive / ...)
9	E-Drive-Regler-Status	-	
10	E-Drive-Status	-	
11	Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h	
12	Fehlerspeicher_ICE	-	
13	Fehlerspeicher_P2	-	
14	Fehlerspeicher_System	-	Allgemeiner Fehlerspeicher
15	Gaspedal-Position	%	
16	HVCU-Status	-	
17	Hybrid-Status	-	Entspricht den einzelnen Hybrid-Status-Signalen
18	Hybrid-Status-Signal-Boost	-	
19	ICE-Start-Marker (Startbit)	-	Starten ICE => Motor EIN / AUS Alternativ Analyse über Drehzahl ICE
20	ICE-Start-Marker-Fehler	-	Fehler, Motor startet nicht
21	ICE-Status	-	
22	Ist-Batteriefunktionsstatus_HV (SOF)	-	Fehlerstatus
23	Ist-Batteriegelandheitsstatus_HV (SOH)	-	State of Health, Gesundheitszustand der Batterie; gibt Auskunft darüber, wieviel Prozent der Anfangs- Batteriekapazität noch in den aktuellen Ladezyklen nutzbar sind;
24	Ist-Batterieladestatus_HV (SOC)	%	
25	Ist-Batterieladestatus_LV (SOC)	%	
26	Ist-Batteriespannung_HV	V	
27	Ist-Batteriespannung_LV	V	
28	Ist-Batteriestrom_HV	A	
29	Ist-Batteriestrom_LV	A	
30	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	°C	
31	Ist-Drehmoment_CL0	Nm	Bezogen auf DCT-Kupplung
32	Ist-Drehmoment_DCT_In	Nm	
33	Ist-Drehmoment_DCT_Out	Nm	
34	Ist-Drehmoment_E-Drive	Nm	
35	Ist-Drehmoment_ICE	Nm	
36	Ist-Drehmoment_Kriechen	Nm	
37	Ist-Drehzahl_DCT_In	rpm	
38	Ist-Drehzahl_DCT_Out	rpm	
39	Ist-Drehzahl_E-Drive	rpm	
40	Ist-Drehzahl_E-Pumpe (EOP)	rpm	Elektrische Ölpumpe
41	Ist-Drehzahl_ICE	rpm	
42	Ist-Drehzahl_Kühlmittelpumpe	rpm	Niedertemperaturkreislauf
43	Ist-Druck_Hydraulik	kPa	Hauptleitung
44	Ist-Ganghebelstellung (P,R,N,D)	-	Welcher Gangstellung (P,R,N,D,...) liegt am Ganghebel vor;
45	Ist-Gangstellung (P,R,N,D)	-	Welcher Gangstellung (P,R,N,D,...) liegt vor
46	Ist-Gangstellung_DCT (1,2,3,4,...)	-	
47	Ist-Kühlmitteltemperatur_HT (ICE)	°C	
48	Ist-Öldruck_CL0	kPa	Bezogen auf DCT-Kupplung
49	Ist-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
50	Ist-Öldruck_ICE	kPa	
51	Ist-Öllevel_Ölwanne	%	Sumpf / Ermittlung über Fahrer
52	Ist-Stellung_Zündung	-	
53	Ist-Temperatur_Batterie_HV	°C	
54	Ist-Temperatur_Batterie_HV-PTC	°C	Positiver Temperaturkoeffizient (PTC-Widerstand)
55	Ist-Temperatur_Batteriezellen	°C	
56	Klimaanlage-Leistung	W	
57	Klimaanlage-Status	-	Zur Dedektion ob Klimaanlage laufen soll
58	Klimakompressor-Status-Bit	-	
59	Kühlmittelpumpe-Status	-	
60	Max-Bremsdrehmoment-regenerativ_Radniveau	Nm	Maximal verfügbare regeneratives Bremsdrehmoment auf Rad Niveau
61	Ölpumpe-Status (EOP)	-	Elektrische Ölpumpe
62	Schubabschaltung-Treibstoff-Status	-	
63	Soll-C0-Stellung	-	Soll-Position Trennkupplung
64	Soll-DCT-Kupplung-Status	-	
65	Soll-Drehmoment_CL0	Nm	Bezogen auf DCT-Kupplung
66	Soll-Drehmoment_E-Drive	Nm	
67	Soll-Drehmoment_ICE	Nm	
68	Soll-Drehzahl_E-Drive	rpm	
69	Soll-Drehzahl_E-Pumpe (EOP)	rpm	Elektrische Ölpumpe
70	Soll-Öldruck_E-Pumpe	kPa	
71	Soll-Schubabschaltung-Treibstoff	-	
72	Soll-Start_ICE	-	
73	Starthemmung_ICE	-	
74	Treibstoffverbrauch	%	Bei Analyse nur Ist-Tanklevel
75	Umgebungsdruck	kPa	
76	Umgebungstemperatur	°C	
77	Zugkraft	N	Kalkulierte Größe

### 3.7 Gegenüberstellung der Auswertungen in Messgrößenmatrix

Aufgrund der vorgenommenen Untersuchungen der unterschiedlichen Analysen und Dokumente liegt eine Vielzahl von Messkanallisten vor. Um einen besseren Überblick über die einzelnen Messgrößen und ihrer Herkunft zu bekommen, werden alle Listen in eine Excel-Messgrößenmatrix eingepflegt.

#### 3.7.1 Messgrößenmatrix -Struktur und Aufbau

Durch den gewählten Aufbau dieser Matrix sind alle ermittelten Messgrößen in einer Spalte übersichtlich untereinander angeordnet. Die jeweiligen Quellen der Messgröße finden sich in horizontaler Richtung in den zugehörigen Spalten wieder. Ist die Messgröße in der dazugehörigen Quellenspalte mit einem Haken ✓ markiert, so entspringt diese Größe der jeweiligen Quelle. Andernfalls wird die Zelle mit einem Kreuz ✗ gekennzeichnet.

Mittels dieser Anordnung kann eine übersichtliche Auswertung der gewonnenen Ergebnisse vorgenommen werden. Tabelle 15 zeigt den schematischen Aufbau der Messgrößenmatrix.

Ein weiterer Vorteil durch die Inkludierung der Untersuchungsergebnisse in eine Matrix ist die Möglichkeit der Filterung in Excel.

Tabelle 15: Schematischer Aufbau der Messgrößenmatrix

Messgrößenmatrix					
Nummer	Messgröße	aus Analyse / Dokument 1	aus Analyse / Dokument 2	aus Analyse / Dokument 3	aus Analyse / Dokument ...
1	Messgröße 1	✓	✓	✓	✗
2	Messgröße 2	✓	✗	✓	✗
3	Messgröße 3	✓	✗	✗	✗
4	...	✓	✗	✓	...
5					
...					

### 3.7.2 Messgrößenmatrix

Zum besseren Verständnis hinsichtlich der Messgrößenmatrix und der korrekten Befüllung sei hier Tabelle 16 erwähnt, welche einen kleinen Teil der befüllten Messgrößenmatrix abbildet. Die vollständige Messgrößenmatrix basierend auf der Auswertung des P2-Moduls, ist dem Anhang (ab Seite 107) zu entnehmen.

Tabelle 16: Auszug der befüllten Messgrößenmatrix, P2-Modul

Messgrößenmatrix							
Nummer	Messgröße	aus Standard-Messkanalliste	aus FMEA-Analyse	aus DVP&R-Analyse	aus Requirements-Analyse	aus DVP&R Measurement-Channel Analyse	aus FMEA-Textanalyse
1	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	✓	✓	✓	✓	✗	✓
2	Ist-Drehmoment_CL0	✓	✗	✗	✗	✗	✗
3	Ist-Drehmoment_E-Drive	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	Ist-Drehmoment_ICE	✓	✓	✓	✓	✗	✓
5	Ist-Drehzahl_E-Drive	✓	✓	✓	✓	✓	✗
6	Ist-Drehzahl_E-Pumpe (EOP)	✓	✓	✓	✗	✗	✗
7	Ist-Drehzahl_ICE	✓	✓	✓	✓	✗	✓
8	Ist-Drehzahl_Kühlmittelpumpe	✓	✗	✗	✗	✗	✗
9	Fahrzeugbeschleunigung	✗	✓	✓	✓	✗	✓
10	GPS-Geschwindigkeit	✗	✓	✗	✗	✗	✗
11	GPS-Position	✗	✓	✓	✓	✗	✗
12	Ist-Betriebsstrom_P2	✗	✓	✗	✗	✗	✗
13	Ist-Kilometerstand	✗	✓	✗	✗	✗	✗
14	Ist-Kühlmitteltemperatur_LT	✗	✓	✓	✗	✗	✗
15	Ist-Öldruck_C0	✗	✓	✓	✓	✓	✓
16	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	✗	✓	✓	✓	✓	✗
17	Ist-Status_BLS	✗	✓	✓	✗	✗	✓
18	Ist-Status_Kühlerventilator	✗	✓	✗	✗	✗	✗
19	Ist-Status_Wasserpumpe	✗	✓	✗	✗	✗	✗
20	...						

## 4 Abgleich der Ergebnisse

Im Wesentlichen liegt nach den Analysen eine Messgrößenmatrix vor, welche alle Resultate in übersichtlicher Form beinhaltet. Hier wird deutlich, dass die Messgrößen der Standard-Messkanalliste nur zum Teil von den ausgewerteten Analysen abgedeckt werden. Weiters ist ersichtlich, dass es einige Messgrößen gibt, welche aus den Analysen hervorgehen, jedoch in der Standard-Messkanalliste nicht vorhanden sind. Es bietet sich nun an, die Bedeutung dieser zusätzlichen Messgrößen für das Flottenmonitoring mit Fachexperten der AVL-List GmbH zu diskutieren und zu ermitteln. Hier werden die erarbeiteten Messgrößen nicht nur hinsichtlich ihrer Relevanz, sondern auch in Bezug auf den Aufwand ihrer Ermittlung beurteilt. Nur wenn dieser in einem annehmbaren Rahmen bleibt, macht die Aufnahme einer Messgröße ins Flottenmonitoring Sinn. Tabelle 17 zeigt eine Liste mit Messgrößen die laut den Fachexperten für Flottenversuche der AVL List GmbH, von Interesse für das in der Flotte untersuchte P2-Modul sein könnten und nicht in der Standard-Messkanalliste sind.

Tabelle 17: Von Standard-Messkanalliste abweichende Messgrößen – Von Interesse für den Flottenversuch

Abweichung von Standard-Messkanalliste - Interessant für Flottenversuch		
Nummer	Messgröße	Bemerkung
1	Fahrer	Über Logbuch
2	Fahrzeugbeschleunigung	Eventuell Sensor, ansonsten kalkulierte Größe
3	GPS-Geschwindigkeit	
4	GPS-Position	
5	Höhe (Höhe bezogen auf GPS-Daten)	
6	Ist-Betriebsspannung_P2	
7	Ist-Betriebsstrom_P2	
8	Ist-Fahrzeugmasse	Über Logbuch
9	Ist-Kilometerstand	
10	Ist-Kühlmitteltemperatur_LT	
11	Ist-Leistung_externer-Verbraucher	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar, sonst kalkulierte Größe
12	Ist-Öldruck_C0	
13	Ist-Öltemperatur_C0	
14	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar, sonst kein externer Sensor
15	Ist-Reifendruck	Wenn am CAN (automatische Reifendruckkontrolle), sonst Logbuch
16	Ist-Schmierungsdruck	Schmierdruck P2-Modul (CAN)
17	Ist-Status_Kühlerventilator	
18	Ist-Status_Wasserpumpe	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar, ansonsten abgedeckt über Drehzahl der Wasserpumpe
19	Ist-Tanklevel	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar, sonst Logbuch
20	Soll-Batterieladestatus_HV	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar
21	Soll-Batteriespannung_HV	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar
22	Soll-Betriebsspannung_P2	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar
23	Soll-Öldruck_C0	Wenn bereits als eigener Kanal (CAN) verfügbar, sonst nicht nötig
24	Wirkungsgrad-Hybridstatus	Kalkulierte Größe
25	Zeit (Umrechnung Beschleunigung)	Absolutzeit über Datenlogger



## 5 Zusammenfassung

Die Aufgabe der hier vorliegenden Masterarbeit war es, eindeutige und nachvollziehbare Abläufe zur Ableitung wesentlicher und für Flottenversuche relevante Anforderungen zu erarbeiten und darzustellen. Die Informationsgrundlagen bildeten dabei Analysen aus dem Bereich der Zuverlässigkeit, wie Fehler-Möglichkeiten und Einfluss Analyse, Design Verification Plan sowie Requirementsdokumente. Die dabei ermittelten Abläufe und Methoden wurden anschließend exemplarisch an einer Antriebsstrangkomponente eines Hybridfahrzeuges angewandt und ausgewertet.

Die aus den einzelnen Analysen gewonnenen Messgrößen konnten anschließend mit den Inhalten einer Standard-Messkanalliste abgeglichen werden. Tabelle 18 zeigt einige unterschiedliche Auswertungen der vorliegenden Resultate.

Tabelle 18: Auswertungsliste der Untersuchungsergebnisse

Auswertung der Resultate					
Quelle der Messgrößen	Anzahl der Messgrößen aus Quelle	Messgrößenübereinstimmung mit Standard-Messkanalliste		Anzahl der nicht in Standard-Messkanalliste enthaltenen Messgrößen	Anzahl Messgrößen - nicht in Standard-Messkanalliste - Interessant für Flottenversuch
		Anzahl	%		
Standard-Messkanalliste	77				
FMEA-Analyse	80	37	48	43	24
FMEA-Analyse reine Textanalyse	19	12	16	7	4
DVP&R-Analyse	37	23	30	14	9
DVP&R-Analyse Measurement-Channel	40	4	5	36	5
Requirements-Analyse	34	21	27	13	8

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass die im Zuge dieser Studie zur besseren Evaluierung der Auswertungsergebnisse vorliegende Standard-Messkanalliste einen Umfang von 77 Messgrößen aufweist.

Die hinsichtlich Anzahl ergiebigste Untersuchung ist mit 80 ermittelten Größen die FMEA-Analyse. Diese Untersuchung liefert mit 37 Messgrößen die meisten Übereinstimmungen mit der Standard-Messkanalliste, dadurch sind rund 48 % der Liste abgedeckt. Weiters sind von den 43 verbleibenden Messgrößen immerhin 24 für das Flottenmonitoring von Interesse. Dieses Ergebnis spiegelt den hohen Informationsgehalt dieser Analysetechnik wieder.

Die reine Betrachtung des FMEA-Textes liefert hingegen, mit nur 19 Messgrößen deutlich weniger Informationen, jedoch sind davon immerhin 12 Größen auch in der Standard-Messkanalliste (~ 16 %) zu finden. Von den 4 Messgrößen die für Flottenversuche von Relevanz sein könnten, finden sich alle natürlich auch in der spezifischeren FMEA-Analyse wieder.

Die deutlich geringere Anzahl an Resultaten ist auf den bewussten Verzicht einer Inkludierung von Fachwissen bzw. relevanten Spezifikationen bei der Auswertung zurückzuführen. Somit ist eine reine Textanalyse ohne Basisfachwissen und ohne umfangreiche Informationen hinsichtlich systemspezifischer Konfigurationen nur äußerst eingeschränkt zielführend.

Die Auswertung des DVP&R ist im Wesentlichen in die Analyse der Inhalte der einzelnen Teststandards und andererseits in die Untersuchung der in den Teststandards gebundenen Messkanaltabellen (Measurement-Channel) unterteilt. Beide Auswertungen zusammen liefern eine Anzahl von 77 Messgrößen, wobei davon 6 Größen deckungsgleich sind. Somit verbleiben effektiv 71 Resultate. Von diesen 71 Ergebnissen stimmen 24 Größen (23 aus Inhaltanalyse / 4 aus Measurement-Channel / 3 Übereinstimmungen) mit der Standard-Messkanalliste überein und 47 Messgrößen (14 aus Inhaltanalyse / 36 aus Measurement-Channel / 3 Übereinstimmungen) sind nicht in dieser enthalten. Von diesen 47 ermittelten Resultaten sind 11 Größen (9 aus Inhaltanalyse / 5 aus Measurement-Channel / 3 Übereinstimmungen) von Interesse für einen Flottenversuch.

Die Ergebnisse der Analyse der Requirementsdokumente sind nur eingeschränkt repräsentativ, da sich diese noch im Entstehungsprozess befinden. Basierend auf den vorliegenden Daten ergeben sich gesamthaft 34 Messgrößen. Dabei liegt bei 21 Größen eine Übereinstimmung mit der Standard-Messkanalliste vor. 27 % der Auflistung werden dadurch abgedeckt. Von den verbleibenden 13 Messgrößen sind 8 von potentiellen Interesse für Flottenuntersuchungen.

Die Gesamtheit aller ausgewerteten Analysen und Dokumente ergibt nach eingehender Untersuchung 115 Messgrößen. 39 Resultate davon sind in Übereinstimmung mit der Standard-Messkanalliste, wobei 37 der übereinstimmenden Ergebnisse alleine durch die FMEA-Analyse abgedeckt werden. Von den übrigen 76 Messgrößen sind immerhin 25 für das Flottenmonitoring von Interesse. Auch in diesem Fall deckt alleine die FMEA-Analyse 24 der interessantesten Größen ab.

Die Anzahl der Ergebnisse bzw. die Vielzahl von ermittelten Messgrößen, welche für Flottenuntersuchungen von Interesse sind, in Verbindung mit der Anzahl der Übereinstimmungen mit der Standardmesskanalliste zeigt, wie umfangreich die Informationen in den untersuchten Analysen und Dokumenten sind. Vor allem die FMEA-Analyse verzeichnet ein hohes Maß an Informationsgehalt. Diese Resultate

unterstreichen, dass die angewandten Abläufe und Methoden eine sinnvolle Extrahierung von flottenspezifischen Anforderungen ermöglichen.

Alle ausgewerteten Analysen und Dokumente haben für sich eine respektable Menge an Resultaten erzielt. Jedoch ist in diesem Zusammenhang die FMEA-Analyse durch die große Anzahl an eruierten Messgrößen, dem beachtlichen Anteil der Übereinstimmungen mit der Standard-Messkanalliste sowie der Tatsache, dass ein nicht minderer Teil der Größen auch abseits der Standard-Messkanalliste von Interesse für das Flottenmonitoring sind, besonders hervorzuheben. Vor allem diese Analysetechnik beinhaltet eine große Menge an Informationen, welche auch in Bezug auf die Ermittlung von Anforderungen an das Flottenmonitoring von Bedeutung sein können.

Auch die Auswertung des DVP&R ergab eine relativ große Anzahl an Resultaten. Hier ist jedoch hinsichtlich der untersuchten Teststandards festzuhalten, dass einige ermittelte Messgrößen, vor allem aus dem Bereich der Measurement-Channels, für einen Flottenversuch eine eher untergeordnete Rolle spielen dürften. Der Grund dafür kann sein, dass sich die untersuchten Testabläufe in erster Linie auf Prüfstandsversuche in der Entwicklung beziehen. Im Zuge dieser Versuche kommt es zur Erfassung von Messgrößen, welche zum einen Teil in Flottenversuchen nicht von vorrangiger Relevanz sind und zum anderen auch aus konstruktiven Gründen oder aus Gründen der zu komplexen Datenerfassung bzw. -speicherung im Fahrzeug schier nicht erfassbar sind.

Die in dieser Arbeit aufgezeigten Abläufe zur Generierung relevanter Anforderungen an das Flottenmonitoring zeigen einen möglichen Weg, diese in Analysen und Dokumenten verpackten Informationen zur Ermittlung von relevanten Messgrößen zugänglich zu machen. Jedoch sollte der entsprechende Aufwand auch dem dadurch erlangten Nutzen entsprechen. Es sei hier festgehalten, dass eine Untersuchung der vorliegenden Informationen ohne entsprechendes Fachwissen und Kenntnisse über das zu analysierende System nur eingeschränkt zielführend ist.

Die effizientere Nutzung und die zunehmende Automatisierung unterschiedlichster Prozesse und Informationsquellen in der Entwicklung von Systemen ist ein zukunftsorientierter und sinnvoller Aspekt. Somit ist auch die Verwendung vorhandener Daten und Informationen aus diversen Analysen und Dokumentationen zur Ableitung von Anforderungen an das Flottenmonitoring ein Schritt in die richtige Richtung zur Steigerung von Effizienz und Qualität. Das fachliche Wissen und die

Kompetenz der Experten bleiben jedoch stets ein wesentlicher und bedeutender Baustein in der Entstehung komplexer Entwicklungsprozesse. Nur durch Kombination von effizienten Auswertungsabläufen mit fachlicher Expertise ist eine sinnvolle und ergebnisorientierte Ableitung von relevanten Messgrößen für das Flottenmonitoring möglich.

## Literaturverzeichnis

**Braess Hans Hermann, Seiffert Ulrich**, Vieweg Handbuch Kraftfahrzeugtechnik, Springer Vieweg Verlag, 7. Auflage, 2013, ISBN: 978-3-658-01691-3

**Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation**, Advanced Product Quality Planning and Control Plan (APQP), 1995

**Daum Andreas, Greife Wolfgang, Przywara Rainer**, BWL für Ingenieurstudium und -praxis, Springer Vieweg Verlag, 2. Auflage, 2014, ISBN: 978-3-658-05362-8

**DIN EN ISO 9000:2005**, Qualitätsmanagementsysteme, Grundlagen und Begriffe, Dezember 2005

**Ebert Christof**, Systematisches Requirements Engineering, dpunkt.verlag, 4.Auflage, 2012, ISBN: 978-3-89864-812-7

**Hofmann Peter**, Hybridfahrzeuge, Springer-Verlag, Wien, 2010, ISBN: 978-3-211-89191-9

**Mathur Sonali, Malik Shaily**, Advancements in the V-Model, International Journal of Computer Applications, 2010

**ÖNORM EN ISO 9000**, Qualitätsmanagementsysteme, Grundlagen und Begriffe, Dez.2000

**Reif, Konrad**, Konventioneller Antriebsstrang und Hybridantriebe, Vieweg+Teubner Verlag, 1. Auflage, 2010, ISBN: 978-3-8348-1303-9

**Reif, Konrad, Borgeest**, Kraftfahrzeug-Hybridantriebe, Vieweg+Teubner Verlag, 1. Auflage, 2012, ISBN: 978-3-8348-2050-1

**Schwab Adolf J.**, Managementwissen für Ingenieure, Springer Vieweg Verlag, 2014, ISBN: 978-3-642-41983-6

**Valentini Uwe, Weißbach Rüdiger, Fahney Ralf, Gartung Thomas, Glunde Jörg, Herrmann Andrea, Hoffmann Anne, Knauss Eric**, Requirements Engineering und Projektmanagement, Springer Vieweg Verlag, 2013, ISBN: 978-3-642-29432-7

**VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E. V. (VDA)**, Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie 4, Frankfurt/Main, 2006

**Versteegen Gerhard**, Change Management bei Software-Projekten, Springer Verlag, 2001, ISBN: 978-3-642-56882-4

**Werdich Martin (Hrsg.)**, FMEA - Einführung und Moderation, VIEWEG+TEUBNER Verlag, 1.Auflage, 2011, ISBN: 978-3-8348-1433-3

**Avisaro Homepage**. Funktionsweise von Datenloggern

<http://archive.is/WBGq4> [Online] [Zitat vom 29.08.2015]

**AVL List GmbH Homepage**. CONCERTO

<https://www.avl.com/-/avl-concerto-data-post-processing> [Online] [Zitat vom 04.09.2015]

**Elektroniknet Homepage**. Das leisten moderne Datenlogger

<http://www.elektroniknet.de/automotive/sonstiges/artikel/102207/3/> [Online] [Zitat vom 21.09.2015]

**Elektroniknet Homepage**. Vom einfachen Datenspeicher zum effizienten Analysesystem

<http://www.elektroniknet.de/automotive/sonstiges/artikel/102207/> [Online] [Zitat vom 21.09.2015]

**Humboldt Universität zu Berlin Homepage**. Verifikation und Validierung

[http://www2.informatik.hu-berlin.de/~hs/Lehre/2004-WS\\_SWQS/20050105\\_Modelchecking.pdf](http://www2.informatik.hu-berlin.de/~hs/Lehre/2004-WS_SWQS/20050105_Modelchecking.pdf) [Online] [Zitat vom 09.09.2015]

**Humboldt Universität zu Berlin Homepage.** Zuverlässigkeit

[http://www2.informatik.hu-berlin.de/~hs/Lehre/2013-SS\\_SWQS/20130411\\_Begriffe.pdf](http://www2.informatik.hu-berlin.de/~hs/Lehre/2013-SS_SWQS/20130411_Begriffe.pdf) [Online] [Zitat vom 04.10.2015]

**Ipetronik Homepage.** Vom Datenlogger zum Analysesystem

[https://www.ipetronik.com/sites/default/files/field\\_page\\_file/el-info\\_201407\\_datenlogger\\_analyse.pdf](https://www.ipetronik.com/sites/default/files/field_page_file/el-info_201407_datenlogger_analyse.pdf)  
[Online] [Zitat vom 11.10.2015]

**OLEV Homepage.** Online-Verwaltungslexikon: 80-20-Regel

<http://www.olev.de/0/80-20-r.htm> [Online] [Zitat vom 09.09.2015]

**Pareto-Design Homepage.** Das Paretoprinzip

<http://pareto-design.de/paretoprinzip> [Online] [Zitat vom 09.09.2015]

**Plato Homepage.** DVP und R

<http://www.plato.de/DVPundR.html> [Online] [Zitat vom 12.09.2015]

**PTC Homepage.** Themenblatt: Verifizierung und Validierung

[http://support.ptc.com/WCMS/files/43562/de/2089\\_VV\\_RM\\_TS\\_DE.pdf](http://support.ptc.com/WCMS/files/43562/de/2089_VV_RM_TS_DE.pdf) [Online] [Zitat vom 09.09.2015]

**Universität Calgary Homepage.** Design Verification

[http://people.ucalgary.ca/~design/engg251/First%20Year%20Files/design\\_verif.pdf](http://people.ucalgary.ca/~design/engg251/First%20Year%20Files/design_verif.pdf)  
[Online] [Zitat vom 12.09.2015]

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Datenübertragungsschema am Stützpunkt, Daimler-Brennstoffzellen- fahrzeugflotte.....	4
Abbildung 2: Einfluss des Entdeckungszeitpunktes auf die Kosten.....	9
Abbildung 3: FMEA-Bezeichnungen .....	11
Abbildung 4: Zeitliche Einordnung der Analyse-Arten.....	14
Abbildung 5: Vorgehensweise bei FMEA.....	16
Abbildung 6: Requirements, DVP&R und FMEA im V-Modell .....	27
Abbildung 7: Exemplarisches Pareto-Diagramm.....	30
Abbildung 8: Prinzip elektrischer Hybridantrieb.....	33
Abbildung 9: Drehmomentverlauf 7700 parallel Hybrid Volvo I-SAM .....	33
Abbildung 10: Schema hybridisches Fahren.....	35
Abbildung 11: Schema rein elektrisches Fahren.....	35
Abbildung 12: Schema Boosten .....	36
Abbildung 13: Schema Generatorbetrieb <sup>48</sup> .....	36
Abbildung 14: Schema regeneratives Bremsen .....	37
Abbildung 15: Komponenten Start/Stop.....	38
Abbildung 16: Schematischer Aufbau eines Mild-Hybridsystems.....	40
Abbildung 17: Schematischer Aufbau eines Aufbau Voll-Hybridsystems .....	41
Abbildung 18: Strukturen von Hybridantrieben .....	43
Abbildung 19: Konfiguration serieller Hybridantrieb .....	44
Abbildung 20: Konfiguration leistungsverzweigter Hybridantrieb.....	46
Abbildung 21: Konfiguration paralleler Hybridantrieb .....	47
Abbildung 22: Basiskonzepte von Parallelhybriden .....	48
Abbildung 23: Schematischer Aufbau P1-Hybrid .....	49
Abbildung 24: Schematischer Aufbau P2-Hybrid .....	50
Abbildung 25: Schematischer Aufbau P3-Hybrid <sup>76</sup> .....	50
Abbildung 26: Schematischer Aufbau P4-Hybrid .....	51
Abbildung 27: P2 Hybridkopf (VW Touareg Hybrid).....	53
Abbildung 28: Symbolische Darstellung der Hauptvarianten der Fahrzeugdatenerfassung ..	55
Abbildung 29: AVL Concerto <sup>TM</sup> Datennachbearbeitungswerkzeug.....	57



---

Abbildung 30: Überblick FMEA-Prozess .....	58
Abbildung 31: Fiktives Beispiel für eine FMEA-Systemstruktur bis zur Komponentenebene.	59
Abbildung 32: Fiktives Beispiel für eine FMEA-Funktionsanalyse .....	60
Abbildung 33: Fiktives Beispiel für eine FMEA-Fehleranalyse ausgehend von einem Drosselklappensteller .....	61
Abbildung 34: Auszug eines Beispiels für den Aufbau eines FMEA-Formblattes .....	62
Abbildung 35: Grundlegender Ablauf bei der Analyse der FMEA-Daten .....	63
Abbildung 36: Schema einer fiktiven FMEA-Struktur .....	64
Abbildung 37: Reduzierte FMEA-Struktur mit dem Fokus auf das betrachtete Teilsystem ....	65
Abbildung 38: APIS-Paretoauswertung, Risikoprioritätszahl für P2-Modul.....	70
Abbildung 39: Paretoauswertung, Auftrittshäufigkeit der Grundursachen für das P2-Modul .	72
Abbildung 40: Links: Verteilung der für das Flottenmonitoring relevanten bzw. irrelevanten grenzwertentsprechenden Grundursachen (Gesamtanzahl) / Rechts: Verteilung der für das Flottenmonitoring relevanten bzw. irrelevanten grenzwertentsprechenden Grundursachen (ursachenbezogen- jeder Grundursachentyp nur einmal erfasst).....	73
Abbildung 41: Ablaufdiagramm zur Analyse der relevanten FMEA-Datenblöcke .....	77
Abbildung 42: Struktur des DVP&R-Dokuments in vertikaler Richtung (Zeilen) .....	82
Abbildung 43: Inhalte des DVP&R-Dokuments in horizontaler Richtung (Spalten).....	83
Abbildung 44: DVP&R-Formblatt und exemplarische Auszüge aus einem Teststandard .....	85

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Merkmale und Funktionen verschiedener Hybridvarianten .....	42
Tabelle 2: Übersicht der relevanten Targets des P2-Moduls.....	66
Tabelle 3: Schematischer Aufbau des FMEA-Formblattes in Excel .....	67
Tabelle 4: Exemplarischer Ausschnitt einer Excelpivottabelle bezogen auf die Grundursachen.....	71
Tabelle 5: Auszug eines exemplarisch befüllten FMEA-Formblattes.....	78
Tabelle 6: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der FMEA-Analyse aus dem Text .....	79
Tabelle 7: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der FMEA-Analyse mit technischen Überlegungen .....	80
Tabelle 8: Grundlegender Aufbau des DVP&R-Formblatts zur Sammlung der ausgewerteten Daten.....	84
Tabelle 9: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der DVP&R-Analyse .....	86
Tabelle 10: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der DVP&R-Analyse aus des Measurement Channels.....	87
Tabelle 11: Grundlegender Aufbau des Requirement-Formblatts zur Sammlung der ausgewerteten Daten .....	89
Tabelle 12: Auszug eines exemplarisch befüllten Requirement-Formblattes .....	90
Tabelle 13: Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten der Requirement-Analyse .....	91
Tabelle 14: Standard-Messkanalliste des P2-Modules mit Resultaten von Fachleuten der AVL List GmbH.....	93
Tabelle 15: Schematischer Aufbau der Messgrößenmatrix.....	94
Tabelle 16: Auszug der befüllten Messgrößenmatrix, P2-Modul .....	95
Tabelle 17: Von Standard-Messkanalliste abweichende Messgrößen – Von Interesse für den Flottenversuch .....	96
Tabelle 18: Auswertungsliste der Untersuchungsergebnisse .....	97
Tabelle 19: Anhang: Vollständige Messgrößenmatrix.....	107

# Anhang

Im folgenden Abschnitt befinden sich die im Zuge dieser Arbeit entstandenen Ergebnisse gebunden in der Messgrößenmatrix.

Tabelle 19: Anhang: Vollständige Messgrößenmatrix

Messgrößenmatrix							
Nummer	Messgröße	aus Standard-Messkanalliste	aus FMEA-Analyse	aus DVP&R-Analyse	aus Requirements-Analyse	aus DVP&R Measurement-Channel Analyse	aus FMEA-Textanalyse
1	Abstellhemmung_ICE	✓	✗	✗	✗	✗	✗
2	Batterie_HV-Fehlerkontrolllampe	✓	✗	✗	✗	✗	✗
3	Batterie_HV-Verlustleistung	✓	✗	✗	✗	✗	✗
4	Batterie_LV-Fehlerkontrolllampe	✓	✗	✗	✗	✗	✗
5	Bremspedal-Stellung	✓	✓	✓	✗	✗	✗
6	C0-Stellung (Ist-C0-Stellung)	✓	✓	✗	✓	✗	✗
7	DCT-Drehrichtungsstatus	✓	✗	✗	✗	✗	✗
8	DCT-Stellung (Ist-DCT-Status)	✓	✓	✗	✗	✗	✗
9	E-Drive-Regler-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
10	E-Drive-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
11	Fahrzeuggeschwindigkeit	✓	✓	✓	✓	✗	✓
12	Fehlerspeicher_ICE	✓	✓	✓	✗	✗	✗
13	Fehlerspeicher_P2	✓	✓	✓	✓	✗	✓
14	Fehlerspeicher_System	✓	✗	✗	✗	✗	✗
15	Gaspedal-Position	✓	✓	✓	✓	✗	✗
16	HVCU-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
17	Hybrid-Status	✓	✓	✓	✗	✗	✗
18	Hybrid-Status-Signal-Boost	✓	✓	✗	✓	✗	✗
19	ICE-Start-Marker (Startbit)	✓	✗	✗	✓	✗	✗
20	ICE-Start-Marker-Fehler	✓	✗	✗	✗	✗	✗
21	ICE-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
22	Ist-Batteriefunktionsstatus_HV (SOF)	✓	✗	✗	✗	✗	✗
23	Ist-Batteriesundheitsstatus_HV (SOH)	✓	✗	✗	✗	✗	✗
24	Ist-Batterieladestatus_HV (SOC)	✓	✓	✓	✗	✗	✓
25	Ist-Batterieladestatus_LV (SOC)	✓	✗	✗	✗	✗	✗
26	Ist-Batteriespannung_HV	✓	✓	✗	✗	✗	✗
27	Ist-Batteriespannung_LV	✓	✗	✗	✗	✗	✗
28	Ist-Batteriestrom_HV	✓	✓	✓	✗	✗	✓
29	Ist-Batteriestrom_LV	✓	✗	✗	✗	✗	✗
30	Ist-Betriebstemperatur_E-Drive	✓	✓	✓	✓	✗	✓
31	Ist-Drehmoment_CL0	✓	✗	✗	✗	✗	✗
32	Ist-Drehmoment_DCT_In	✓	✓	✗	✗	✗	✗
33	Ist-Drehmoment_DCT_Out	✓	✓	✓	✓	✗	✓
34	Ist-Drehmoment_E-Drive	✓	✓	✓	✓	✓	✓
35	Ist-Drehmoment_ICE	✓	✓	✓	✓	✗	✓
36	Ist-Drehmoment_Kriechen	✓	✗	✗	✗	✗	✗
37	Ist-Drehzahl_DCT_In	✓	✓	✗	✗	✗	✗
38	Ist-Drehzahl_DCT_Out	✓	✓	✓	✓	✗	✗
39	Ist-Drehzahl_E-Drive	✓	✓	✓	✓	✓	✗
40	Ist-Drehzahl_E-Pumpe (EOP)	✓	✓	✓	✗	✗	✗
41	Ist-Drehzahl_ICE	✓	✓	✓	✓	✗	✓
42	Ist-Drehzahl_Kühlmittelpumpe	✓	✗	✗	✗	✗	✗
43	Ist-Druck_Hydraulik	✓	✗	✓	✓	✓	✗
44	Ist-Ganghebelstellung (P,R,N,D)	✓	✗	✗	✗	✗	✗
45	Ist-Gangstellung (P,R,N,D)	✓	✗	✗	✗	✗	✗
46	Ist-Gangstellung_DCT (1,2,3,4,...)	✓	✓	✓	✓	✗	✗
47	Ist-Kühlmitteltemperatur_HT (ICE)	✓	✓	✗	✓	✗	✓
48	Ist-Öldruck_CL0	✓	✗	✗	✗	✗	✗
49	Ist-Öldruck_E-Pumpe	✓	✓	✓	✓	✗	✓
50	Ist-Öldruck_ICE	✓	✗	✗	✗	✗	✗

Messgrößenmatrix							
Nummer	Messgröße	aus Standard-Messkanaliste	aus FMEA-Analyse	aus DVP&R-Analyse	aus Requirements-Analyse	aus DVP&R Measurement-Channel Analyse	aus FMEA-Textanalyse
51	Ist-Öllevel_Ölwanne	✓	✓	✓	✗	✗	✓
52	Ist-Temperatur_Batterie_HV	✓	✗	✗	✗	✗	✗
53	Ist-Temperatur_Batterie_HV-PTC	✓	✗	✗	✗	✗	✗
54	Ist-Temperatur_Batteriezellen	✓	✗	✗	✗	✗	✗
55	Ist-Stellung_Zündung	✓	✓	✓	✗	✗	✗
56	Klimaanlage-Leistung	✓	✗	✗	✗	✗	✗
57	Klimaanlage-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
58	Klimakompressor-Status-Bit	✓	✓	✗	✗	✗	✗
59	Kühlmittelpumpe-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
60	Max-Bremsdrehmoment-regenerativ_Radniveau	✓	✗	✗	✗	✗	✗
61	Ölpumpe-Status (EOP)	✓	✓	✗	✗	✓	✗
62	Schubabschaltung-Treibstoff-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
63	Soil-CO-Stellung	✓	✓	✗	✗	✗	✗
64	Soil-DCT-Kupplung-Status	✓	✗	✗	✗	✗	✗
65	Soil-Drehmoment_CL0	✓	✗	✗	✗	✗	✗
66	Soil-Drehmoment_E-Drive	✓	✓	✗	✓	✗	✗
67	Soil-Drehmoment_ICE	✓	✓	✗	✗	✗	✗
68	Soil-Drehzahl_E-Drive	✓	✓	✗	✓	✗	✗
69	Soil-Drehzahl_E-Pumpe (EOP)	✓	✓	✗	✗	✗	✗
70	Soil-Öldruck_E-Pumpe	✓	✓	✗	✗	✗	✗
71	Soil-Schubabschaltung-Treibstoff	✓	✗	✗	✗	✗	✗
72	Soil-Start_ICE	✓	✗	✗	✗	✗	✗
73	Starthemmung_ICE	✓	✗	✗	✗	✗	✗
74	Treibstoffverbrauch	✓	✗	✗	✗	✗	✗
75	Umgebungsdruck	✓	✓	✓	✓	✗	✗
76	Umgebungstemperatur	✓	✓	✓	✓	✗	✗
77	Zugkraft	✓	✗	✗	✗	✗	✗
78	Fahrer	✗	✓	✓	✓	✗	✓
79	Fahrzeugbeschleunigung	✗	✓	✓	✓	✗	✓
80	GPS-Geschwindigkeit	✗	✓	✗	✗	✗	✗
81	GPS-Position	✗	✓	✓	✓	✗	✗
82	Heizung-Status-Bit	✗	✓	✗	✗	✗	✗
83	Höhe	✗	✓	✓	✓	✗	✗
84	Hybrid-Status-Signal-VKM-Start-Fahrbetrieb	✗	✓	✗	✗	✗	✗
85	Hybrid-Status-Signal-VKM-Start-Stillstand	✗	✓	✗	✗	✗	✗
86	Ist-Betriebsspannung_P2	✗	✓	✗	✗	✓	✗
87	Ist-Betriebsstrom_P2	✗	✓	✗	✗	✗	✗
88	Ist-Einspritzmenge_ICE	✗	✓	✗	✗	✗	✓
89	Ist-Fahrzeugmasse	✗	✓	✗	✗	✗	✗
90	Ist-Füllstand_Kühlmittel_HT	✗	✓	✗	✗	✗	✗
91	Ist-Füllstand_Kühlmittel_LT	✗	✓	✗	✓	✗	✗
92	Ist-Kilometerstand	✗	✓	✗	✗	✗	✗
93	Ist-Kühlmitteltemperatur_LT	✗	✓	✓	✗	✗	✗
94	Ist-Leistung_externe-Verbraucher	✗	✓	✗	✗	✗	✗
95	Ist-Leistung_Batterie	✗	✓	✗	✗	✗	✗
96	Ist-Leistung_E-Drive	✗	✓	✗	✗	✗	✗
97	Ist-Öldruck_C0	✗	✓	✓	✓	✓	✓
98	Ist-Öltemperatur_Ölwanne	✗	✓	✓	✓	✓	✗
99	Ist-Öltemperatur_P2	✗	✓	✓	✓	✗	✗
100	Ist-Reifendruck	✗	✓	✗	✗	✗	✗
101	Ist-Status_BLS	✗	✓	✓	✗	✗	✓
102	Ist-Status_Kühlerventilator	✗	✓	✗	✗	✗	✗
103	Ist-Status_Wasserpumpe	✗	✓	✗	✗	✗	✗
104	Ist-Tanklevel	✗	✓	✗	✗	✗	✓
105	Ist-Öltemperatur_C0	✗	✓	✓	✓	✓	✗
106	Ist-Temperatur_ICE	✗	✓	✗	✗	✗	✗
107	Öl_Massenstrom_Saugrohr	✗	✓	✓	✓	✗	✓
108	Räder_Blockierung	✗	✓	✗	✗	✗	✗
109	Soil-Batterieladestatus_HV	✗	✓	✗	✗	✗	✗
110	Soil-Batteriespannung_HV	✗	✓	✗	✗	✗	✗
111	Soil-Betriebstemperatur_E-Drive (P2)	✗	✓	✗	✗	✗	✗
112	Soil-Drehmoment_DCT_Out	✗	✓	✗	✗	✗	✗
113	Soil-Drehzahl_ICE	✗	✓	✗	✗	✗	✗

Messgrößenmatrix							
Nummer	Messgröße	aus Standard-Messkanalliste	aus FMEA-Analyse	aus DVP&R-Analyse	aus Requirements-Analyse	aus DVP&R Measurement-Channel Analyse	aus FMEA-Textanalyse
114	Soll-Kühlmitteltemperatur_LT	✘	✔	✘	✘	✘	✘
115	Soll-Öldruck_C0	✘	✔	✘	✘	✘	✘
116	Soll-Ötemperatur_P2	✘	✔	✘	✘	✘	✘
117	Soll-Tanklevel	✘	✔	✘	✘	✘	✘
118	Weg	✘	✔	✔	✔	✘	✘
119	Wirkungsgrad-Hybridstatus	✘	✔	✘	✘	✘	✘
120	Zeit	✘	✔	✔	✔	✘	✘
121	Ist-Kühlmitteldruck	✘	✘	✔	✔	✘	✘
122	Aktivierungsbit-Stromregler_Kanal_1 (Ventile / CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
123	Aktivierungsbit-Stromregler_Kanal_2 (Ventile / CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
124	Durchfluss_Kühlung	✘	✘	✘	✘	✔	✘
125	Fehlerbit_Kanal_1 (CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
126	Fehlerbit_Kanal_2 (CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
127	Ist-Drehmoment_Out-Rad_Links	✘	✘	✘	✘	✔	✘
128	Ist-Drehmoment_Out-Rad_Rechts	✘	✘	✘	✘	✔	✘
129	Ist-Drehzahl_Out-Rad_Links	✘	✘	✘	✘	✔	✘
130	Ist-Drehzahl_Out-Rad_Rechts	✘	✘	✘	✘	✔	✘
131	Ist-Druck_Hydraulikleitung_DCT	✘	✘	✘	✘	✔	✘
132	Ist-Druck_Hydraulikleitung_P2	✘	✘	✘	✘	✔	✘
133	Ist-Druck_Schmieröl_DCT	✘	✘	✘	✘	✔	✘
134	Ist-Druck_Schmieröl_P2	✘	✘	✘	✘	✔	✘
135	Ist-Schmierungsdruck (CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
136	Ist-Spannung_E-Pumpe	✘	✘	✘	✘	✔	✘
137	Ist-Temperatur_Hauptlagerung	✘	✘	✘	✘	✔	✘
138	Ist-Wert_Kp-Kanal1	✘	✘	✘	✘	✔	✘
139	Ist-Wert_Kp-Kanal2	✘	✘	✘	✘	✔	✘
140	Verdrehwinkel _Ausgang-P2	✘	✘	✘	✘	✔	✘
141	Verdrehwinkel _Ausgang-DCT	✘	✘	✘	✘	✔	✘
142	Verdrehwinkel_Ausgang-DMF	✘	✘	✘	✘	✔	✘
143	Verdrehwinkel_Eingang-DMF	✘	✘	✘	✘	✔	✘
144	Verdrehwinkel_Eingang-P2	✘	✘	✘	✘	✔	✘
145	Schleppmoment	✘	✘	✘	✘	✔	✘
146	Soll-Anregungsamplitude_P2_Kanal_1 (Ventilsteuerung / CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
147	Soll-Anregungsamplitude_P2_Kanal_2 (Ventilsteuerung / CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
148	Soll-Anregungsfrequenz_Kanal_1 (Ventilsteuerung / CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
149	Soll-Anregungsfrequenz_Kanal_2 (Ventilsteuerung / CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
150	Soll-Betriebsspannung_P2	✘	✘	✘	✘	✔	✘
151	Soll-Strom_Rampenzeit (CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
152	Soll-Strom_Kanal_1 (Ventile /CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘
153	Soll-Strom_Kanal_2 (Ventile /CAN)	✘	✘	✘	✘	✔	✘