



## Diplomarbeit

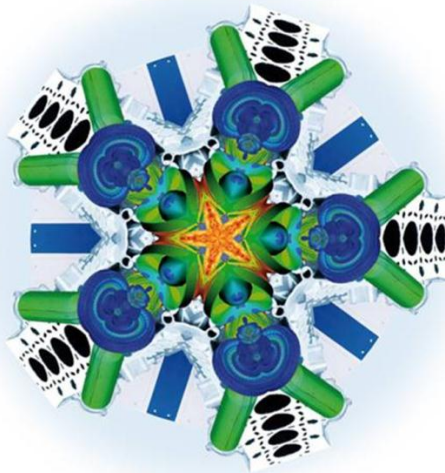
# Basistestprogramm für die Getriebeerprobung

Christian PROISSL

Betreuung: O. Univ.-Prof. DI Dr.techn. Gunter JÜRGENS (Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik der TU Graz)

DI Helmut PUSCHNIG (AVL LIST GmbH)

Graz 2013



## Danksagung

Ohne Unterstützung wäre es mir nicht möglich gewesen mich dem Studium, Wirtschaftsingenieurwesen - Maschinenbau an der TU Graz, zu widmen und diese Abschlussarbeit zu verfassen. Aus diesem Grund möchte ich mich herzlich bei folgenden Personen bedanken:

Meinen Eltern, Herbert und Renate Proißl, die mir das Studium erst ermöglicht haben und mich zu jedem Zeitpunkt unterstützt haben.

O. Univ.-Prof. DI Dr.techn. Gunter Jürgens für die Betreuung der Diplomarbeit seitens der TU Graz.

Dem gesamten DAV - Getriebeteam der AVL LIST GmbH für die freundliche Aufnahme und vielen Hilfestellungen.

Herrn DI Dr.-techn. Hannes Hick, Herrn DI Roland Hulla, Herrn DI Herwig Rieger, Herrn DI(FH) Wilhelm Vallant und Herrn Ing. Silvio Koiser möchte ich für die tatkräftige fachliche Unterstützung danken.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn DI(FH) Christian Velten, Herrn DI Dr.techn. Christian Rehr und Herrn Bsc. Tobias Herr sowie dem gesamten Load Matrix Motorenteam für die Unterstützung bei allen offenen Fragen bezüglich des AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Prozesses bedanken.

Mein besonderer Dank gilt meinem Betreuer, DI Helmut Puschnig, für seinen äußerst engagierten und persönlichen Einsatz, in allen fachlichen sowie auch organisatorischen Fragestellungen.

Abschließend möchte ich noch all jenen danken, die oben nicht namentlich erwähnt wurden, mich aber trotzdem während meines Studiums unterstützt haben.

Christian Proissl

## Eidesstattliche 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 entnommen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 16.Oktober 2013

.....

(Unterschrift)

## Zusammenfassung

AVL baut derzeit die Kompetenz im Bereich der Getriebeentwicklung aus. Aus diesem Grund wird die folgende Arbeit initialisiert.

In der vorliegenden Arbeit wird die Erstellung eines Basistestprogrammes für die Dauerlauferprobung von Getrieben beschrieben. Nach einem kurzen allgemeinen Überblick über die verschiedenen Getriebetypen, wird auf ein Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung näher eingegangen. Dieses dient als Referenz für diese Arbeit.

Zur systematischen Ableitung und Bewertung von Dauerlaufprogrammen verwendet AVL die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik, welche im Rahmen der Diplomarbeit angewendet werden soll, und daher vorgestellt wird.

Die Hauptteile der Arbeit bilden eine komplette Systemanalyse, eine Systempriorisierung sowie ein Finden der möglichen Bauteilschadartkombinationen inklusiver Auswertung für das betrachtete Getriebe. Ebenso werden verschiedene Betrachtungen sämtlicher verfügbarer Testinformationen sowie deren Einbindung und die Erstellung eines Testprogrammes durchgeführt.

Abschließend wird noch ein kurzer Einblick in die Optimierung eines Testprogrammes gezeigt.

## Abstract

AVL is currently expanding its expertise in transmission development and for this reason the following work was initialized.

In this thesis the creation of a basic test program for endurance testing of transmissions is described. Following a brief overview of gear transmissions, an automatic transmission with a torque converter and lockup clutch is considered in detail. This serves as a reference for this work.

For the systematic derivation and evaluation of endurance run programs, AVL uses the AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - methodology, which will be applied in the context of this thesis, hence its presentation here.

The major parts of this work cover a complete system analysis, a system prioritisation as well as finding all relevant component failure mode combinations and evaluate them. Further a consideration of all available test information and their integration, as well as the creation of a test program will be done.

Finally a brief insight into the optimization of a test program will be given.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1	<i>Aufgabenstellung</i> .....	1
1.2	<i>Ziel der Arbeit</i> .....	1
1.3	<i>Zeitplan</i> .....	2
<b>2</b>	<b>Theorie</b> .....	<b>3</b>
2.1	<i>Theoretische Grundlagen Getriebe</i> .....	3
2.1.1	<i>Übersicht Fahrzeuggetriebe</i> .....	4
2.1.2	<i>Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung</i> .....	5
2.2	<i>Schadensarten von Getriebebestandteilen</i> .....	22
2.2.1	<i>Ermüdung</i> .....	22
2.2.2	<i>Verschleiß</i> .....	25
2.2.3	<i>Thermisches Altern / Chemisches Altern</i> .....	27
2.2.4	<i>Korrosion</i> .....	27
2.2.5	<i>Kavitation</i> .....	27
2.3	<i>AVL - Load Matrix <sup>TM</sup></i> .....	28
2.3.1	<i>System Analyse</i> .....	29
2.3.2	<i>Applikationen und Zielwerte</i> .....	30
2.3.3	<i>Testprogramm und Belastungsanalyse</i> .....	31
2.3.4	<i>Auswertung und Optimierung</i> .....	32
2.4	<i>Entwicklungsprozess</i> .....	34

<b>3</b>	<b>Systemanalyse .....</b>	<b>41</b>
3.1	<i>Grunddefinition.....</i>	41
3.1.1	<i>Definition des Systemumfangs.....</i>	43
3.1.2	<i>Durchführung der Systempriorisierung.....</i>	47
3.1.3	<i>Befüllung des AP - Blattes .....</i>	49
3.1.3.1	<i>Wellen .....</i>	52
3.1.3.2	<i>Gehäuse.....</i>	55
3.1.3.3	<i>Laufverzahnung.....</i>	56
3.1.3.4	<i>Planetensatz.....</i>	57
3.1.3.5	<i>Anfahrelement.....</i>	58
3.1.3.6	<i>Lagerung .....</i>	59
3.1.3.7	<i>Aktuatorik (Bremsse / Kupplung).....</i>	60
3.1.3.8	<i>Parkmechanismus.....</i>	61
3.1.3.9	<i>Schmiersystem.....</i>	62
3.1.3.10	<i>Hydraulik.....</i>	64
3.1.4	<i>AP - Blatt Analyse .....</i>	66
3.1.4.1	<i>Analyse der Ausfallsart auf Komponentenebene.....</i>	66
3.1.4.2	<i>Analyse Aufteilung der Prioritätsthemen .....</i>	67
3.1.4.3	<i>Schädigende Betriebsbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse.....</i>	68
3.1.4.4	<i>Randbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse.....</i>	70
<b>4</b>	<b>Vom Kundenwunsch zum Lastkollektiv .....</b>	<b>71</b>
4.1	<i>Definierte Ziele .....</i>	71
4.2	<i>Verwendete Lastkollektive (Kundensicht, Systemsicht) .....</i>	72
<b>5</b>	<b>Erstellung Basistestprogramm .....</b>	<b>75</b>
5.1	<i>Analyse von Erprobungsprogrammen für Getriebe .....</i>	75
5.2	<i>Festlegung von Dauerlauferprobungsprogrammen .....</i>	78
5.3	<i>Zusammenhang zwischen AP - Blatt und Erprobungsprogramm.....</i>	84
5.4	<i>Analyse von vorhandenen Schädigungsmodellen.....</i>	85
<b>6</b>	<b>Auswertung und Optimierung.....</b>	<b>89</b>
6.1	<i>Weitere Schritte.....</i>	89
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>91</b>
<b>8</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>93</b>
<b>9</b>	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>96</b>
<b>10</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>97</b>
<b>11</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>98</b>

# 1 Einleitung

Die folgende Diplomarbeit wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Maschinenelemente und Entwicklungsmethodik der TU Graz sowie AVL LIST GmbH erstellt.

## 1.1 Aufgabenstellung

In der Entwicklung von Verbrennungsmotoren verwenden Hersteller standardisierte Dauerläuferprobungsprogramme an Prüfständen (Komponente oder System) und im Fahrzeug zur Bewertung des Entwicklungsstandes der Bauteile. AVL baut derzeit die Kompetenz im Bereich der Getriebeentwicklung aus und benötigt hierzu, vergleichend zur Verbrennungsmotorenentwicklung, ein Basistestprogramm zur Dauerläuferprobung von Getriebeentwicklungen. Zur systematischen Ableitung und Bewertung von Dauerlaufprogrammen verwendet AVL die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik, welche im Rahmen der Diplomarbeit angewendet werden soll.<sup>1</sup>

## 1.2 Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist die Ableitung eines Basistestprogrammes für die Dauerläuferprobung von Getrieben.

Basistestprogramm bedeutet:

- Definition der erforderlichen Testprozeduren / Testzyklen (vgl. mit Verbrennungsmotortestprozeduren) in Abhängigkeit von den Entwicklungsthemen
- Definition von Testlängen in Abhängigkeit der Getriebeanwendung
- Definition von Testzeitpunkten in Abhängigkeit des Entwicklungsstandes<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl. AVL Ausschreibung Diplomarbeit (2013)

<sup>2</sup> Vgl. AVL Ausschreibung Diplomarbeit (2013)

### 1.3 Zeitplan

Der folgende Zeitplan wird im Laufe der Arbeit ständig aktualisiert und angepasst. Es sind die wichtigsten Meilensteine, sowie die simultane Vorgangsweise die zur Erstellung der Arbeit notwendig ist, klar ersichtlich.

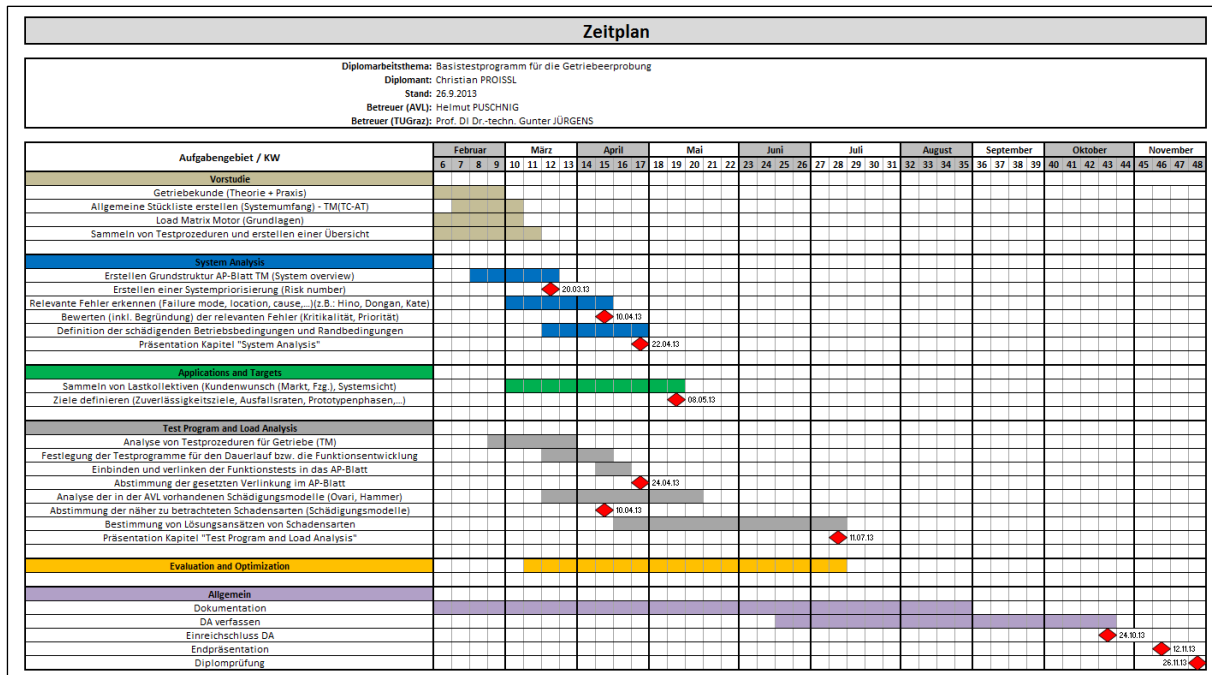


Tabelle 1.1: Zeitplan



## 2 Theorie

In diesem Kapitel werden die zur Erstellung der Arbeit notwendigen theoretischen Zusammenhänge erläutert.

### 2.1 Theoretische Grundlagen Getriebe

*„Das Getriebe wandelt Drehzahl und Drehmoment der Kraftmaschine und passt beide dem Bedarf der Arbeitsmaschine an.“<sup>3</sup>*

Ein Getriebe besteht im Prinzip aus drei Gliedern: Antriebs- und Abtriebswelle und feststehendem Gestell (Gehäuse), in dem beide Wellen - mechanisch, elektrisch, hydraulisch oder pneumatisch - miteinander gekoppelt sind. Das Gestell überträgt ein Abstützmoment auf das Fundament.<sup>4</sup>

Die grundsätzlichen Konstruktionselemente eines Getriebes sind:<sup>5</sup>

- Wellen
- Überbrückung des Achsabstandes (z.B.: Stirnradpaarungen, Ketten,...)
- Lager
- Reversiereinrichtung (Rückwärtsgang)
- Gehäuse
- Dichtungen
- Aggregatelagerung
- Schalter und Sensoren
- Parksperre
- Bedienhebel (Wählhebel)
- Getriebeöl

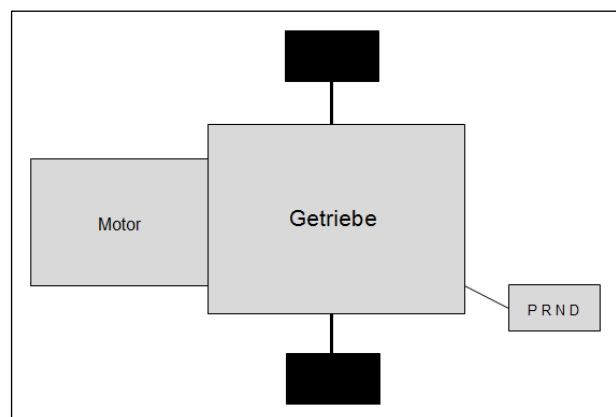


Abbildung 2.1: Motor / Getriebe

<sup>3</sup> Niemann/Winter (2003), S. 2

<sup>4</sup> Niemann/Winter (2003), S. 2

<sup>5</sup> Vgl. Fischer et al. (2012), S. 221ff

## 2.1.1 Übersicht Fahrzeuggetriebe

Nachfolgend wird eine mögliche Einteilung von Fahrzeuggetrieben dargestellt.

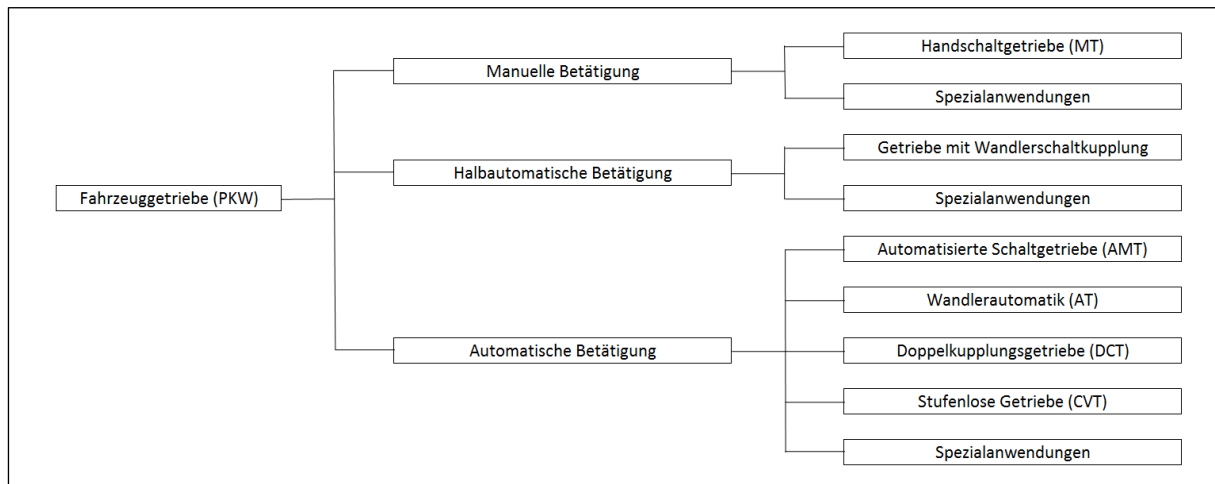


Abbildung 2.2: Einteilung von Fahrzeuggetrieben

Für die Diplomarbeit wird ein Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung (*Wandlerautomatik(AT)*) näher betrachtet.

### Übersetzung<sup>6</sup>

Die Übersetzung  $i$  ist das Verhältnis der Winkelgeschwindigkeiten  $\omega_i$  bzw. Drehzahlen  $n_i$  des treibenden Rades zum getriebenen Rad

$$i = \omega_1/\omega_2 = n_1/n_2.$$

Das Getriebe führt neben der Drehzahl- auch eine Drehmomentwandlung durch. Das Abtriebsmoment wird unter Vernachlässigung von Verlusten durch

$$M_2 = i \cdot M_1$$

bestimmt.

Ist die Übersetzung  $i \neq 1$ , tritt eine Momentendifferenz zwischen An- und Abtriebsseite auf. Dieses Differenzmoment muss durch die Lagerung bzw. das Gehäuse abgestützt werden.

<sup>6</sup> Vgl. Fischer et al. (2012), S. 37

## 2.1.2 Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung

Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung besitzen generell folgende Baugruppen:<sup>7</sup>

- Drehmomentwandler
- Wandlerüberbrückungskupplung
- Radsatz (Planetengetriebe)
- Schaltelemente (Lamellenkupplungen und -bremsen)
- Parksperre
- elektrohydraulisches Getriebesteuergerät

Die folgenden Abbildungen zeigen das 8-Gang-Automatikgetriebe 8HP der ZF Friedrichshafen AG mit dazugehörigen Radsatz.

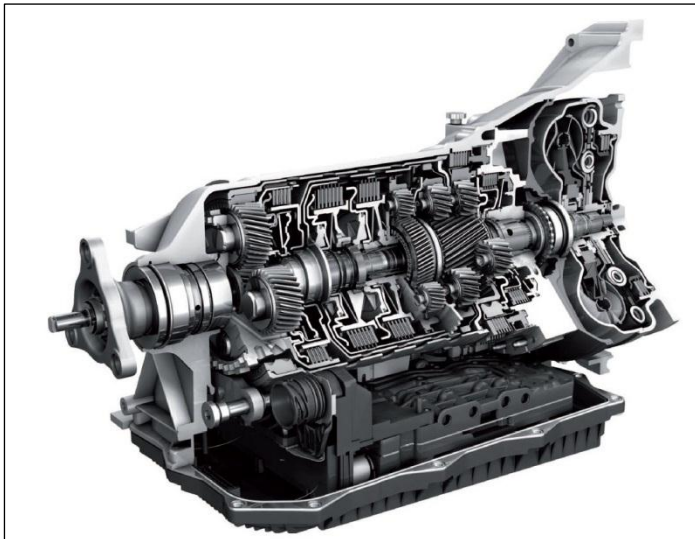


Abbildung 2.3: 8-Gang-Automatikgetriebe 8HP der ZF Friedrichshafen AG<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Vgl. Fischer et al. (2012), S. 248f

<sup>8</sup> Fischer et al. (2012), S. 249

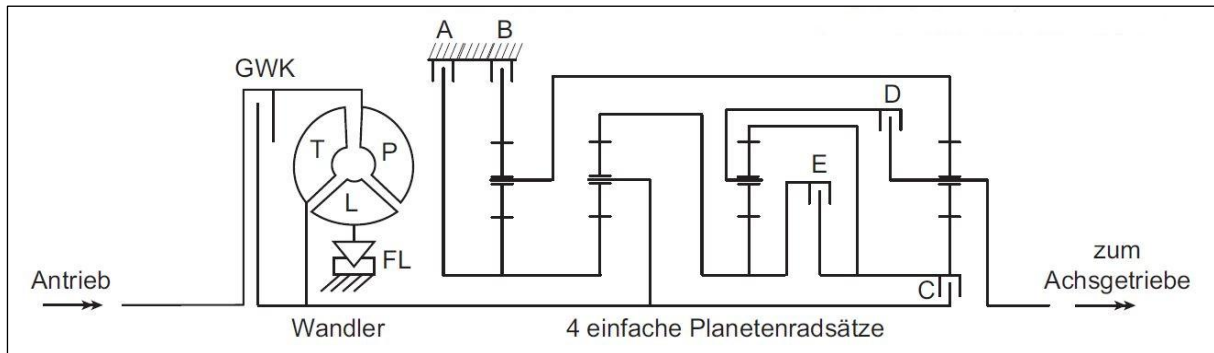


Abbildung 2.4: Radsatz des ZF-8HP-Getriebes<sup>9</sup>

Der Leistungsfluss erfolgt von Antrieb, über die geregelte Wandlerüberbrückungskupplung (GWK), zum Wandler, zu 4 einfachen Planetenradsätzen und schlussendlich zum Achsgetriebe. A und B stellen Bremsen dar, sowie C, D und E Kupplungen symbolisieren.

<sup>9</sup> Fischer et al. (2012), S. 250

In folgendem werden die einzelnen Komponenten beschrieben:

### ***Drehmomentwandler***

Der fluiddynamische Drehmomentwandler ist ein stufenloses Getriebe und enthält ein Pumpen-, ein Turbinen- und ein Leitrad sowie einen Freilauf (siehe Abbildung 2.5). Das drehende Pumpenrad wandelt die mechanische Drehenergie in hydraulisch kinetische Energie um. Die Strömung trifft auf das Turbinenrad, in dem die hydraulische Energie wieder in mechanische umgewandelt wird. Das Leitrad bewirkt mit seiner Umlenkung der Strömung eine Änderung des Moments. Je nach Betriebspunkt (Drehzahlverhältnis von Pumpe zu Turbine) wird das Pumpenmoment gewandelt. Das Differenzmoment wird dabei vom Leitrad aufgenommen.<sup>10</sup>

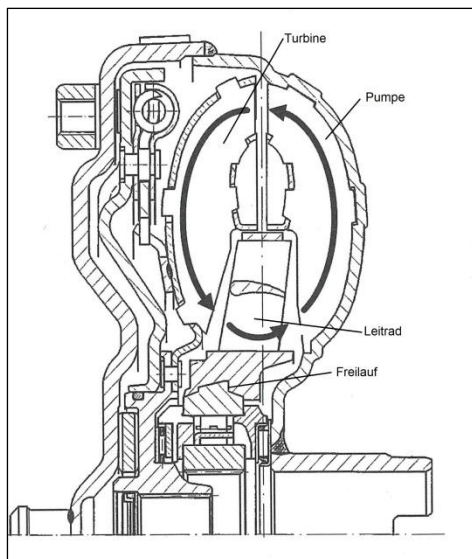


Abbildung 2.5: Querschnitt eines Wandlers<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Fischer et al. (2012), S. 140

<sup>11</sup> Fischer et al. (2012), S. 140

## Wandlerüberbrückungskupplung

Ähnlich der Ergänzung von Klauenschaltungen durch einen Kraftschluss sind auch moderne Wandler durch eine Überbrückungskupplung ergänzt. Sie wirkt parallel zur fluiddynamischen Leistungsübertragung, indem sie die Motor-(Pumpen-)Seite mit der Turbine verbindet.

Das Zweileitungsprinzip nutzt nur die vorhandenen Zu- und Ablaufleitungen durch eine Richtungsumkehr. Im offenen Zustand strömt das Öl gemäß Abbildung 2.6 von links zwischen Wandlerdeckel und Kolben durch den Wandler und führt dessen Verlustwärme ab. Im geschlossenen Zustand wird der linke Raum drucklos geschaltet und der Druck im Wandlerraum bestimmt mit der Kolbenfläche die Anpress- und Reibkraft.<sup>12</sup>

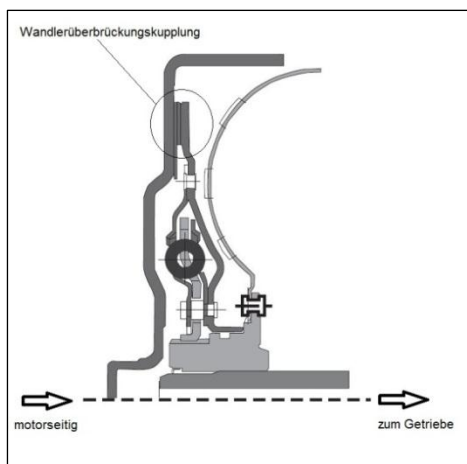


Abbildung 2.6: Prinzipdarstellung einer Überbrückungskupplung<sup>13</sup>

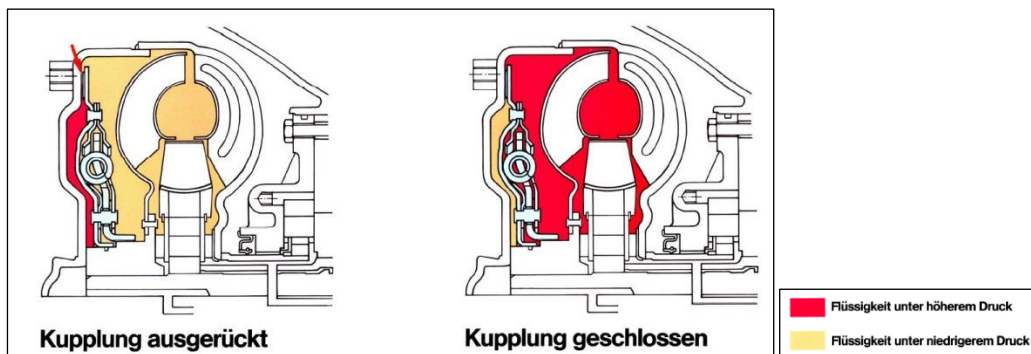


Abbildung 2.7: Überbrückungskupplung ausgerückt und geschlossen<sup>14</sup>

<sup>12</sup> Fischer et al. (2012), S. 144

<sup>13</sup> Fischer et al. (2012), S. 144

<sup>14</sup> Fischer (2010), S. 155

## Radsatz (Planetengetriebe)

Planetenstufen stellen die leistungsübertragenden Elemente in den meisten Stufenautomatikgetrieben dar.

Die übliche Planetenradstufe besteht aus einem zentralen Zahnrad, dem Sonnenrad (S), einem innenverzahnten Hohlrad (H) sowie mehreren Planetenrädern (P), die sowohl mit dem Sonnenrad als auch mit dem Hohlrad im Eingriff stehen. Die Planetenräder werden in einem Planetenradträger (T), auch Steg genannt, geführt. Ihre Drehachsen laufen um die gemeinsame zentrale Achse des Planetenradsatzes um. Daher werden Planetengetriebe auch als Umlaufrädergetriebe oder Umlaufgetriebe bezeichnet.<sup>15</sup>

Die folgende Abbildung zeigt eine Planetenradstufe, die aus einem Sonnenrad (S), einem Hohlrad (H) und drei Planeten (P) besteht.

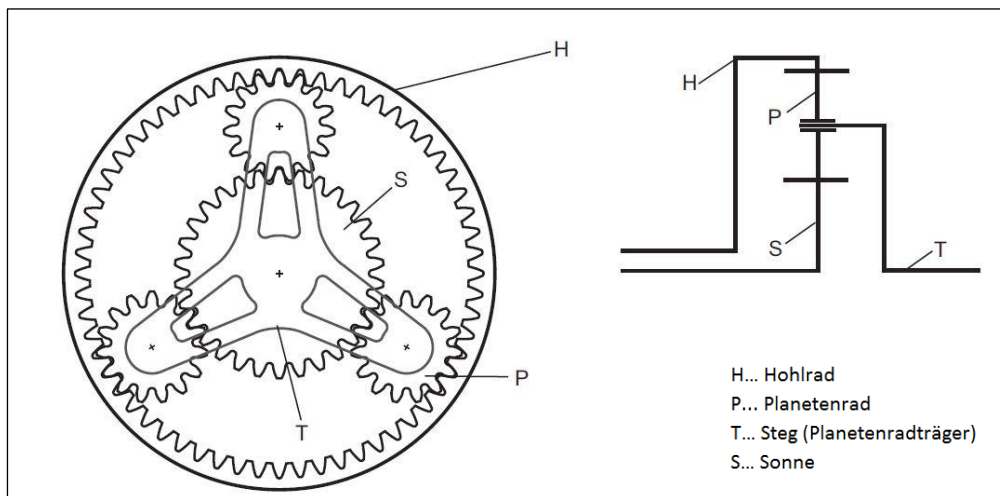


Abbildung 2.8: Zweidimensionale und schematische Darstellung der einfachen Planetenstufe<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Fischer et al. (2012), S. 108

<sup>16</sup> Fischer et al. (2012), S. 109

Die Getriebeübersetzungen können einfach grafisch ermittelt werden. In der folgenden Abbildung wird die grafische Ermittlung der Getriebeübersetzung mit dem Drehzahlplan nach K. Kutzbach gezeigt.

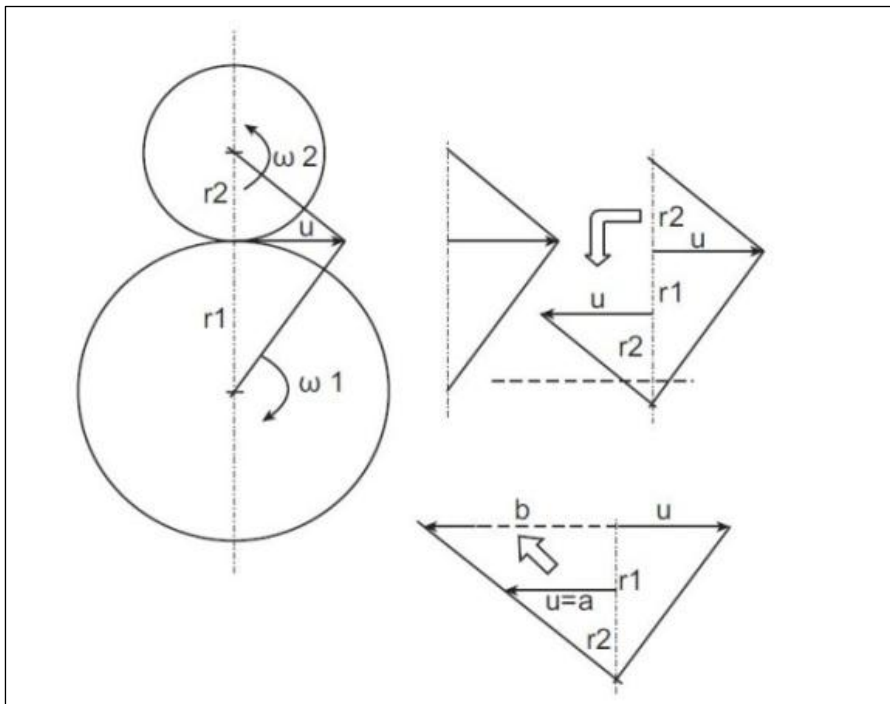


Abbildung 2.9: Grafische Ermittlung einer Getriebeübersetzung<sup>17</sup>

Die Kreise ( $r_1$ ,  $r_2$ ) im Bild entsprechen den Wälzkreisen der beteiligten Zahnräder. Die gemeinsame Umfangsgeschwindigkeit ist dabei  $u$ . Die Geschwindigkeitsverteilung im Körper ist direkt proportional dem Radius.

$$v = r * \omega$$

Klappt man das zweite Dreieck mit  $r_2$  in den gleichen Drehpunkt, so sieht man die Geschwindigkeitsverteilung vorzeichengerecht dargestellt.

$$u = r_1 \omega_1 = r_2 (-\omega_2)$$

<sup>17</sup> Fischer et al. (2012), S. 110



Vergrößert man über ähnliche Dreiecke  $r_2$  auf  $r_1$ , so wird  $a$  zu  $b$  und

$$\omega_1/\omega_2 = r_2/r_1.$$

Die Drehzahlverhältnisse können mit  $u = a$  und  $b$  auf einer Geraden abgelesen werden. Entsprechend der Definition der Übersetzung beschreibt diese das Verhältnis der Eingangsdrehzahl zur Ausgangsdrehzahl.<sup>18</sup>

Wie für Außenverzahnungen kann die Übersetzung vorzeichengerecht auch für Innenverzahnung ermittelt werden.

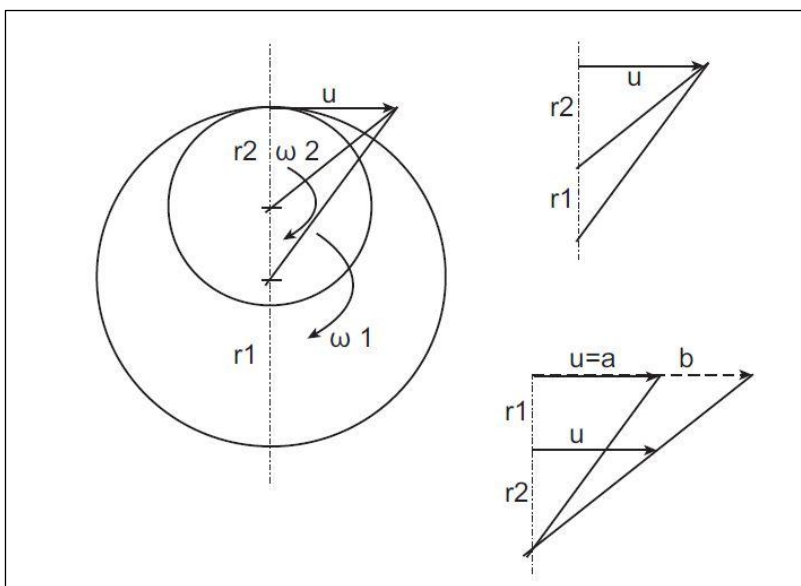


Abbildung 2.10: Grafische Ermittlung der Übersetzung bei Innenverzahnung<sup>19</sup>

<sup>18</sup> Fischer et al. (2012), S. 110f

<sup>19</sup> Fischer et al. (2012), S. 111

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch den Drehzahlplan eines Umlaufgetriebes.

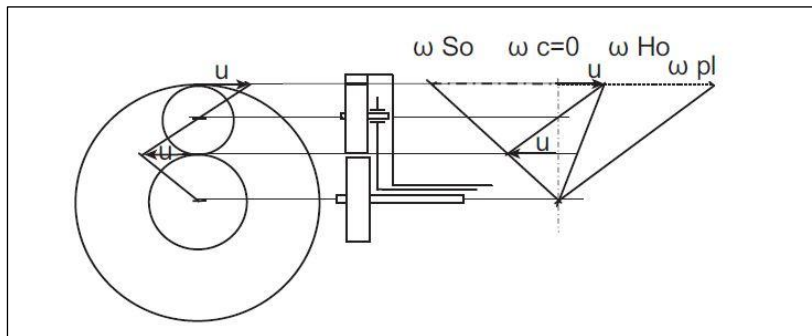


Abbildung 2.11: Drehzahlplan eines Umlaufgetriebes<sup>20</sup>

Hierbei wird der Planetenradträger als stehend angenommen ( $\omega_c = 0$ ).  $\omega_{Ho}$  und  $\omega_{pl}$  zeigen in die gleiche Richtung was gleiche Drehrichtung bedeutet. Im Gegensatz dazu dreht  $\omega_{So}$  entgegengesetzt. Die Längen der Drehzahlgeraden spiegeln die Drehzahlverhältnisse der einzelnen Komponenten zueinander wieder.

<sup>20</sup> Fischer et al. (2012), S. 112

Neben dem bereits erwähnten einfachen Radsatz, werden hier noch zwei weitere recht verbreitete Radsätze, nämlich der Ravigneaux - sowie der Lepelletier - Radsatz, vorgestellt.

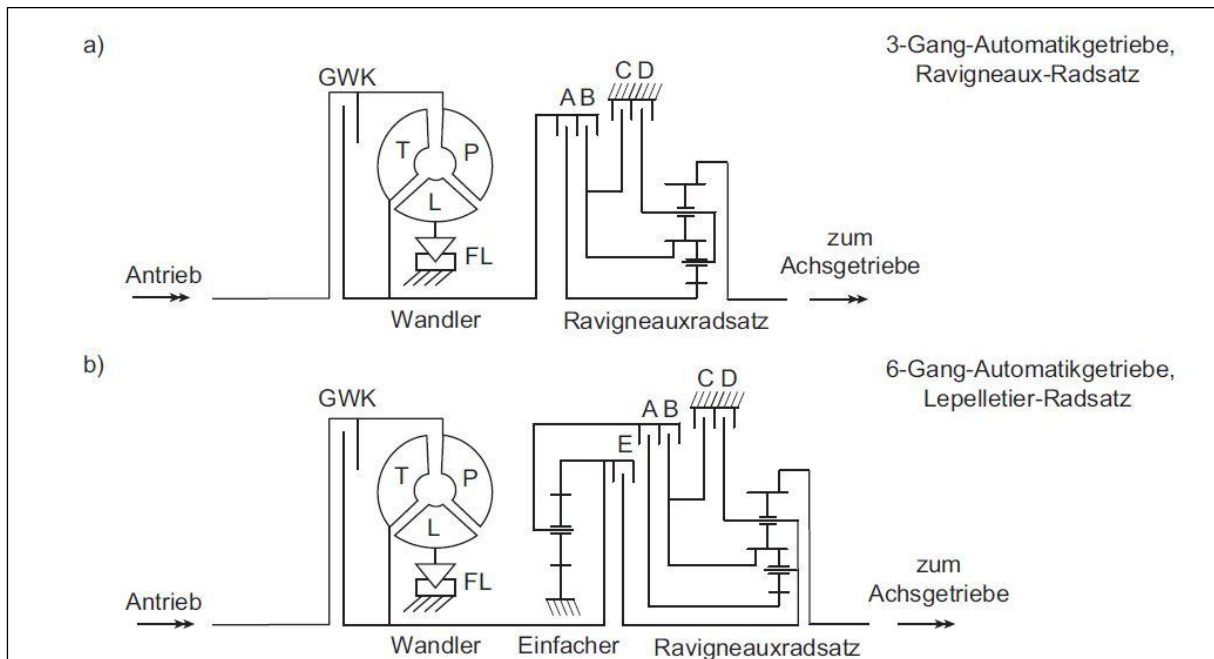


Abbildung 2.12: Ravigneaux - Radsatz (a), Lepelletier - Radsatz (b)<sup>21</sup>

Der Lepelletier - Radsatz ist eine Weiterentwicklung des Ravigneaux - Radsatzes. Während der Ravigneaux - Radsatz eine Schaltung von bis zu 4 Gängen erlaubt, ermöglicht der Lepelletier - Radsatz die Realisierung von fünf und mehr Gängen. Der Lepelletier - Radsatz entsteht, indem einem Ravigneaux - Radsatz ein weiterer einfacher Planetensatz vorangestellt und mit Kupplungen verbunden wird.<sup>22</sup>

<sup>21</sup> Fischer et al. (2012), S. 252

<sup>22</sup> Vgl. Wikipedia - Die freie Enzyklopädie (2013)

## Schaltelemente (Lamellenkupplungen und -bremsen)

In Automatikgetrieben mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung kommen fast ausschließlich Nasskupplungen zum Einsatz.<sup>23</sup> Der Reibwertverlauf einer Nasskupplung liegt physikalisch zwischen dem hydrodynamischen Verhalten eines Gleitlagers und der Trockenreibung nach Coulomb, wie dies auch von der Stribeck - Kurve bekannt ist.

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Reibwert und Gleitgeschwindigkeit (Stribeck - Kurve).

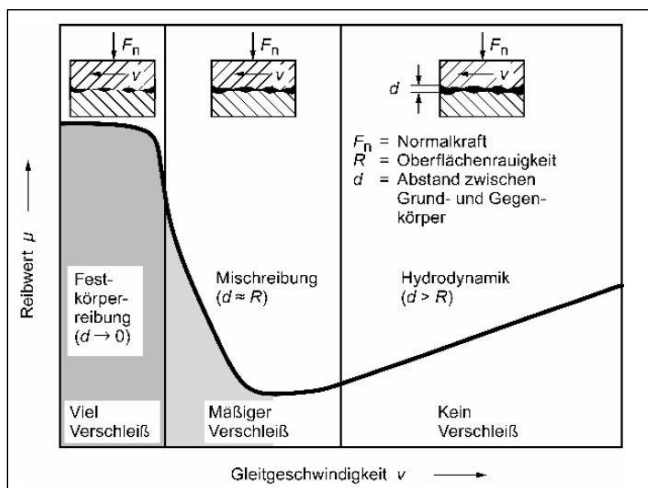


Abbildung 2.13: Stribeck - Kurve<sup>24</sup>

Dieses Verhalten kann durch die Öleigenschaften, inklusive Additive, modifiziert werden.

Der Reibwertverlauf ist dabei abhängig von der Gleitgeschwindigkeit. Er wird durch weitere Parameter, wie Reibmaterial, Flächenpressung und Temperatur, beeinflusst. Einflüsse von Reibung, Verschleiß und Schmierung werden unter dem Begriff Tribologie zusammengefasst. Tribologische Systeme stellen eine große interdisziplinäre Herausforderung dar.<sup>25</sup>

<sup>23</sup> Vgl. Fischer et al. (2012), S. 249

<sup>24</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 434

<sup>25</sup> Fischer et al. (2012), S. 128

Zur besseren Übersicht ist das Lamellenpaket einer Nasskupplung in folgender Abbildung dargestellt.

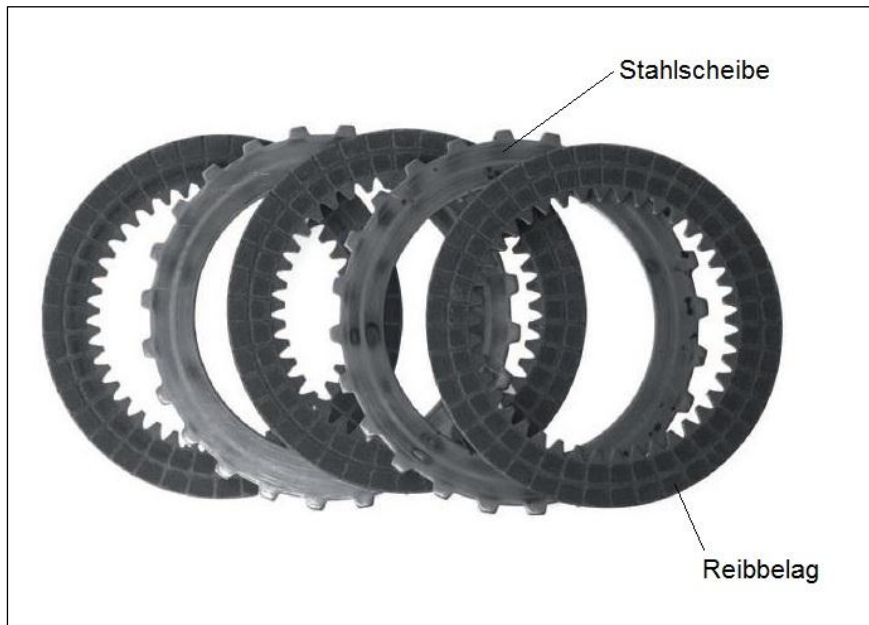


Abbildung 2.14: Lamellenpaket einer Nasskupplung<sup>26</sup>

Gängige Reibbeläge bestehen üblicherweise aus:<sup>27</sup>

- Organische Bestandteile („Papier“) wie Fasern, Füllstoffe, Phenolharz
- Streusinter wie Kupfer, Zinn, Eisen, Grafit
- Carbon aus Carbongewebe in Harz getränkt

Reibbeläge werden generell mit Nuten versehen (Ausnahmen Vollcarbongewebe). Die Nutung hat folgende Aufgaben:

- Kühlung der Lamellen durch Ölstrom auch bei geschlossenem Schaltelement
- Zerschneiden des Ölfilms und dadurch Stabilisierung des Reibwertes
- Schaffung des gewünschten Reibverhaltens bei der Schaltung
- Verbesserung des Leerlaufverhaltens, Reduzierung des Schleppmomentes

<sup>26</sup> Fischer et al. (2012), S. 131

<sup>27</sup> Vgl. Naunheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 360f

Je nach Anwendungsfall gibt es eine große Vielfalt an unterschiedlich einsetzbaren Nutformen und Nutgeometrien. Das Nutbild wird in der Regel empirisch ermittelt und durch Erprobung auf den speziellen Einsatzfall optimiert.

Gängige Nutungen von Reibbelägen werden in folgender Abbildung dargestellt.

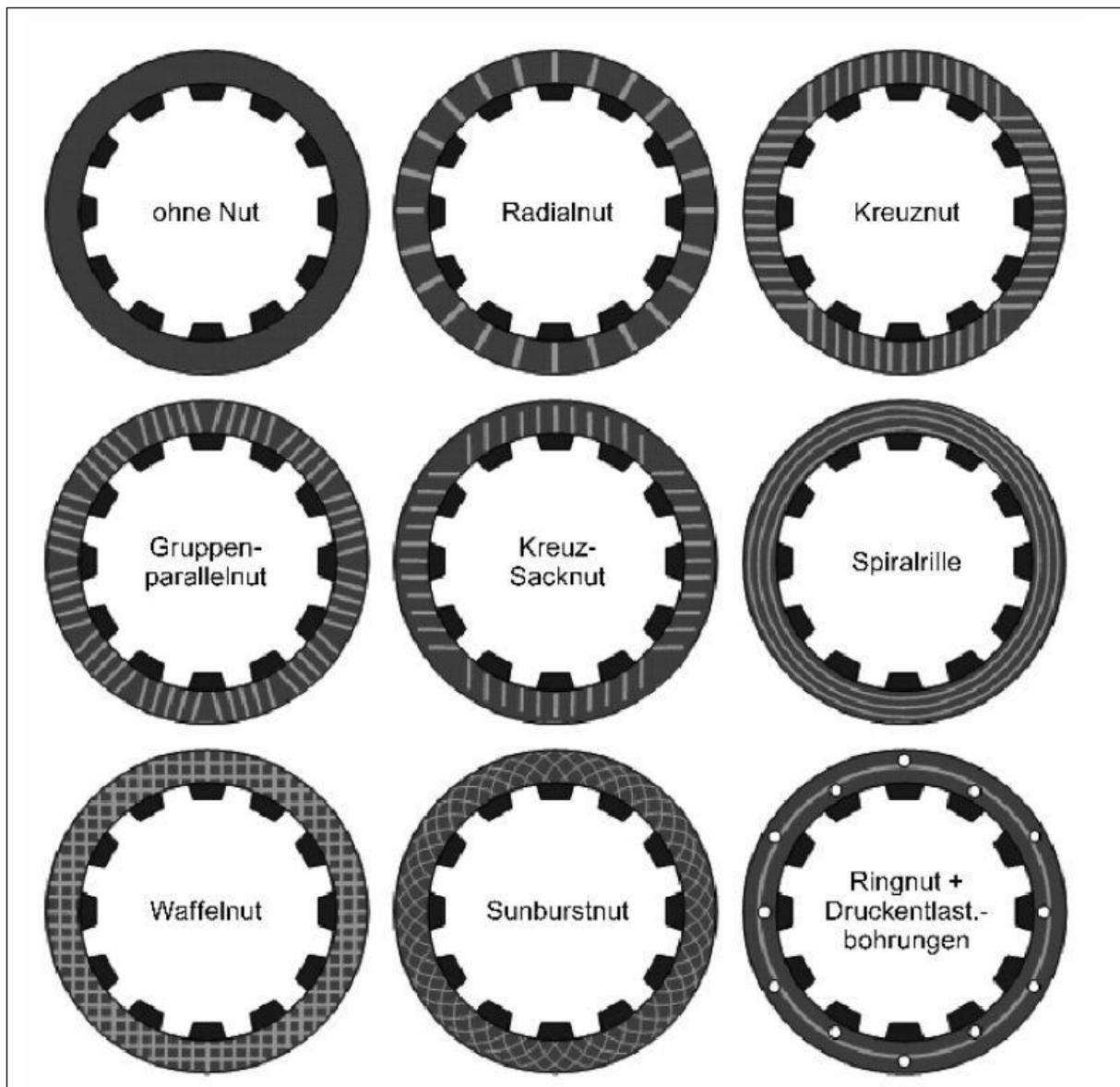


Abbildung 2.15: Gängige Nutung von Reibbelägen<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 361

Eine immer wichtigere Rolle trägt der Schmierstoff. Neben der geforderten immer geringer werdenden Schmierstoffmenge besteht die Forderung, dass der Schmierstoff über die Gesamtlaufzeit des Fahrzeuges nicht gewechselt werden muss. Der Schmierstoff hat folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Verringerung von Reibung und Verschleiß
- Übernahme des Wärmetransports
- Bildung trennaktiver Schichten im Mischreibungsgebiet
- Korrosionsschutz an allen im Getriebe verwendeten Werkstoffen
- Neutralität gegenüber Dichtungen und Lackanstrichen
- Gute Schmutzlöse-/Reinigungsfunktion
- Abscheidung von Wasser
- Hoch- und Tieftemperaturbeständigkeit
- Alterungsbeständigkeit
- Geringe Kosten<sup>29</sup>

Eine der wichtigsten Eigenschaften der Getriebeöle ist ihre Fließfähigkeit - die Viskosität. Die Viskosität oder Zähigkeit beschreibt die innere Reibung der Flüssigkeit. Man unterscheidet zwischen dynamischer Viskosität  $\eta$  und kinematischer Viskosität  $\nu$ , wobei fast ausschließlich die kinematische Viskosität angegeben wird. Sie berechnet sich als Quotient aus dynamischer Viskosität und Dichte des Öls  $\rho$ .<sup>30</sup>

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

<sup>29</sup> Vgl. Naunheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 435

<sup>30</sup> Vgl. Naunheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 440

Schmieröle werden in Viskositätsgruppen eingeteilt. Sowohl für Kfz - Motorenöle als auch für Kfz - Getriebeöle ist die Einteilung nach SAE - Klassen gebräuchlich.<sup>31</sup>

Ein Vergleich der verschiedenen Systeme der Viskositätsklassifikation ist in folgender Abbildung dargestellt.

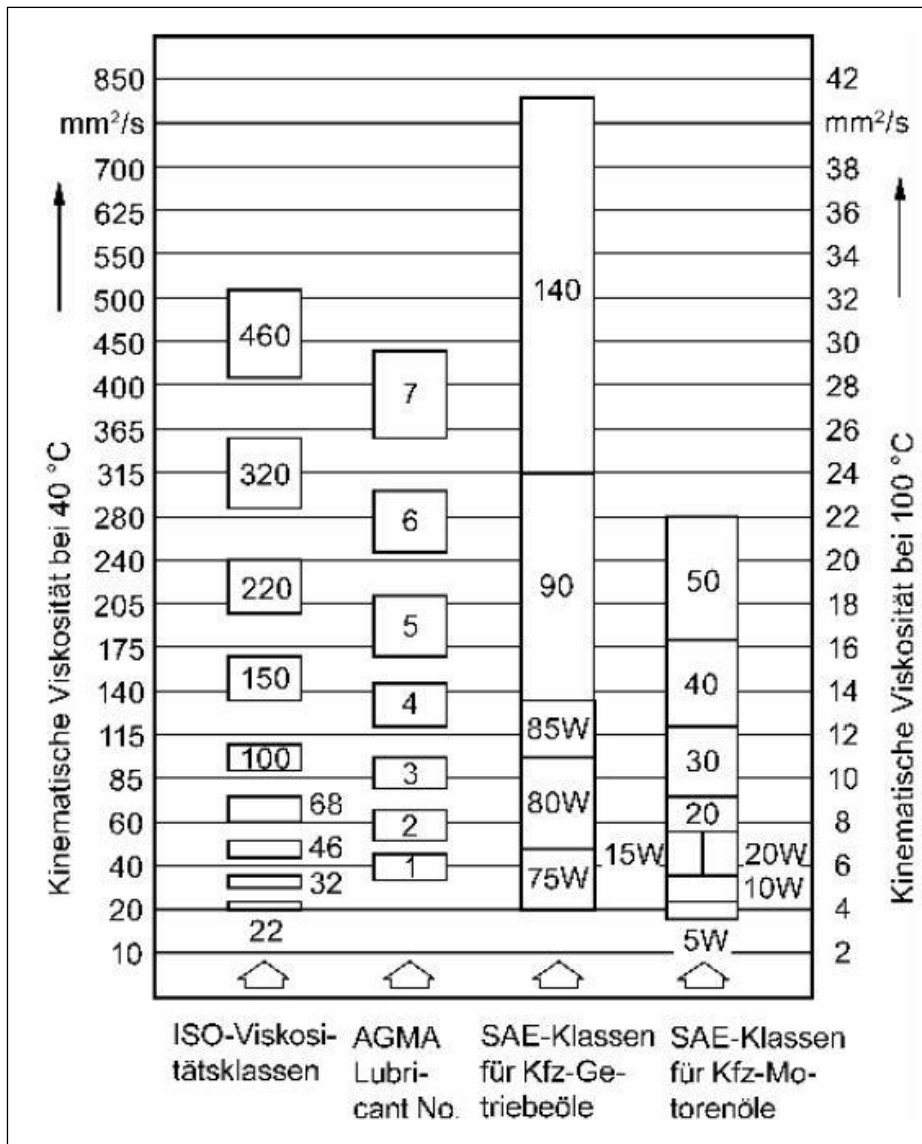


Abbildung 2.16: Vergleich verschiedener Systeme der Viskositätsklassifikation<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Vgl. Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 440

<sup>32</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 440



Schmieröle verringern mit steigender Temperatur exponentiell ihre Viskosität. Der Viskositäts - Temperaturverlauf von Schmierölen auf Mineralölbasis (a) ergibt im doppeltlogarithmischen Ubbelohde - Diagramm eine Gerade.<sup>33</sup>

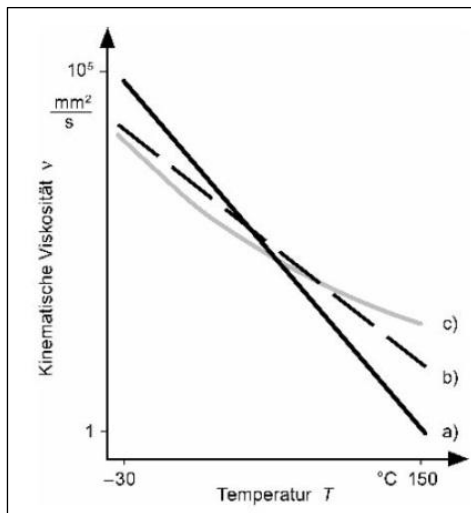


Abbildung 2.17: Ubbelohde - Diagramm: (a) mineralisches Getriebeöl, (b) Getriebeöl auf Poly- $\alpha$ -Oleofinbasis, (c) Getriebeöl auf Polyglykolbasis<sup>34</sup>

Synthetische Schmieröle auf der Basis von Poly- $\alpha$ -Oleofinen (b) ergeben im Ubbelohde - Diagramm ebenfalls Geraden. Die Viskositätskurven von Ölen auf Polyglykolbasis (c) verlaufen hingegen gekrümmt. Der Neigung der Geraden ist ein Maß für die Temperaturabhängigkeit des Schmieröls.<sup>35</sup>

<sup>33</sup> Vgl. Naunheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 441

<sup>34</sup> Naunheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 441

<sup>35</sup> Vgl. Naunheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 442

Die folgende Abbildung zeigt exemplarisch die Viskositätskurve eines Getriebeöls.

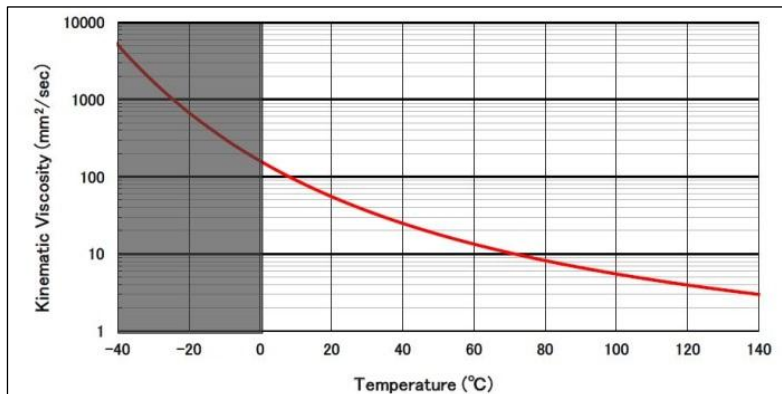


Abbildung 2.18: Viskositätskurve Getriebeöl<sup>36</sup>

Die kinematische Viskosität beträgt bei z.B. 40°C: 24.8 cSt. ( $1 \text{ cSt} = 1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$ )

Weitere interessante Daten<sup>37</sup>: Dichte =  $0.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

Flammpunkt = 178°C

<sup>36</sup> AVL - Projektbeschreibung (2013), S. 1

<sup>37</sup> Vgl. AVL - Projektbeschreibung (2013), S. 2

## Parksperr

Bei abgeschaltetem Motor lassen sich Fahrzeuge mit Handschaltgetriebe zusätzlich bzw. alternativ zur Feststellbremse, durch Einlegen eines Ganges mit hoher Übersetzung, gegen Wegrollen sichern. Bei Fahrzeugen mit Getrieben mit nasser Anfahrkupplung oder hydrodynamischem Drehmomentwandler entfällt diese Möglichkeit, da bei abgestelltem Motor keine Verbindung vom Fahrzeug zum Motor mit dessen Bremskraft besteht.

Um unbeabsichtigtes Wegrollen zu verhindern, sind Getriebe mit vorgenannten Anfahrerelementen daher bei Pkw und leichten Nkw mit einer Parksperr ausgerüstet. Eine Parksperr ist eine mechanische Verriegelung der Getriebeabtriebswelle gegen das Getriebegehäuse.

Gängiges Grundprinzip bei Parksperrn ist die radial eingreifende Sperrklinke. Die konstruktive Umsetzung im Detail variiert.<sup>38</sup>

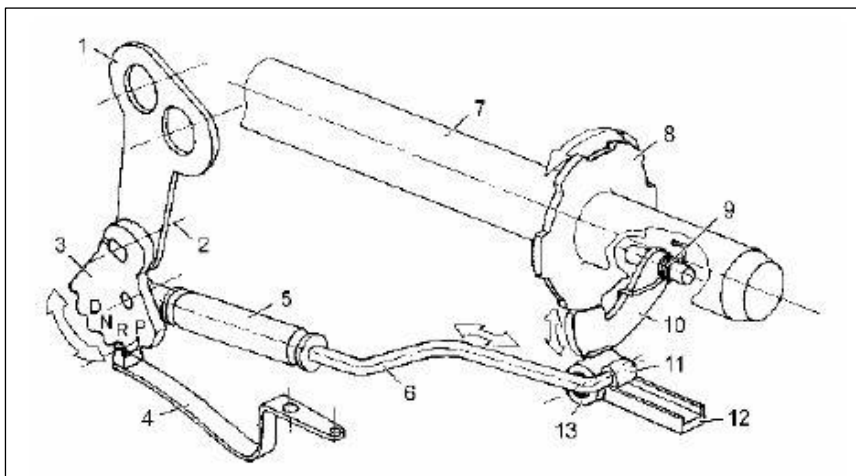


Abbildung 2.19: Parksperr mit radial eingreifender Sperrklinke<sup>39</sup>

1 Schalthebel am Getriebe; 2 Achse Wählwelle; 3 Rastenscheibe (P Parkstellung, R Rückwärtsgangstellung, N Neutralstellung, D Fahrstellung); 4 Rastenfeder; 5 Ausgleichsfeder; 6 Verbindungsstange; 7 Abtriebswelle; 8 Parksperrrenrad; 9 Rückholfeder; 10 Klinke; 11 Sperrrolle; 12 Führung; 13 Rollenlager

<sup>38</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 368

<sup>39</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 368

## 2.2 Schadensarten von Getriebebestandteilen

Angelehnt an die AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Methodik werden folgende Schadensarten von Getriebebestandteilen für diese Diplomarbeit festgelegt.<sup>40</sup>

- High cycle fatigue (HCL) (Ermüdung bei hoher Lastspielzahl)
- Low cycle fatigue (LCF) (Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl)
- Verschleiß
- Thermisches Altern
- Chemisches Altern
- Ablagerung
- Korrosion
- Kavitation

### 2.2.1 Ermüdung

Die Ermüdung bei hoher Lastspielzahl sowie die Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl werden häufig in Wöhlerdiagrammen dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt eine typische Wöhlerlinie mit der Abgrenzung der Bereiche Dauerfestigkeit (HCF), Zeitfestigkeit (LCF) und Kurzzeitfestigkeit.

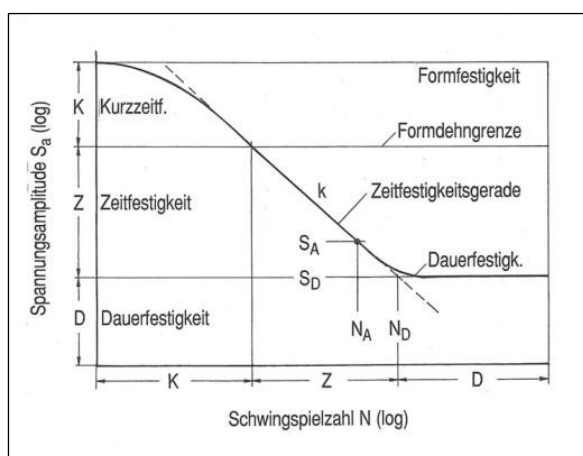


Abbildung 2.20: Kennwerte einer Wöhlerlinie und Abgrenzung der Bereiche der Dauerfestigkeit (D), der Zeitfestigkeit (Z) und der Kurzzeitfestigkeit (K)<sup>41</sup>

<sup>40</sup> Vgl. AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - C\_FP (2013), S. 12ff

<sup>41</sup> Haibach (2006), S. 26

## **High cycle fatigue (HCL) (Ermüdung bei hoher Lastspielzahl)**

Charakteristisch dafür ist eine kraftgesteuert, zyklische Belastung. Gekennzeichnet ist die Ermüdung bei Stahl, bei hoher Lastspielzahl durch die Wöhlerkurve mit einer Ermüdungsgrenzbelastung von  $1 \times 10^7$  Zyklen. Wichtige Einflussfaktoren für die Lebensdauer sind:

- Material
- Geometrie
- Temperatur
- Größe und Richtung der zyklischen Belastung
- Eigenspannung
- Herstellungsverfahren
- Umweltbedingungen<sup>42</sup>

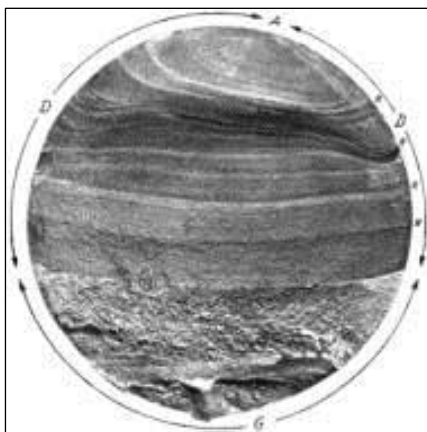


Abbildung 2.21: Typische Ausbildung einer Schwingbruchfläche; A=Anriss, D=Dauerbruch, G=Gewaltbruch<sup>43</sup>

Abbildung 2.21 zeigt die typische Ausbildung einer Schwingbruchfläche. Dabei kommt es zuerst zu einem Anriss (A). Dieser bildet den Startpunkt des Bruches. Als erster Bereich ist eine typische Dauerbruchfläche (D) mit dazwischen liegenden hell erscheinenden Rastlinien zu erkennen. Wenn die Belastung für das Bauteil zu groß wird, bricht es schlussendlich und es ist die deutlich erkennbare Gewaltbruchfläche (G) zu sehen.

<sup>42</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ - C\_FP (2013), S. 13

<sup>43</sup> Haibach (2006), S. 5

## ***Low cycle fatigue (LCF) (Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl)***

Die Ermüdung bei niedriger Lastspielzahl ist dabei charakteristisch eine weggesteuerte, zyklische Belastung mit einer plastischen Verformung. Dies führt zu einer reduzierten Lebensdauer.<sup>44</sup>

---

<sup>44</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ - C\_FP (2013), S. 14

## 2.2.2 Verschleiß<sup>45</sup>

Verschleiß wird in abrasiven Verschleiß, Adhäsionsverschleiß sowie Reibverschleiß eingeteilt.

### **Abrasiver Verschleiß**

Abrasiver Verschleiß liegt vor wenn Material durch Kontakt mit harten Partikeln (z.B.: Karbide,...) entfernt wird. Der abrasive Verschleißmechanismus ist grundsätzlich der gleiche wie beim Polieren oder Läppen.

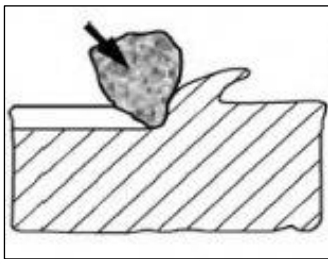


Abbildung 2.22: Verschleißmechanismus Abrasion<sup>46</sup>

### **Adhäsionsverschleiß**

Dieser Verschleiß ist auch als Fressen bekannt. Er tritt auf wenn zwei feste Oberflächen unter Druck übereinander gleiten.

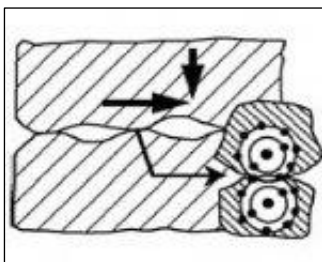


Abbildung 2.23: Verschleißmechanismus Adhäsion<sup>47</sup>

<sup>45</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ - C\_FP (2013), S. 15

<sup>46</sup> Universität Duisburg Essen (2013)

<sup>47</sup> Universität Duisburg Essen (2013)

## Reibverschleiß

Unter Reibverschleiß versteht man Schwingungsbewegungen mit kleiner Amplitude zwischen zwei in Kontakt befindlichen Oberflächen mit Materialverlust.

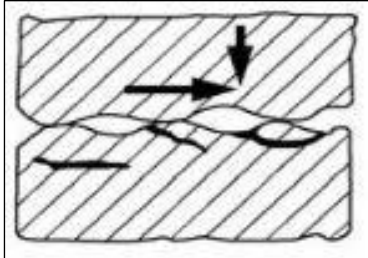


Abbildung 2.24: Verschleißmechanismus Reibverschleiß<sup>48</sup>

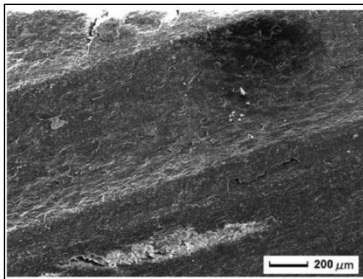


Abbildung 2.25: Reibverschleiß einer Reibfläche unter dem REM<sup>49</sup>

<sup>48</sup> Universität Duisburg Essen (2013)

<sup>49</sup> Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik GmbH (2008)



### 2.2.3 Thermisches Altern / Chemisches Altern

Alterung ist eine Änderung der physikalischen und chemischen Eigenschaften eines Stoffes. Alterungsprozesse werden durch thermischen / chemischen Einfluss (z.B.: UV - Strahlung, Umwelteinflüsse,...) häufig stark beschleunigt.<sup>50</sup>

### 2.2.4 Korrosion

Die Korrosion ist folgendermaßen definiert:

*„Korrosion, physikochemische Wechselwirkung zwischen einem Metall und seiner Umgebung, die zu einer Veränderung der Eigenschaften des Metalls führt und die zu erheblichen Beeinträchtigungen der Funktion des Metalles, der Umgebung oder des technischen Systems, von dem diese einen Teil bilden führen kann.“<sup>51</sup>*

### 2.2.5 Kavitation

Sie tritt auf wenn, der lokale Fluiddruck (Wasser, Öl) unter seinen Dampfdruck fällt. Es kommt zur Erzeugung von Dampfblasen. Es folgt der Zusammenbruch dieser Dampfblasen nach Druckanstieg über den Dampfdruck. Kavitation ist ein sehr dynamischer Vorgang.<sup>52</sup>



Abbildung 2.26: Kavitationsschaden<sup>53</sup>

<sup>50</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - C\_FP (2013), S 16

<sup>51</sup> DIN EN ISO 8044 (1999), S. 3

<sup>52</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - C\_FP (2013), S. 17

<sup>53</sup> Vgl. Wikipedia - Die freie Enzyklopädie (2013)

## 2.3 AVL - Load Matrix <sup>TM</sup>

Die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> wurde in der AVL für Motoren entwickelt und wird in 4 Hauptschritte unterteilt:

- 1) System Analyse
- 2) Applikationen und Zielwerte
- 3) Testprogramm und Belastungsanalyse
- 4) Auswertung und Optimierung<sup>54</sup>



Abbildung 2.27: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Übersicht<sup>55</sup>

<sup>54</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> (2013), S. 7

<sup>55</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> (2013), S. 7

### 2.3.1 System Analyse<sup>56</sup>

Die Systemanalyse ist der erste Schritt im AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Prozess. Das Ziel der Systemanalyse ist die Zusammenstellung der potentiellen Fehler und Priorisierung der validierungsrelevanten Bauteilschadartkombinationen für die weitere Analyse des Validierungsprogramms. Sie gibt eine Übersicht über System, Subsystem und Komponenten der validierungsrelevanten Schadensarten. Ebenso enthält sie die Definition der schädigenden Betriebsbedingungen, welche durch das Validierungsprogramm abgedeckt werden müssen.

Die folgenden Schritte werden im Rahmen der Systemanalyse durchgeführt:

- Definition des Systemumfangs
- Systempriorisierung (Definition des Arbeitsumfangs)
- Ausfallsart-Parameter-Analyse (Definition der Bauteilschadartkombinationen, Analyse der schädigenden Betriebsbedingungen, Möglichkeiten der Schädigungsrechnung, usw.)
- Priorisierung der validierungsrelevanten Bauteilschadartkombinationen
- Erste Analyse der Schadensartverteilung und der relevanten schädigenden Betriebsbedingungen

---

<sup>56</sup> Vgl. AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> (2013), S. 9

### 2.3.2 Applikationen und Zielwerte<sup>57</sup>

Ziel der Reliability Target Allocation (RTA / Zuverlässigkeit - Zieldefinition) ist die Verteilung eines Zuverlässigkeitsziels auf Gesamtsystemebene auf die validierungsrelevanten Subsysteme und Komponenten. Die RTA basiert auf einem risikobasierten Top-Down-Ansatz. Dabei wird das Systemzuverlässigkeitsziel anteilig auf die relevanten Subsysteme und Komponenten unter Berücksichtigung von Innovations-, Produktionsrisiken sowie kommerziellen Risiken verteilt.

Im Gegensatz zu üblichen Qualitätszielen ermöglicht diese Methode eine verschärfte Zieldefinition für jene Subsysteme und Komponenten, welche unbekannt oder besonders kritisch sind. Somit wird sichergestellt, dass im Rahmen der Entwicklung diese Systeme zielgerichtet erprobt werden. Zusätzlich werden Dauerhaltbarkeitsziele (z.B. ein  $B_{10}$ -Lebensdauerziel) auf Systemebene definiert und die relevanten Subsysteme und Komponenten abgeleitet.

Auf der anderen Seite gibt es die Nutzungsraumanalyse die eine Methodik zur systematischen Identifikation des Kundennutzungsraumes auf Basis der relevanten schädigenden Betriebsbedingungen ist. Durch die Bewertung der Intensität der Lastparameter unterschiedlicher Anwendungen können die Anwendungen im Nutzungsraum eingeteilt werden („kritische“ Kunden) und Gruppen von Anwendungen vergleichbarer Nutzung gefunden werden.

Der Nutzungsraum wird dabei durch möglichst wenig unabhängige Lastdimensionen beschrieben. Das Ziel der Analyse ist die Definition eines oder mehrerer Referenzzyklen für die Bewertung des Validierungsprogramms. Basis hierfür sind nicht nur Messdaten sondern auch qualitative Größen wie etwa Start der Produktion (SOP) und das Produktionsvolumen. Zusätzlich kann dies als Input für eine DoE - (Design of Experiments, statistische Versuchsplanung) basierte Planung der Fahrzeugerprobung herangezogen werden.

<sup>57</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ (2013), S. 10f

### 2.3.3 Testprogramm und Belastungsanalyse<sup>58</sup>

Die quantitative Belastungsanalyse (oder Schädigungsrechnung) wird in der Regel für validierungsrelevante Schadensarten durchgeführt. Basierend auf dem chemischen oder physikalischen Hintergrund werden mathematische Modelle abgeleitet, welche das Schädigungsverhalten einer Komponente über der Zeit beschreiben.

Für die Validierungsplanung werden unterschiedliche Arten von Schädigungsmodellen eingesetzt:

- a) Bewertung des Validierungsbeitrages als Erstanalyse ( 0 = Fehler nicht durch Test adressiert, 1 = Test für Fehler relevant) des Validierungsprogramms
- b) Vereinfachte oder generische Modellansätze für einen quantifizierten Relativvergleich von Erprobungen
- c) Komplexe physikalische Modelle für eine Lebensdauerabschätzung

Modellklassen b) und c) werden für die Bestimmung von Raffungsfaktoren verwendet:

$$\text{Raffungsfaktor} = \frac{\text{Schädigung im Test}}{\text{Schädigung im Referenzzyklus}}$$

<sup>58</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> (2013), S. 12

### 2.3.4 Auswertung und Optimierung<sup>59</sup>

Für die AVL - Load Matrix™ - Auswertung werden die Testbeiträge der validierungsrelevanten Schadensarten analysiert und die nachweisbare Zuverlässigkeit berechnet. Als erstes ist es das Ziel, Lücken (oder Risiken) im Absicherungsprogramm zu detektieren. Im Weiteren wird das Potential, die nachweisbare Zuverlässigkeit des Testprogramms, zu ausgewählten Meilensteinen dargestellt.

Auf Basis dieser Auswertung werden technische und statistische Optimierungsschritte definiert. Ziel ist es dabei, ein optimiertes Testprogramm abzuleiten, welches die relevanten Schadensarten in Bezug auf Zuverlässigkeit und Dauerhaltbarkeit mit einem geringen Restrisiko abdeckt.

Die Auswertung des optimierten Testprogramms zeigt die Wirksamkeit der empfohlenen Maßnahmen in Bezug auf Dauerhaltbarkeitsdemonstration und nachweisbarer Zuverlässigkeit.

#### Vorteile der AVL - Load Matrix™

In folgender Abbildung werden die Vorteile der AVL - Load Matrix™ zusammengefasst:

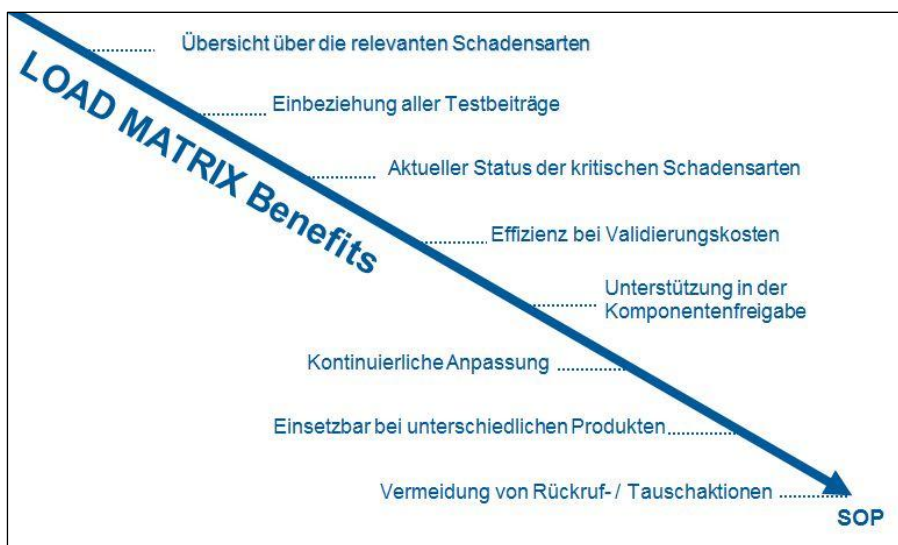


Abbildung 2.28: Vorteile der AVL - Load Matrix™<sup>60</sup>

<sup>59</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ (2013), S. 13

<sup>60</sup> AVL - Load Matrix™ (2013), S. 14

Der Arbeitsablauf AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> wird nun etwas näher betrachtet. Essentiell für ein Gelingen des Projektes ist die Einbindung des Kunden (External source) in den gesamten Prozess (siehe Abbildung):

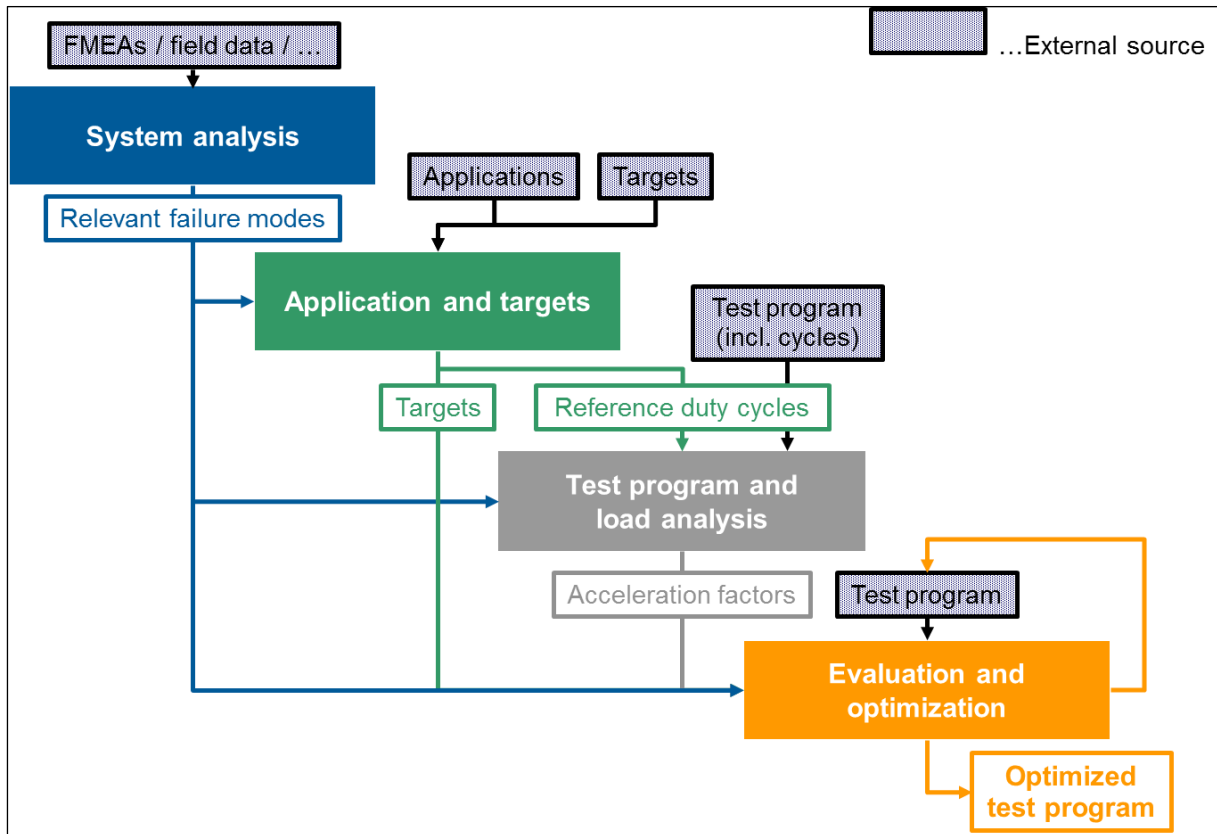


Abbildung 2.29: Arbeitsablauf der AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> <sup>61</sup>

<sup>61</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Process (2013), S. 2

## 2.4 Entwicklungsprozess

Nur ein Produkt, das sich verkaufen lässt, ist erfolgreich! Für ein gesundes Produktprogramm ist eine an strategischen Zielen orientierte Produktplanung erforderlich. Der Entwicklungsablauf beginnt mit der Produktplanung, in die wesentliche Randbedingungen des Produktumfelds einfließen.<sup>62</sup>

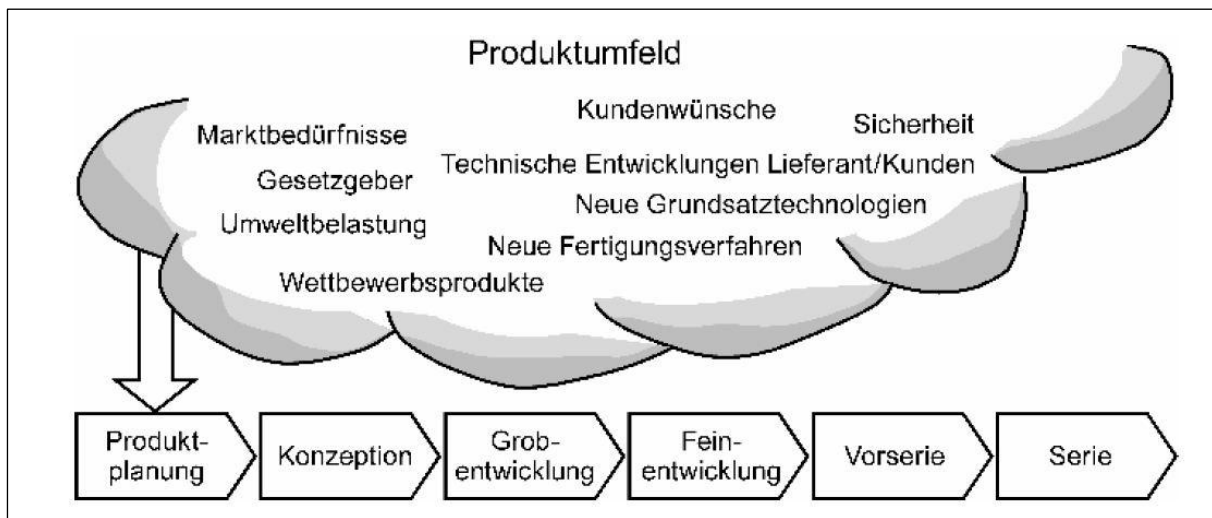


Abbildung 2.30: Produktumfeld und Entwicklungsablauf<sup>63</sup>

<sup>62</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 608

<sup>63</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 608



Die Formulierung der Anforderungsliste (Lastenheft) bildet die Grundlage für die sich anschließende Konzeptphase, in der verschiedene Lösungsvarianten aufgestellt und bewertet werden und die geeignete Lösung ausgewählt wird. Dieses Lösungskonzept wird dann durch Grob- und Feingestaltung für alle Teillösungen realisiert. Die Serienfreigabe für das neue Erzeugnis erfolgt, wenn alle Dokumentationsunterlagen erstellt sind und die Erprobung erfolgreich abgeschlossen wurde.

Am Produktentstehungsprozess eines neuen Getriebes sind alle Funktionen der Wertschöpfungskette beteiligt. Eine geeignete Projektorganisation bindet die interdisziplinären Teilprozesse zusammen.<sup>64</sup>

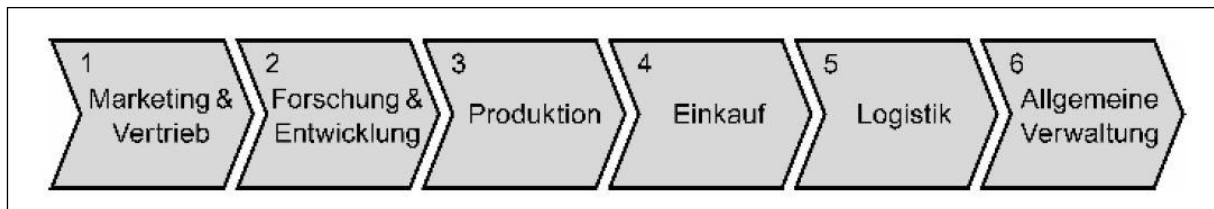


Abbildung 2.31: Wertschöpfungskette<sup>65</sup>

## **Produktlebensphasen**

*„Die Lebensdauer eines Produktes ist begrenzt.“*

Jedes Produkt wird über kurz oder lang von einem neuem Produkt abgelöst. Die Gründe hierfür sind sehr vielschichtig:

- neue technische Entwicklung mit höherem Funktionswert,
- wirtschaftlicher Fertigungsmethoden neuer Erzeugnisse,
- Nachfrageschwankungen des Markts und Modetrends,
- Konsumdenken der Verbraucher,
- gesetzliche und wirtschaftliche Maßnahmen und
- ungenügende oder falsche Marktpolitik.<sup>66</sup>

<sup>64</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 608

<sup>65</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 609

<sup>66</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 609

Jedes Erzeugnis durchlebt während seiner Produktionsdauer verschiedene Lebensphasen, die unterschiedlich ausgeprägt sein können.<sup>67</sup>

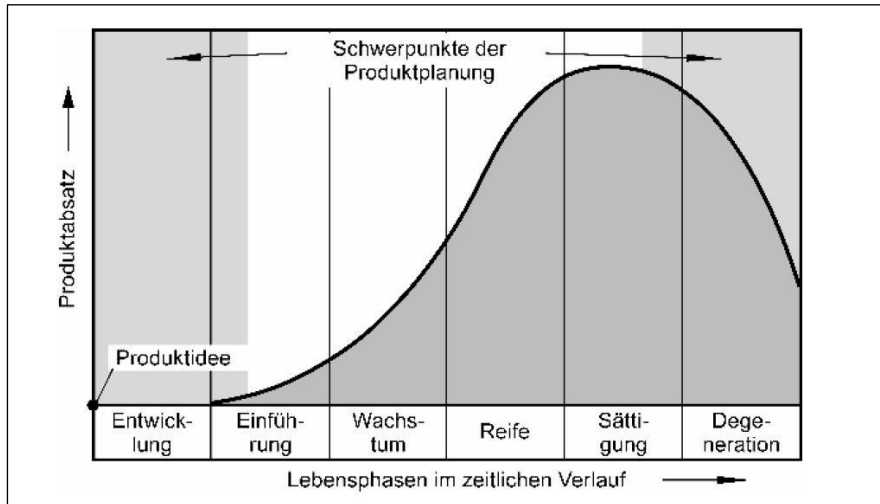


Abbildung 2.32: Lebenszyklus eines Produkts<sup>68</sup>

Die Unternehmen müssen diesen Lebenszyklus überwachen. Das heißt sie müssen wissen, in welcher Lebensphase sich jedes Produkt befindet, um rechtzeitig Maßnahmen für die Entwicklung neuer Erzeugnisse einleiten zu können. Der abnehmende Absatz eines Produktes infolge Erreichens der Produktlebenszeit muss durch rechtzeitige Entwicklung neuer Produkte aufgefangen werden.<sup>69</sup>

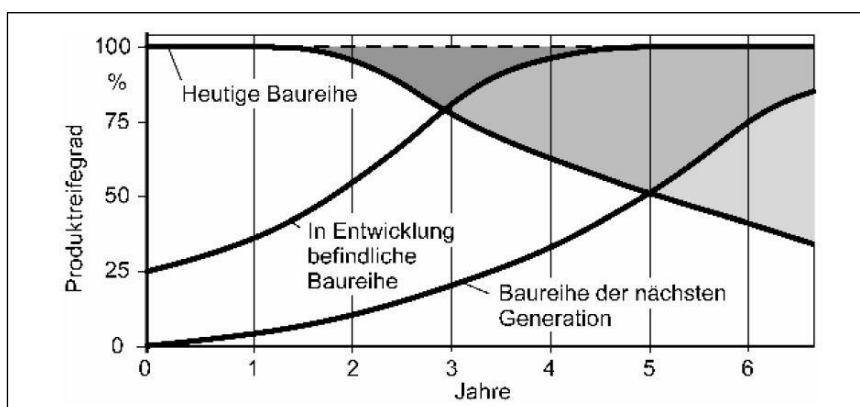


Abbildung 2.33: Vermeiden von Umsatzeinbrüchen durch kontinuierliche Entwicklung neuer Produkte<sup>70</sup>

<sup>67</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 609

<sup>68</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 609

<sup>69</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 609

<sup>70</sup> Nauenheimer/Bertsche/Lechner (2007), S. 610

## Ausfallsverteilung<sup>71</sup>

Die Ausfallsverteilung beschreibt die zeitliche Verteilung mit der Bauteile ausfallen. Sie wird typischerweise in einer Diagrammdarstellung ( $\lambda$ ...Ausfallsrate /  $t$ ...Zeit) einer Badewannenkurve wiedergegeben.

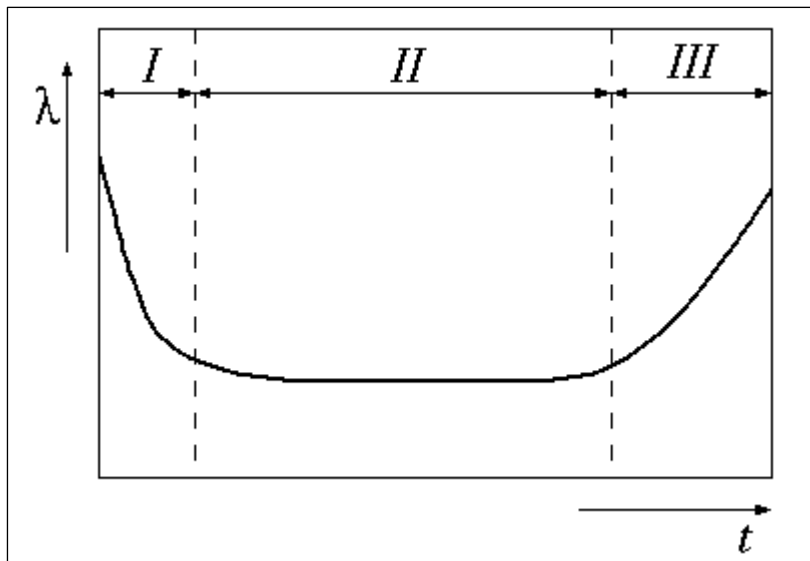


Abbildung 2.34: Badewannenkurve<sup>72</sup>

Die Ausfallsrate ist zu Beginn (I) und am Ende (III) der Lebensdauer besonders hoch, während sie im Zeitraum dazwischen (II) eher konstant und niedrig ist.

Phase I ist bekannt als Frühausfälle, Phase II als Zufallsausfälle und Phase III als Alterserscheinung.

<sup>71</sup> Vgl. Wikipedia - Die freie Enzyklopädie (2013)

<sup>72</sup> Wikipedia - Die freie Enzyklopädie (2013)

## Design- & Validierungsprozess<sup>73</sup>

In der folgenden Abbildung ist ein üblicher Design- & Validierungsprozess beschrieben.

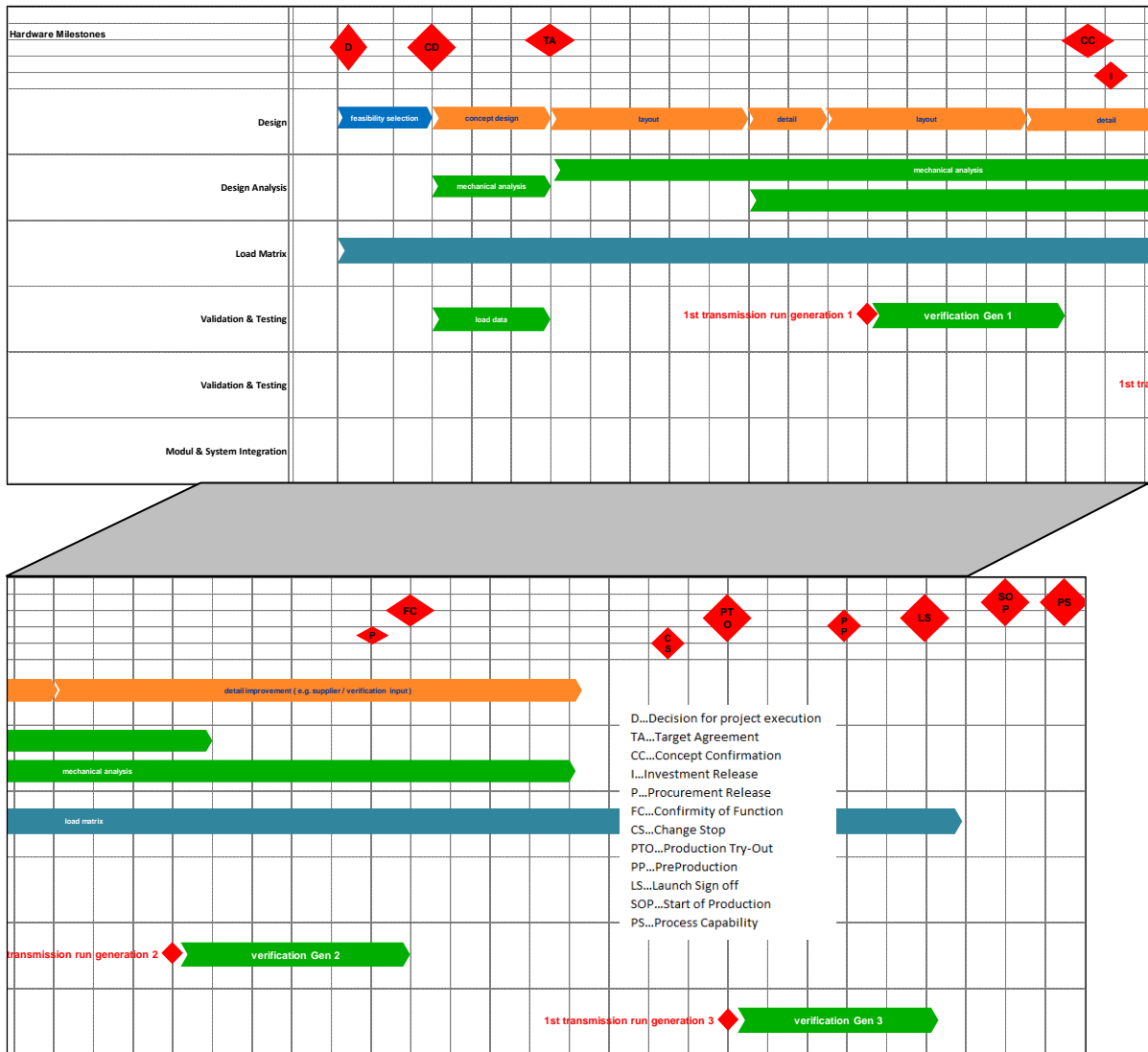


Abbildung 2.35: Design- & Validierungsprozess<sup>74</sup>

<sup>73</sup> Vgl. AVL - Strategy Transmission (2013), S. 20ff

<sup>74</sup> AVL - Strategy Transmission (2013), S. 23

Die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik ist ein Baustein im gesamten Zuverlässigkeitsprozess. Im Gegensatz zur FMEA, wo Funktionsthemen im Vordergrund stehen, ist die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> für Dauerlaufthemen konzipiert.

Die folgende Abbildung zeigt einen typischen Zuverlässigkeitsprozess.

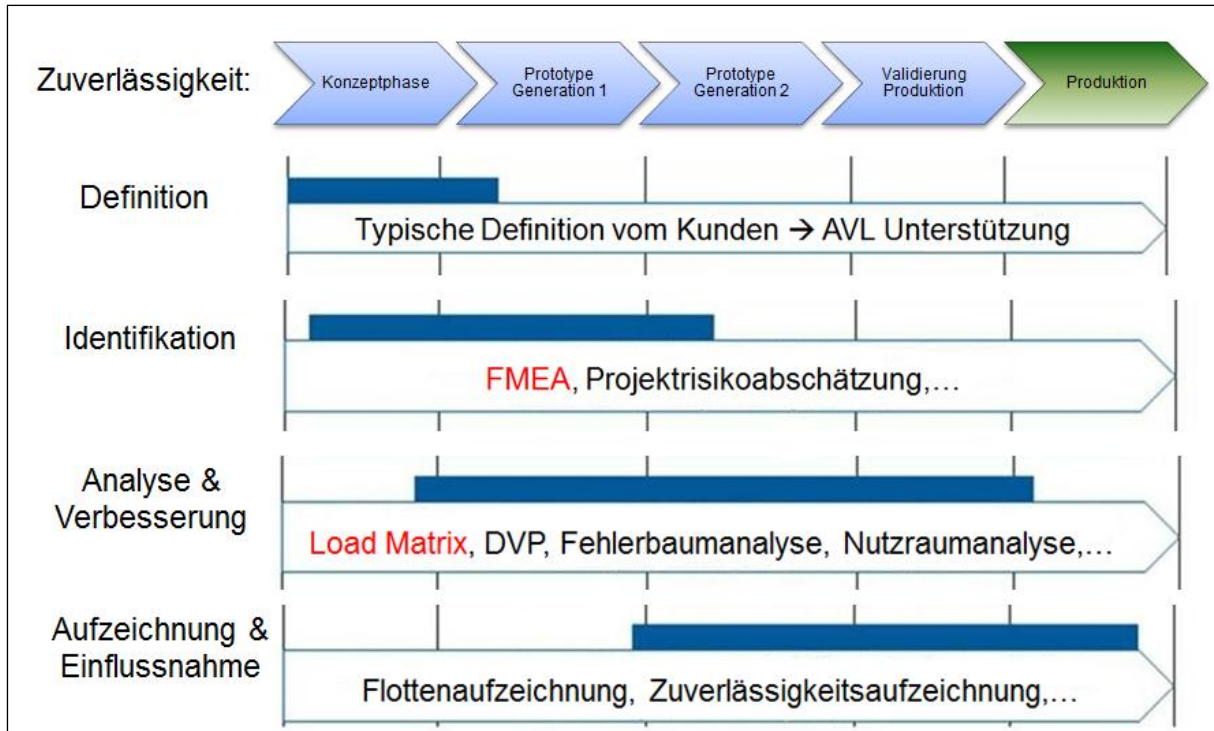


Abbildung 2.36: Zuverlässigkeitsprozess<sup>75</sup>

Ebenso ist ersichtlich, dass die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik das geeignete Tool für die Analyse und Verbesserung von Zuverlässigkeitszielen ist.

<sup>75</sup> AVL - Workshop - Reliability Task Tools Transmission (2013), S. 7

Anschließend werden noch andere mögliche Validierungs- und Zuverlässigkeitsmaßnahmen vorgestellt.

Task	Target	Applicability to Development Phase					Target Category				
		Concept Phase	Prototype Generation 1	Prototype Generation 2	Production Validation	Series Production	Reduction of Failures / Costs	Compliance with Technical Requirements	Compliance with Customer / Cost Targets	Problem Solving	Identification of Root Causes
Reliability Target Allocation	Derive component reliability targets from the system target	●	●	●	●				●		
Project Risk Assessment	Get a quick, clear and unbiased view on general project risks	●	●	●	●	●	●	●	●		
FMEA	Identify potential failure modes that could jeopardize the technical targets of the product	●	●	●	●	●	●	●			●
Functional Safety Management	Functional safety for the developed product (according to different safety standards, focus ISO26262)	●	●	●	●	●	●	●	●		●
Pugh Concept Selection	Choose appropriate concept design based on set targets	●	●	●				●	●		
Load Matrix	Optimize the validation program with respect to the reliability and durability targets		●	●	●	●	●	●	●		
Usage Space Analysis	Characterize typical and extreme customer usage of the product		●	●	●	●			●		
Fault Tree Analysis	Identify potential root causes of an undesired fault event in order to solve a technical problem	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Design Of Experiments	Determine the main factors and quantify their influence on a system response	●	●	●	●	●	●	●			●
Fleet Monitoring	Monitor and assess the overall health of a testing fleet		●	●	●	●	●	●			
Reliability Growth Monitoring	Monitor the reliability growth based on the testing fleet					●	●	●			
Warranty Analysis	Analyse the field data regarding main field problems, their influence factors, trends in the failure rate and provide lifetime estimations					●	●	●	●		●
Statistical Analysis incl. - Weibull analysis - Multivariate data analysis - Fatigue limit modeling	Detect development-relevant relations in the data and provide objective models	●	●	●	●	●	●	●			●

Abbildung 2.37: Validierungs- und Zuverlässigkeitsmaßnahmen<sup>76</sup>

Dabei sind die möglichen Einsatzbereiche in den unterschiedlichen Entwicklungsphasen sowie die Zielkategorien ersichtlich.

<sup>76</sup> AVL - Workshop - Reliability Task Tools Transmission (2013), S. 53

### 3 Systemanalyse

In diesem Kapitel wird die Systemanalyse, der 1. Schritt in der AVL - Load Matrix™ - Methodik, behandelt. Neben der Definition des Systemumfangs wird die Systempriorisierung, sowie die Erstellung, Befüllung und Analyse des AP - Blattes durchgeführt.



Abbildung 3.1: Systemanalyse<sup>77</sup>

#### 3.1 Grunddefinition

In der Systemanalyse werden die validierungsrelevanten Kombinationen aus Komponente und spezifischen Schadensbildern (Bauteilschadartkombination) erarbeitet.

Hierzu erfolgt die Definition des gesamten Systemumfangs und der Systemschnittstellen. Auf Basis einer risikobasierten Analyse wird der relevante Betrachtungsumfang für die Systemanalyse abgeleitet.

Im Anschluss werden, auf Basis von vorhandenen FMEAs, Risikoanalysen und Felderfahrung, die betrachteten Systeme und Komponenten in Zusammenarbeit mit den Fachexperten und Lieferanten analysiert.

<sup>77</sup> AVL - Load Matrix™ - System Analyse (2013), S. 18

Ziel ist es, jene Bauteilschadartkombination im Ausfallsart - Parameter - Blatt (AP - Blatt) zu selektieren, welche aus Expertensicht vom Validierungsprogramm abgedeckt werden müssen.<sup>78</sup>

So werden zum Beispiel auch Schadensarten mit geringer Auftretenswahrscheinlichkeit aufgenommen, wenn die entsprechenden Schadensfolgen bedeutend sind (z.B. sicherheitskritische Defekte). Die diskutierten Bauteilschadartkombination werden im sogenannten AP - Blatt (Ausfallsart - Parameter - Blatt) inklusive Informationen zu Schädigungszusammenhängen und der Raffungsfaktorenbestimmung zusammengeführt.

Das AP - Blatt basiert auf der FMEA - Methodik, führt aber wesentlich weiter. Es enthält neben den FMEA - Elementen, Funktion, Ausfallsart, Fehlerursache und Fehlerfolge, die Spalten zur Priorisierung der Fehlermodi, Beschreibung der schädigenden Betriebsbedingungen und weiter verschärfender Einflussgrößen, Informationen zu relevanten Messgrößen, Klassifizierverfahren und Schädigungsmodellen sowie Befundmaßnahmen und weitere relevante Aufgaben.<sup>79</sup>

Folgende Vorgehensweise wird angewendet:<sup>80</sup>

Schritt 1: Definition des Systemumfangs

Schritt 2: Durchführung der Systempriorisierung

Schritt 3: Befüllung des AP - Blattes

Schritt 4: AP - Blatt Analyse

---

<sup>78</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - System Analyse (2013), S. 19

<sup>79</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - System Analyse (2013), S. 19

<sup>80</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - System Analyse (2013), S. 20



### 3.1.1 Definition des Systemumfangs

Ziel hierbei ist es eine eindeutige Definition des System- und Betrachtungsumfanges des betrachteten Systems zu finden.

Dazu betrachtet man zuerst das System „Automatikgetriebe“ als Gesamtsystem.

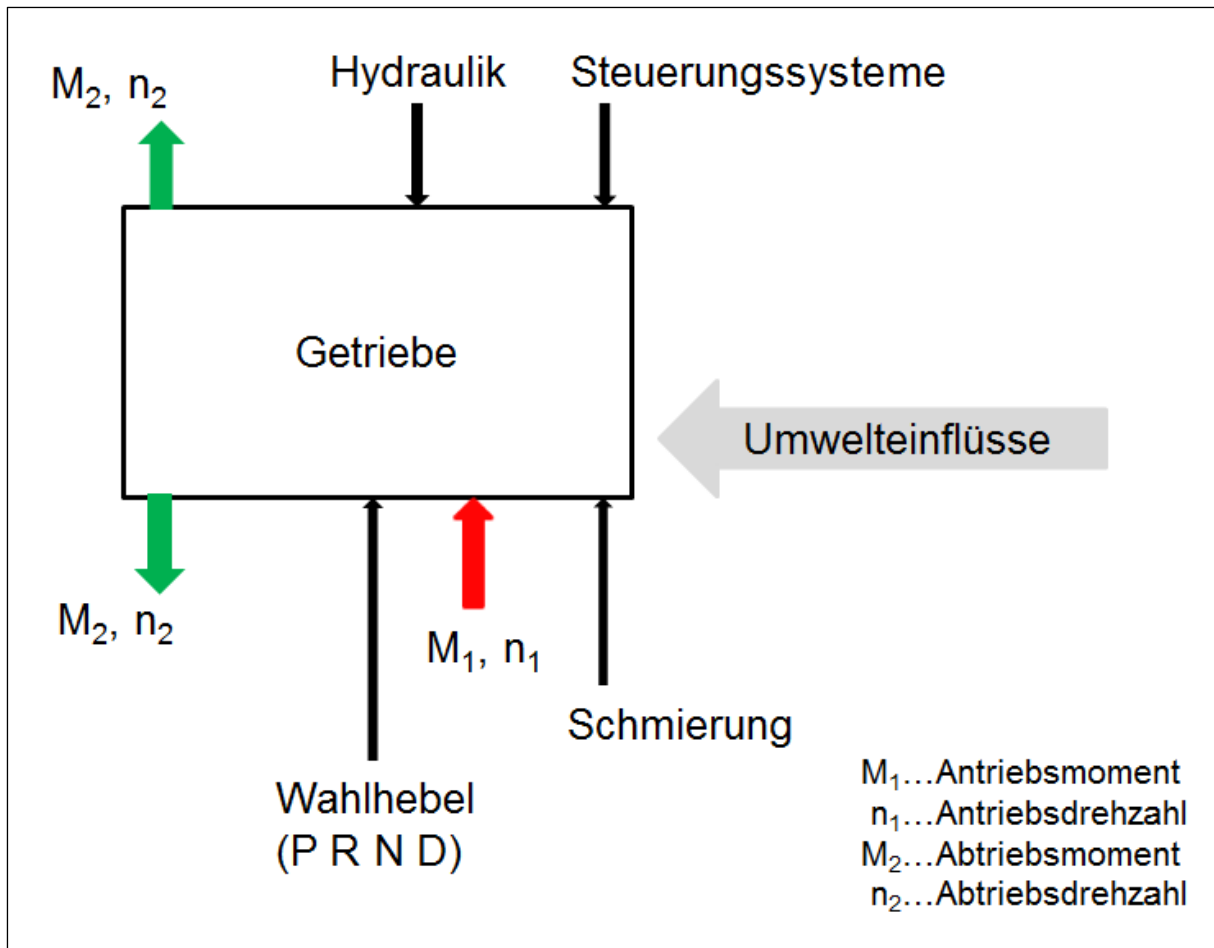


Abbildung 3.2: Automatikgetriebe Systembetrachtung

Nun wird das System in einer Funktions- (Abbildung 3.3) sowie Montagestruktur (Abbildung 3.4) dargestellt, um einen genaueren Überblick verschiedener Betrachtungsweisen über das zu untersuchende System zu erhalten.

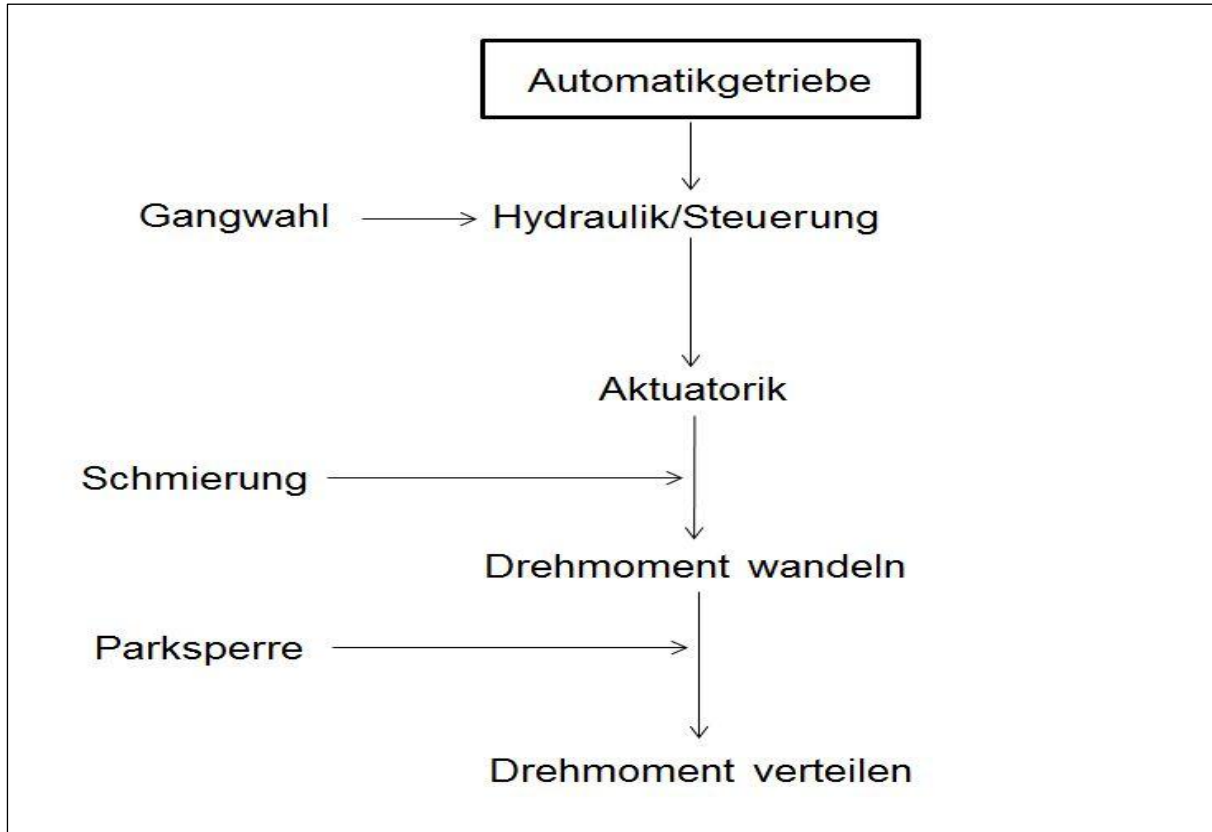


Abbildung 3.3: Funktionsstruktur

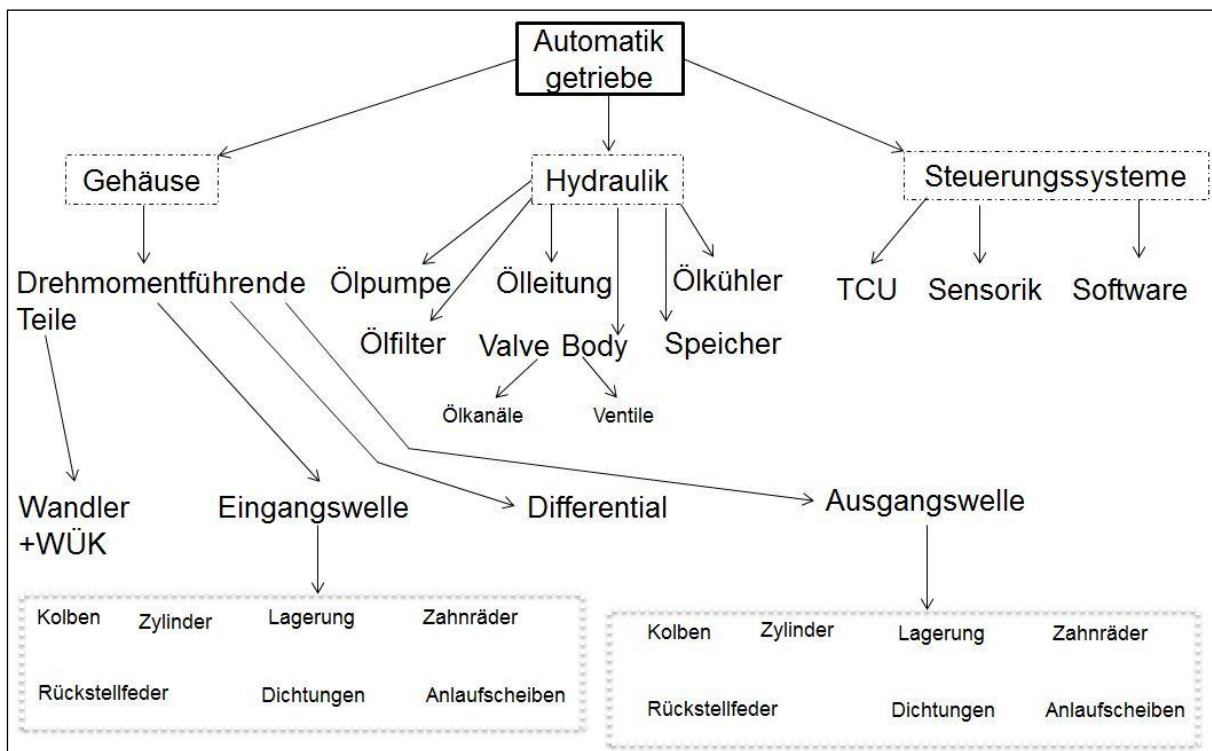


Abbildung 3.4: Montagestruktur (Grobstruktur)

Die zuvor betrachteten Strukturen (Funktions- bzw. Montagestruktur) ergeben für sich betrachtet jeweils eine gute Übersicht. Da jedoch manche betrachtete Aspekte nicht in beiden Strukturen dargestellt sind, wird für den Systemumfang der AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> eine Kombination aus beiden Strukturen gewählt.

Grundsätzlich wird das System in Subsysteme unterteilt. Diese Subsysteme wiederum werden in Hauptbaugruppen und Hauptkomponenten aufgeteilt und sieht folgendermaßen aus:

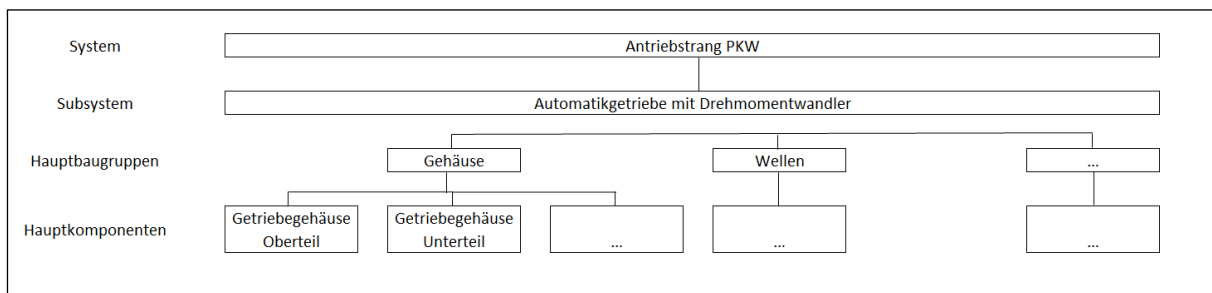


Abbildung 3.5: Systemumfang (Auszug)

Auf der nächsten Seite ist das gesamte System dargestellt.

Antriebsstrang Pkw													
Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler													
System	Subsystem	Hauptbaugruppen	Gehäuse	Wellen	Laufverzahnung	Planetensatz	Anfahrelement	Lagerung	Aktuatorik (Brems-/Kupplung)	Steuerungssysteme	Parkmechanismus	Schmiersystem	Hydraulik
			Getriebegehäuse Oberenteil	Antriebswelle	Stirnräder	Sonne	Drehmomentwandler	Radialwälzlager	Reibbeläge	Software	Klinkenrad	Öl	Ventilblock
			Getriebegehäuse Unterteil	Abtriebswelle	Differential/Kegelräder	Hohlrad	Wandlerüberbrückungs-kupplung	Axialwälzlager	Stahlbleiben	Sensor	Klitke	Ölkühler	E-Pumpe/Spöcher
			Gehäuse Hydrauliksteuerung	Zwischenwelle		Planeten		Radialgleitlager	Lamellenträger	TCU	Federn	Ölleitungen	
			Entlüftung			Planetenträger		Axialgleitlager	Kolben	Interner Kabelstrang		Ölpumpe	
						Planetenbolzen		Anlaufscheiben	Teller/Spirallebern			Saug-/Druckfilter	
									Bandbremse			Wellendichtung	
									Fliehkraftkompensation				

Abbildung 3.6: Systemumfang mit AVL - Load Matrix™ - Methodik

### 3.1.2 Durchführung der Systempriorisierung

Auf Basis einer risikobasierten Analyse wird nun der relevante Betrachtungsumfang für die Systemanalyse, unter Einbeziehung von Fachexperten, Lieferanten und unter Mitwirkung des Kunden, abgeleitet.

Dabei werden jeweils die Risiken durch Design, Applikation & Belastung, sowie wirtschaftliche Risiken einzeln bewertet.<sup>81</sup>

Wie in Abbildung 3.7 ersichtlich werden pro Risiko (Design, Applikation & Belastung, Wirtschaftliche) maximal 3 Punkte vergeben. In Summe kann pro Hauptbaugruppe maximal ein Gesamtrisiko von 27 erreicht werden.

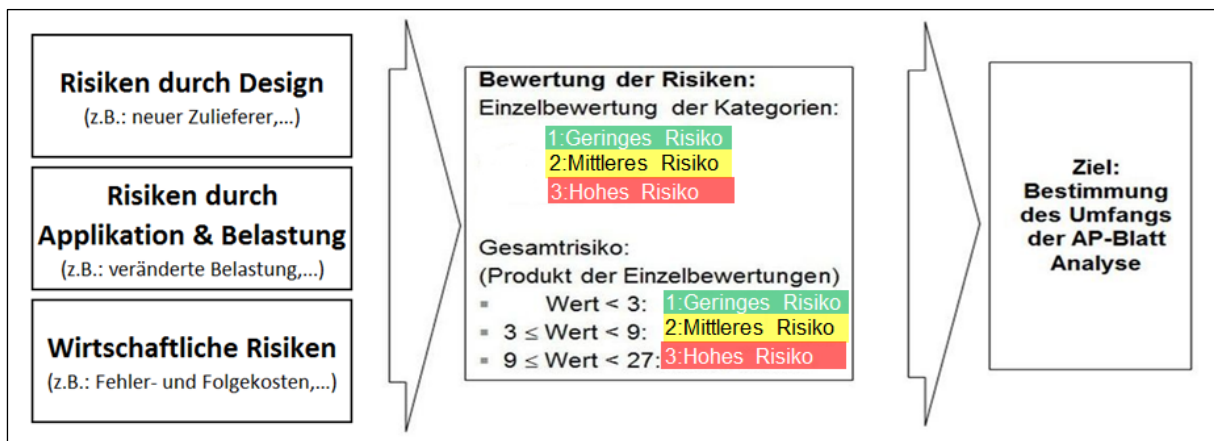


Abbildung 3.7: Systempriorisierung - Vorgehensweise<sup>82</sup>

<sup>81</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ - System Analyse (2013), S. 19

<sup>82</sup> AVL - Load Matrix™ - System Analyse - AP - Blatt (2013), S. 2

Die eben erläuterte Vorgehensweise wird nun auf das zu untersuchende System - Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler und Überbrückungskupplung angewandt.

System	System Priorisierung für Auswahl der Systeme für detaillierte Schadensartanalyse						
	Risiken durch Design		Risiken durch Applikation & Belastung		Wirtschaftliche Risiken		
	Wert	Begründung	Wert	Begründung	Wert	Begründung	
<b>Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler</b>							
Gehäuse	4	keine Innovation (bekanntes Design, state of the art), bekannter Hersteller (bekannter Werkstoff)	1	Allgemein geringe Belastungen durch Planetensätze (höchstbelastete Punkte: Lagerstelle Finaldrive, Differential), keine Probleme mit ähnlichen Systemen bekannt	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), Folgeschäden an den meisten Komponenten durch Ölaustritt (Umwelt)	3
Wellen	2	bekanntes Grunddesign, bekannter Werkstoff und Hersteller, Ölzufuhrbohrungen (neue Technologie)	3	höchste Belastungen, Drehmoment und Drehzahl	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), Folgeschäden an Gehäuse, Verzahnung, ...	18
Laufverzahnung	2	bekanntes Design, state of the art, Schmierproblematik	3	höchste Belastungen, Drehmoment und Drehzahl, Verschleiß	2	Mittleres wirtschaftliches Risiko, Austausch von Komponenten möglich	12
Planetensatz	4	bekanntes Design, state of the art, Schmierproblematik, ausgereiztes Design	1	wechselnde Belastung (Gangwahl), Verschleiß	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), Folgeschäden an Gehäuse, Verzahnung, Hydraulik, ...	27
Anfahrlement	2	bekanntes Design, state of the art, Zukaufteil, seltener Fehler (Drehzahl, Druck, ... Überdruck)	1	bekannte Belastungssituation (Zukaufteil)	1	Niedriges wirtschaftliches Risiko, Leistungsverlust → Reparatur/Austausch	2
Lagerung	3	bekanntes Design, state of the art, Variantenvielfalt (Gleit- bzw. Wälzlager)	2	bekannte Anwendung (nähere Betrachtung von Gleitlagerung erforderlich)	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), Folgeschäden an Gehäuse, Verzahnung, ...	18
Aktuatorik (Bremsel Kupplung)	4	bekanntes Design, state of the art, Schmierproblematik, ausgereiztes Design	1	höchste Belastungen, Drehmoment und Drehzahl, Verschleiß	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), Folgeschäden an Verzahnung, ...	27
Steuerungs-systeme	3	keine Innovation (bekanntes Design, state of the art), bekannter Hersteller	1	neue Kalibrierung	1	Niedriges wirtschaftliches Risiko, Leistungsverlust → Reparatur/Austausch/Update	3
Parkmechanismus	2	bekanntes Grunddesign, bekannter Werkstoff, enge Toleranzsituation zwischen Klinke und Klinkenrad	1	höchste Belastungen, Verschleiß (Toleranz) und Flächenpressung (Gewaltbruch)	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), meist Getriebegehäusebruch	18
Schmiersystem	3	Design numerisch nur sehr schwer überprüfbar, Funktion nur empirisch ermittelbar, neue Schnittstellen (Ölaustritte)	1	bekanntes System, geringe Belastung, Abhängigkeit von Hydraulik	1	Hohes wirtschaftliches Risiko (bei Schaden Gesamtgetriebeaustausch), Folgeschäden an den meisten Komponenten durch Mangelschmierung bzw. keine Schmierung	18
Hydraulik	3	ausgereiztes Design, enge Toleranzen (sensibles System)	2	bekannte Belastungssituation, Initialverschmutzung	2	Mittleres wirtschaftliches Risiko, Austausch von Komponenten möglich, Imp home Funktion	12

**Legende:**

- Vollständige Systemanalyse
- Systemanalyse für ausgewählte Komponenten
- keine Betrachtung

Abbildung 3.8: Systempriorisierung Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler

Wie in Abbildung 3.8 dargestellt werden verschiedene Hauptbaugruppen durch die Priorisierung analysiert bzw. bewertet. Im Normalfall werden nur Prioritätsthemen der Stufe „hohes Risiko“ (rot) in das AP - Blatt aufgenommen.

Da es sich hierbei jedoch um eine Erstellung einer Load Matrix <sup>TM</sup> bzw. ein Basistestprogramm für ein Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler handelt wird das Gesamtsystem betrachtet.

### 3.1.3 Befüllung des AP - Blattes

In diesem Abschnitt wird die Erstellung und Befüllung des AP - Blattes, sowie die Priorisierung validierungsrelevanter Bauteilschadartkombinationen durchgeführt.

Die folgende Abbildung enthält die Grundstruktur des AP-Blattes für das System Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler.

Hauptkomponentengruppe	AP-Blatt						Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
	Betrachtetes Subsystem / Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität						
<b>Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler</b>												
1	Gehäuse											
1	Getriebegehäuse (Dienell)											
1	Getriebegehäuse (Innenell)											
1	Getriebegehäuse (Hydrauliksteuerung)											
1	Engführung											
2	Wellen											
2	Axialschleife											
2	Abtriebswelle											
2	Zwischenwelle											
3	Laufverzahnung											
3	Simsräder											
3	Differentialkäfige											
4	Planetensatz											
4	Sonne											
4	Hohlrad											
4	Planeten											
4	Planetenträger											
4	Planetentoben											
4	Planetentoben											
5	Antriebsmoment											
5	Drehmomentwandler											
5	Wandlerüberbrückungs-Kupplung											
6	Lagerung											
6	Radialrolllager											
6	Axialrolllager											
6	Radialrolllager											
6	Axialrolllager											
6	Axialrolllager											
7	Axialrolllager											
7	Axialrolllager (Blenzsel Kupplung)											
7	Hebelbälge											
7	Stapellamellen											
7	Lamellenträger											
7	Kolben											
7	Teller-Sozialfedern											
7	Bandschneise											
7	Fliehkraftkompensation											
8	Steuerungssysteme											
8	Software											
8	Sensor											
8	TUU											
8	interner Kabelstrang											
9	Paarmechanismus											
9	Klinkenrad											
9	Klinken											
9	Federn											
10	Schmieröl											
10	Öl											
10	Ölkühler											
10	Ölleitungen											
10	Ölpumpe											
10	Saug-Druckfilter											
10	Wellendichtung											
11	Hydraulik											
11	Verstärker											
11	E-Pumpenspeicher											

Abbildung 3.9: Grundstruktur AP - Blatt

Die Beschreibung der einzelnen Spalten des AP-Blattes erfolgt in Tabelle 3.1:

Spaltenname	Beschreibung / Erklärung
Betrachtetes Subsystem / Komponente	Welche Komponente wird betrachtet.
Ausfallsart auf Komponentenebene	Physikalischer Grund des Ausfalles. (siehe Auswahl Kapitel 2.2 Theorie)
Schadensort an Komponente	Genaue Beschreibung des Bauteils / Komponente, der durch den Ausfall betroffen ist.
Schadensursache für Ausfallsart	Der Hauptgrund warum der Fehler auftritt.
Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Die Folge dieses Fehlermodus auf System- und Fahrzeugebene.
Kritikalität	Bewertung des Fehlermodus in Bezug auf die Auswirkung. Bewertungsstufen: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sicherheitsrelevant</li> <li>2. Liegenbleiber / Ausfall</li> <li>3. Notbetrieb</li> <li>4. Geringfügige Fehlfunktion</li> </ol>



<p>Priorität</p>	<p>Bewertung der betrachteten Bauteilschadartkombination in Bezug auf Relevanz für das Validierungsprogramm.</p> <p>Bewertungsstufen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bauteilschadartkombination ist relevant für Validierungsplanung.</li> <li>2. Die Entscheidung der Relevanz der Bauteilschadartkombination steht noch aus.</li> <li>3. Die Bauteilschadartkombination ist nicht relevant für das Validierungsprogramm oder die Bauteilschadartkombination ist bereits durch eine andere Priorität<sup>1</sup> Bauteilschadartkombination abgedeckt.</li> <li>4. Bauteilschadartkombination ist durch Funktionsentwicklungsprogramm abgedeckt.</li> </ol>
<p>Erklärung der Priorität</p>	<p>Kurze Beschreibung der Motivation der Priorisierung.</p>
<p>Schädigende Betriebsbedingungen</p>	<p>Bestimmung der Betriebsbedingungen die ein Auftreten der betrachteten Bauteilschadartkombination maßgeblich beeinflussen.</p>
<p>Randbedingungen</p>	<p>Betrachtung von zusätzlichen Parametern welche das Auftreten der betrachteten Bauteilschadartkombination beeinflussen.</p>

Tabelle 3.1: Erklärung der Spalten des AP-Blattes<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ - System Analyse - AP - Blatt (2013), S. 3

In den nächsten Unterkapiteln wird das AP - Blatt mit Daten aufgrund mehrerer Diskussionsrunden mit Experten befüllt.

### 3.1.3.1 Wellen

In diesem Kapitel wird anhand des Beispiels der Antriebswelle die Befüllung des AP-Blattes gezeigt.

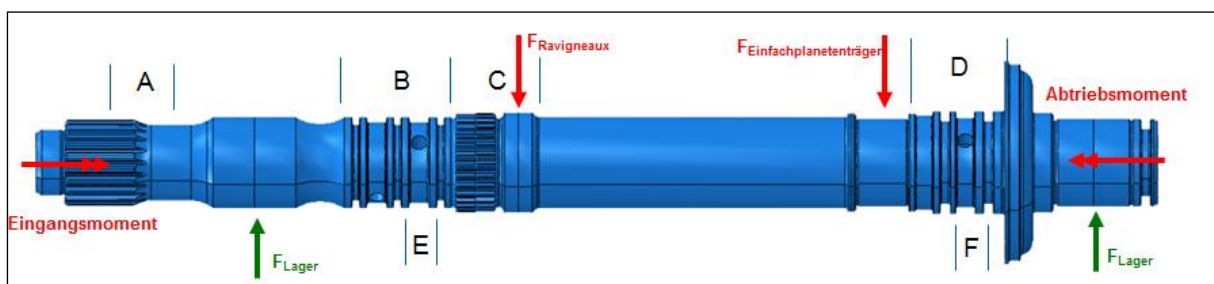


Abbildung 3.10: Antriebswelle

In Abbildung 3.10 sind die wirkenden Belastungen auf die Antriebswelle dargestellt. Neben einem Eingangs- bzw. Abtriebsmoment wirken noch Kräfte aus dem Ravigneaux - Satz sowie des Einfachplanetenträgers auf die Welle. Die Lagerkräfte dürfen bei dieser Betrachtung ebenfalls nicht vergessen werden.

Folgend werden verschiedene Spalten des AP - Blattes mittels der kompletten Antriebswelle ausgefüllt.

Als **Ausfallsart auf Komponentenebene** wird unter anderem die Dauerhaltbarkeit (HCF) festgestellt. Hierbei wird versucht eine Beschreibung der Ausfallsart bzw. des Fehlers der zu betrachteten Komponente auf physikalischer Basis darzustellen.

Bei dem Punkt **Schadensort an Komponente** wird eine detaillierte Beschreibung des zu erwartenden Ort des Schadens am Bauteil beschrieben. Im gewählten Beispiel sind dies die Kerbbereiche A, B, C, D, sowie die Wellenabsätze.

Die oben beschriebene **Schadensursache für Ausfallsart** ist eine mechanische Belastung bzw. eine mögliche Schwingung des Antriebsstranges. Hierbei wird die Hauptursache für das Auftreten des beschriebenen Fehlers erläutert.

Die **Schadensfolge auf Fahrzeugebene** beschreibt die Auswirkung auf Systemebene. In unserem Fall bedeutet dies einen Getriebeschaden.

**Kritikalität 2** (Liegenbleiber / Ausfall) bewertet den Fehlermode in Bezug auf die Auswirkung.

Die Bewertung der betrachteten Bauteilschadartkombination in Bezug auf Relevanz für das Validierungsprogramm wird im Punkt **Priorität** durchgeführt. Hier eindeutig Priorität 1.

Eine **Erklärung der Priorität** sollte kurz und prägnant durchgeführt werden: Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung.

Die **Schädigenden Betriebsbedingungen** beschreiben die Betriebsbedingungen welche ein Auftreten der Bauteilschadartkombination maßgeblich beeinflusst. Wechsellastbetrieb (Zusammengesetzt aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)

Die **Randbedingungen** beschreiben zusätzliche Parameter, welche das Auftreten der betrachteten Bauteilschadartkombination beeinflussen. Die Antriebswelle wird durch Komponentenresonanz sowie Geometrie maßgeblich beeinflusst.

Die Hauptbaugruppe Wellen setzt sich aus den Hauptkomponenten Antriebswelle, Abtriebswelle und Zwischenwelle zusammen. Diese Komponenten werden in der nachfolgenden Tabelle betrachtet.

Hauptkomponente	AP-Blatt					Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
	Betrachtetes Subsystem / Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Dauerhaltbarkeit (LCF)							
2	Wellen											
2	1	Antriebswelle										
2	1	1	Antriebswelle	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Kerbbereich A, B, C, D Wellenabsatz	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb)	Komponentenresonanz, Geometrie
2	1	2	Antriebswelle	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Kerbbereich E, F Bohrung	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb)	Komponentenresonanz, Geometrie
2	1	3	Antriebswelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Welle	mechanische Belastung (plastische Verformung)	NVH auffällig	4	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselaarbetrieb (hohe Lastspitzenpos. und neg. Bereich) und geringe Periodendauer	Geometrie
2	1	4	Antriebswelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Kerbbereich A, B, C, D Wellenabsatz	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	4	Misbrauchsthema	Knalllast, Volllastschleunigung	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
2	1	5	Antriebswelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Kerbbereich E, F Bohrung	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	4	Misbrauchsthema	Knalllast, Volllastschleunigung	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
2	1	6	Antriebswelle	Verschleiß	Welle (Anlaufstellen, Gleitlager, Spine)	mechanische Belastung	NVH auffällig -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Ölqualität)
2	1	7	Antriebswelle	Verschleiß	Welle (Anlaufstellen, Gleitlager, Spine)	thermische Belastung (interne Wärmeentwicklung)	NVH auffällig	4	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Vollastbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb, Vmax	Hot spots, Umgebungstemperatur
2	2	Abtriebswelle										
2	2	1	Abtriebswelle	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Kerbstelle (geometrisch gefährdete Stellen)	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb)	Komponentenresonanz, Geometrie
2	2	2	Abtriebswelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Welle	mechanische Belastung (plastische Verformung)	NVH auffällig	4	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Wechselaarbetrieb (hohe Lastspitzenpos. und neg. Bereich) und geringe Periodendauer	Geometrie
2	2	3	Abtriebswelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Kerbstelle (geometrisch gefährdete Stellen)	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	4	Misbrauchsthema	Knalllast, Volllastschleunigung	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
2	2	4	Abtriebswelle	Verschleiß	Welle (Anlaufstellen, Gleitlager, Spine)	mechanische Belastung	NVH auffällig -> Getriebeschaden	2	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Ölqualität)
2	2	5	Abtriebswelle	Verschleiß	Welle (Anlaufstellen, Gleitlager, Spine)	thermische Belastung (interne Wärmeentwicklung)	NVH auffällig	4	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Vollastbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb, Vmax	Hot spots, Umgebungstemperatur
2	3	Zwischenwelle										
2	3	1	Zwischenwelle	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Kerbstelle (geometrisch gefährdete Stellen)	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb)	Komponentenresonanz, Geometrie
2	3	2	Zwischenwelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Welle	mechanische Belastung (plastische Verformung)	NVH auffällig	4	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Wechselaarbetrieb (hohe Lastspitzenpos. und neg. Bereich) und geringe Periodendauer	Geometrie
2	3	3	Zwischenwelle	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Kerbstelle (geometrisch gefährdete Stellen)	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Getriebeschaden	2	4	Misbrauchsthema	Knalllast, Volllastschleunigung	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
2	3	4	Zwischenwelle	Verschleiß	Welle (Anlaufstellen, Gleitlager, Spine)	mechanische Belastung	NVH auffällig -> Getriebeschaden	2	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Wechselaarbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppebetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Ölqualität)
2	3	5	Zwischenwelle	Verschleiß	Welle (Anlaufstellen, Gleitlager, Spine)	thermische Belastung (interne Wärmeentwicklung)	NVH auffällig	4	3	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadenart abgedeckt (Antriebswelle)	Vollastbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb, Vmax	Hot spots, Umgebungstemperatur

Tabelle 3.2: AP-Blatt-Wellen

### 3.1.3.2 Gehäuse

Es besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Getriebegehäuse Oberteil, Getriebegehäuse Unterteil, Gehäuse Hydrauliksteuerung, Entlüftung

Hauptkomponente		AP-Blatt					Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
1	2	Betrachtetes Subsystem/ Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene					
1	1	Gehäuse									
1	1	Getriebegehäuse Oberteil	Dauerhaltbarkeit (HCF)	kritische Stellen(Differential)	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Riss im Gehäuse → Ölaustritt → Getriebeschaden	4	3	Validierung relevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadensart abgedeckt (Slirradler)	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollast, Teillast, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Geometrie
1	1	Getriebegehäuse Oberteil	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Gehäuseoberteil	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Riss im Gehäuse → Ölaustritt → Getriebeschaden	4	3	Validierung relevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadensart abgedeckt (Slirradler)	Knalstart, Vollastbeschleunigung, Momentenentw. 0/100	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
1	1	Getriebegehäuse Oberteil	Alterung (themisch)	Dichtmasse zwischen Oberteil und anschließenden Komponenten	themische Belastung (Umgebungs- / Abwärmeeinträge, interne Wärmequellen)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Umgebung Fahrzeuglauf mit Kunden zu diskutieren	Kaltstart, Hochdrehzahlbetrieb, Vmax	Umgebungsbedingungen (Salz, Straßenverschmutzung)
1	1	Getriebegehäuse Oberteil	Alterung (chemisch)	Dichtmasse zwischen Oberteil und anschließenden Komponenten	chemische Belastung (Umgebungsbedingungen)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Umgebung Fahrzeuglauf mit Kunden zu diskutieren	noch keine festgelegten Betriebsbedingungen (Fahrzeug im Winterbetrieb / Meeresumgebung)	Umgebungsbedingungen (Salz, Straßenverschmutzung)
1	1	Getriebegehäuse Oberteil	Korrosion	Gehäuseoberfläche	chemische Belastung durch Wassereintrag (Winterbetrieb)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Ablätting mit Kunden (Fahrzeuges/Enzelschadensart abgedeckt)	nach keine festgelegten Betriebsbedingungen (Fahrzeug im Winterbetrieb / Meeresumgebung)	Umgebungsbedingungen (Salz, hohe Luftfeuchtigkeit)
1	2	Getriebegehäuse Unterteil									
1	2	Getriebegehäuse Unterteil	Dauerhaltbarkeit (HCF)	kritische Stellen(Differential)	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Riss im Gehäuse → Ölaustritt → Getriebeschaden	4	3	Validierung relevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadensart abgedeckt (Slirradler)	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollast, Teillast, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Geometrie
1	2	Getriebegehäuse Unterteil	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Gehäuseunterteil	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Riss im Gehäuse → Ölaustritt → Getriebeschaden	4	3	Validierung relevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadensart abgedeckt (Slirradler)	Knalstart, Vollastbeschleunigung, Momentenentw. 0/100	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
1	2	Getriebegehäuse Unterteil	Alterung (themisch)	Dichtmasse zwischen anschließenden Komponenten	themische Belastung (Umgebungs- / Abwärmeeinträge, interne Wärmequellen)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Umgebung Fahrzeuglauf mit Kunden zu diskutieren	Kaltstart, Hochdrehzahlbetrieb, Vmax	Umgebungsbedingungen (Salz, Straßenverschmutzung)
1	2	Getriebegehäuse Unterteil	Alterung (chemisch)	Dichtmasse zwischen anschließenden Komponenten	chemische Belastung (Umgebungsbedingungen)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Umgebung Fahrzeuglauf mit Kunden zu diskutieren	noch keine festgelegten Betriebsbedingungen (Fahrzeug im Winterbetrieb / Meeresumgebung)	Umgebungsbedingungen (Salz, Straßenverschmutzung)
1	2	Getriebegehäuse Unterteil	Korrosion	Gehäuseoberfläche	chemische Belastung durch Wassereintrag (Winterbetrieb)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Ablätting mit Kunden (Fahrzeuges/Enzelschadensart abgedeckt)	noch keine festgelegten Betriebsbedingungen (Fahrzeug im Winterbetrieb / Meeresumgebung)	Umgebungsbedingungen (Salz, hohe Luftfeuchtigkeit)
1	3	Gehäuse Hydrauliksteuerung									
1	3	Gehäuse Hydrauliksteuerung	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Anbindung Getriebe	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Riss im Gehäuse → Ölaustritt → Getriebeschaden	4	3	Validierung relevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadensart abgedeckt (Slirradler)	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollast, Teillast, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Geometrie
1	3	Gehäuse Hydrauliksteuerung	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Anbindung Getriebe	mechanische Belastung (Antriebsstrangschwingung)	Riss im Gehäuse → Ölaustritt → Getriebeschaden	4	3	Validierung relevant auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schadensart abgedeckt (Slirradler)	Knalstart, Vollastbeschleunigung, Momentenentw. 0/100	Umgebungsbedingungen, Komponentenresonanz
1	3	Gehäuse Hydrauliksteuerung	Korrosion	Außenhaut	chemische Belastung durch Wassereintrag (Winterbetrieb)	Leckage → Ölaustritt	3	2	Ablätting mit Kunden (Fahrzeuges/Enzelschadensart abgedeckt)	noch keine festgelegten Betriebsbedingungen (Fahrzeug im Winterbetrieb / Meeresumgebung)	Umgebungsbedingungen (Salz, hohe Luftfeuchtigkeit)
1	4	Entlüftung									
1	4	Entlüftung	Alterung (themisch)	Erlüfterkopf (Kunststoff)	themische Belastung (Umgebungs- / Abwärmeeinträge, interne Wärmequellen)	Verstopfung → Druckaufbau → Getriebeschaden	2	4	Fahrzeugprüfung (Dauerlauf)	Hochlastbetrieb (Vmax)	Umgebungsbedingungen (enge Bauteile)
1	4	Entlüftung	Alterung (themisch)	Erlüfterkopf (Kunststoff)	themische Belastung (Umgebungs- / Abwärmeeinträge, interne Wärmequellen)	Entlüfterkopf defekt → Wassereintrag → Ölaustritt → Getriebeschaden	3	4	Fahrzeugprüfung (Dauerlauf)	Hochlastbetrieb (Vmax), Fahrzeug im Schlechtwetter-Betrieb	Umgebungsbedingungen (hohe Luftfeuchtigkeit, hohe Umgebungstemperatur (enge Bauteile))
1	4	Entlüftung	Ablagerung	Erlüfterkopf	Schmutzbelastung und Scherwelleneintrag	Verstopfung → Druckaufbau → Ölverlust → Getriebeschaden	2	4	Fahrzeugprüfung (Dauerlauf)	Schlechtig	Umgebungsbedingungen (hohe Luftfeuchtigkeit, hohe Staubbelastung)

Tabelle 3.3: AP-Blatt-Gehäuse

### 3.1.3.3 Laufverzahnung

Sie besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Stirnräder, Differential/Kegelräder

Hauptkomponente	AP-Blatt					Schadensursache (für Ausfallart)	Schadensfolge auf Fahrgabe	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
	Betriebliches Subsystem / Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Schadensursache (für Ausfallart)	Schadensfolge auf Fahrgabe							
3.1.1	Laufverzahnung											
3.1.1	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (HCF)	Zahnfuß	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Vollstabilbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.1.2	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (HCF)	Nabe	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Vollstabilbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.1.3	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (HCF)	Zahnradkörper	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Vollstabilbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie, Struktur		
3.1.4	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Zahnfuß	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) und geringe Pendeldauern	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.1.5	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Nabe	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) und geringe Pendeldauern	Komponenteneozanz, Geometrie, Schmelzung		
3.1.6	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Zahnradkörper	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) und geringe Pendeldauern	Komponenteneozanz, Geometrie, Schmelzung		
3.1.7	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Verschraubung	Seizen, mech. Belastung (Kontaminationsfreiheit)	Lösen der Verschraubung -> NVH Problem -> NVH Problem	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Kraftlast, Vollstabilbeschleunigung	Umgabebedingungen, Komponenteneozanz		
3.1.8	Stirnräder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Verschraubung	mechanische Belastung	Grießschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Kraftlast, Vollstabilbeschleunigung	Umgabebedingungen, Komponenteneozanz		
3.1.9	Stirnräder	Verschleiß	Zahnflanke	mechanische Belastung, geringe Schmelzung	erhöhter Flankenspiel -> Getriebegetusch	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
3.1.10	Stirnräder	Verschleiß	Zahnflanke	mechanische Belastung	Pitting -> Getriebegetusch	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System		
3.1.11	Stirnräder	Verschleiß	Nabe	mechanische Belastung	erhöhter Flankenspiel -> Getriebegetusch	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System		
3.1.12	Stirnräder	Verschleiß	Nabe (Späne)	mechanische Belastung	erhöhter Flankenspiel -> Getriebegetusch	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System		
3.1.13	Stirnräder	Korrosion (Reibrost)	Nabe (Späne)	mechanische Belastung und Schmutzsituation	NVH	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Toleranz, Konfiguration tribologisches System		
3.2	Differential/Kegelräder											
3.2.1	Differential/Kegelräder	Dauerhaftigkeit (HCF)	Zahnfuß	mechanische Belastung	Grießschaden	2	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Vollstabilbetrieb, Hochdrehzahlbetrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.2.2	Differential/Kegelräder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Zahnfuß	mechanische Belastung	Grießschaden	2	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.2.3	Differential/Kegehläder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Differentialkorb	mechanische Belastung	Grießschaden	2	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.2.4	Differential/Kegehläder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Differentialboizen	mechanische Belastung	Grießschaden	2	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.2.5	Differential/Kegehläder	Dauerhaftigkeit (LCF)	Nabe (Späne)	mechanische Belastung	Grießschaden	2	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Geometrie		
3.2.6	Differential/Kegehläder	Verschleiß	Zahnflanke	mechanische Belastung	erhöhter Flankenspiel -> Getriebegetusch	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)		
3.2.7	Differential/Kegehläder	Verschleiß	Zahnflanke	mechanische Belastung, geringe Schmelzung -> Ritzgeräusch	Pitting -> Getriebegetusch	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
3.2.8	Differential/Kegehläder	Verschleiß	Nabe (Späne)	mechanische Belastung	erhöhter Flankenspiel -> Getriebegetusch	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System		
3.2.9	Differential/Kegehläder	Verschleiß	Differentialboizen	mechanische Belastung, geringe Schmelzung -> Pressen	Kontaktschlack Rollenverschleiß	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System, Hot Spots		
3.2.10	Differential/Kegehläder	Verschleiß	radiale Anlaufschaben	mechanische Belastung	Kontaktschlack Rollenverschleiß	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
3.2.11	Differential/Kegehläder	Verschleiß	axiale Anlaufschaben	mechanische Belastung	Kontaktschlack Rollenverschleiß	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
3.2.12	Differential/Kegehläder	Korrosion (Reibrost)	Nabe (Späne)	mechanische Belastung und Schmutzsituation	NVH	4	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilbetrieb (hohe Lastspeizelos, und neg. Bereich) Schleppebetrieb, Betrieb bei bestimmter Gangzahl	Komponenteneozanz, Toleranz, Konfiguration tribologisches System		

Tabelle 3.4: AP-Blatt-Laufverzahnung



### 3.1.3.5 Anfahrlement

Es besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Drehmomentwandler, Wandlerüberbrückungskupplung

Da es sich hier um ein Zukaufteil handelt, fällt das AP - Blatt selbst bei einem so wichtigen Teil eher gering aus.

Hauptgruppe		AP-Blatt								
Nummer	Betrechtes Subsystem / Komponente	Ausfallsart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Schadensursache für Ausfallsart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
5	Anfahrlement									
5.1	Drehmomentwandler									
5.1.1	Drehmomentwandler	Verschleiß	Nabe (Spine)	mechanische Belastung	Leistungsverlust → Getriebeschaden	3	4	Zukaufteil, Test bei Zulieferer	Wechselbetrieb (hohe Lastspitzenpos. und neg. Bereich) und geringe Pendeldauern	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen
5.2	Wandlerüberbrückungskupplung	Verschleiß	Kupplungsbelag	mechanische Belastung	Kupplungsschaden/ Notprogramm	3	4	Zukaufteil, Test bei Zulieferer	Wechselbetrieb (hohe Lastspitzenpos. und neg. Bereich) und geringe Pendeldauern	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen
5.2.1	Wandlerüberbrückungskupplung	Verschleiß	Kupplungsbelag	mechanische Belastung	Kupplungsschaden/ Notprogramm	3	4	Zukaufteil, Test bei Zulieferer	Wechselbetrieb (hohe Lastspitzenpos. und neg. Bereich) und geringe Pendeldauern	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen

Tabelle 3.6: AP-Blatt-Anfahrlement



### 3.1.3.6 Lagerung

Sie besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Radialwälzlager, Axialwälzlager, Radialgleitlager, Axialgleitlager, Anlaufscheiben

Teilnummer	AP-Blatt				Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
	Betriebliches Subsystem / Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Schadensursache für Ausfallart							
6.1	Lagerung										
6.1.1	Radialwälzlager	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Lagerschale	mechanische Belastung (elastische Verformung)	Getriebschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Komponentensensitiv, Umgebungsbedingungen	
6.1.2	Radialwälzlager	Verschleiß	Wälzkörper	mechanische Belastung bei geringer Schmierleistung	NVH, Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.1.3	Radialwälzlager	Verschleiß	Lagerschalenoberfläche	mechanische Belastung bei geringer Schmierleistung	NVH, Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.1.4	Radialwälzlager	Verschleiß	Laufbahn	Verschmutzung	NVH, Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.1.5	Radialwälzlager	Verschleiß	Laufbahn	mechanische Belastung, geringe Schmierleistung -> Tribologie	Pitting -> Getriebegetriebschaden	4	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots	
6.2	Axialwälzlager										
6.2.1	Axialwälzlager	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Lagerschale	mechanische Belastung (elastische Verformung)	Getriebschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Komponentensensitiv, Umgebungsbedingungen	
6.2.2	Axialwälzlager	Verschleiß	Wälzkörper	mechanische Belastung bei geringer Schmierleistung	NVH, Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.2.3	Axialwälzlager	Verschleiß	Lagerschalenoberfläche	mechanische Belastung bei geringer Schmierleistung	NVH, Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.2.4	Axialwälzlager	Verschleiß	Laufbahn	Verschmutzung	NVH, Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.2.5	Axialwälzlager	Verschleiß	Laufbahn	mechanische Belastung, geringe Schmierleistung -> Tribologie	Pitting -> Getriebegetriebschaden	4	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots	
6.3	Radialgleitlager										
6.3.1	Radialgleitlager	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Lagerschale	mechanische Belastung (elastische Verformung)	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Komponentensensitiv, Umgebungsbedingungen	
6.3.2	Radialgleitlager	Verschleiß	Lagerschalenoberfläche	mechanische Belastung bei geringer Schmierleistung	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.3.3	Radialgleitlager	Verschleiß	Laufbahn	Verschmutzung	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.3.4	Radialgleitlager	Verschleiß	Laufbahn	mechanische Belastung, geringe Schmierleistung -> Fressen	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots	
6.4	Axialgleitlager										
6.4.1	Axialgleitlager	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Lagerschale	mechanische Belastung (elastische Verformung)	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Komponentensensitiv, Umgebungsbedingungen	
6.4.2	Axialgleitlager	Verschleiß	Lagerschalenoberfläche	mechanische Belastung bei geringer Schmierleistung	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.4.3	Axialgleitlager	Verschleiß	Laufbahn	Verschmutzung	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität)	
6.4.4	Axialgleitlager	Verschleiß	Laufbahn	mechanische Belastung, geringe Schmierleistung -> Fressen	Lagerschaden	2	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots	
6.5	Anlaufscheiben										
6.5.2	Anlaufscheiben	Verschleiß	aktive Anlaufscheiben	mechanische Belastung	NVH, Getriebschaden	4	1	Validierungsrelevant auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstabilität (Zusammengesetz aus: Vollst., Teillast-, Schlepplern), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots	

Tabelle 3.7: AP-Blatt-Lagerung

### 3.1.3.7 Aktuatorik (Bremse / Kupplung)

Sie besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Reibbeläge, Stahllamellen, Lamellenträger, Kolben, Teller-/Spiralfedern, Bandbremse, Fliehkraftkompensation

AP-Blatt		Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
7.1.1	Reibbeläge	Verschleiß	mechanische Belastung	4	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei Schmutz-Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.1.2	Reibbeläge	Alterung (thermisch)	Margenerosion -> thermische Belastung, sechsstufige Schichten der Kupplung	4	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei Schmutz-Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.2.1	Stahllamellen	Dauerhaftbarkeit (LCF)	mechanische Belastung durch Belegungszyklen (plastische Verformung)	4	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.2.2	Stahllamellen	Verschleiß	mechanische Belastung	4	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.2.3	Stahllamellen	Alterung (thermisch)	Margenerosion -> chemische Belastung, sechsstufige Schichten der Kupplung	4	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.3.1	Lamellenträger	Dauerhaftbarkeit (LCF)	Mechanisch durch hohe Drehmomente (plastische Verformung)	2	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.3.2	Lamellenträger	Dauerhaftbarkeit (LCF)	plastische Verformung durch zu hohe Fliehkraftpressung	3	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.3.3	Lamellenträger	Verschleiß	mechanische Belastung	4	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.3.4	Lamellenträger	Alterung (thermisch)	Margenerosion -> thermische Belastung	3	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.4.1	Kolben	Dauerhaftbarkeit (LCF)	mechanische Belastung (gasstatische Verformung)	2	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.4.2	Kolben	Verschleiß	mechanische und thermische Belastung	3	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.4.3	Kolben	Alterung (thermisch)	thermische Belastung	3	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.4.4	Kolben	Alterung (chemisch)	chemische Belastung	3	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität)
7.5.1	Teller/Spiralfedern	Dauerhaftbarkeit (LCF)	mechanische Belastung	2	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.5.2	Teller/Spiralfedern	Verschleiß	mechanische Belastung	2	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Umgebungsbedingungen
7.5.3	Teller/Spiralfedern	Alterung (Stress)	Verlust der Vorspannung	4	3	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schicht abgedeckt (Stahllamellen)	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.6.1	Bandbremse	Dauerhaftbarkeit (HCF)	mechanische Belastung, Verformung (Drehung)	2	3	In dieser Entwicklungsphase nicht relevant.	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.6.2	Bandbremse	Verschleiß	mechanische Belastung	4	3	In dieser Entwicklungsphase nicht relevant.	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Umgebungsbedingungen
7.7.1	Fliehkraftkompensation	Dauerhaftbarkeit (LCF)	mechanische Belastung (gasstatische Verformung)	2	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie
7.7.2	Fliehkraftkompensation	Verschleiß	mechanische und thermische Belastung	2	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.7.3	Fliehkraftkompensation	Alterung (thermisch)	thermische Belastung	2	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl, Vmax	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität, Hot Spots)
7.7.4	Fliehkraftkompensation	Alterung (chemisch)	chemische Belastung	2	1	Validierungslauf auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration ribologisches System (Qualität)
7.7.5	Fliehkraftkompensation	Feldfunktion	Margenerosion mit Öl	2	4	Durch Funktionsentwicklung abgedeckt	Wechselstrome (Zuammengrenz aus Völlsch, 'Teillist', Schleppe), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie

Tabelle 3.8: AP-Blatt-Aktuatorik

### 3.1.3.8 Parkmechanismus

Er besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Klinkenrad, Klinke, Federn

Hauptgruppe		AP-Blatt				Schadensursache für Ausfallsart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
Hauptkomponente	Nummer	Betrachtetes Subsystem / Komponente	Ausfallsart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente								
9	1	Parkmechanismus										
9	1	Klinkenrad										
9	1	1	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Klinkenrad	mechanische Belastung	Getriebschaden	2	3	Missbrauchsthema	Betrieb bei bestimmter Gangwahl, noch keine festgelegten Betriebsbedingungen	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie	
9	1	2	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Klinkenrad	mechanische Belastung (plastische Verformung)	Funktionsverlust	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie	
9	1	3	Verschleiß	Klinkenrad	mechanische Belastung	Funktionsverlust (Toleranzsituation)	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie, Toleranz	
9	2	Klinke										
9	2	1	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Klinke	mechanische Belastung	Getriebschaden	2	3	Missbrauchsthema	Betrieb bei bestimmter Gangwahl, noch keine festgelegten Betriebsbedingungen	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie	
9	2	2	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Klinke	mechanische Belastung (plastische Verformung)	Funktionsverlust	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie	
9	2	3	Verschleiß	Klinke	mechanische Belastung	Funktionsverlust (Toleranzsituation)	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie, Toleranz	
9	3	Federn										
9	3	1	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Federn	mechanische Belastung	Funktionsverlust	2	3	Missbrauchsthema	Betrieb bei bestimmter Gangwahl, noch keine festgelegten Betriebsbedingungen	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie	
9	3	2	Verschleiß	Federn	mechanische Belastung	Funktionsverlust	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie, Toleranz	
9	3	3	Alterung (Setzen)	Federn	mechanische Belastung	Verlust der Vorspannung, Korfverlust; erschwert die Parksperrumriegelung	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie	

Tabelle 3.9: AP-Blatt-Parkmechanismus

### 3.1.3.9 Schmersystem

Es besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Öl, Ölkühler, Ölleitungen (Tabelle 3.10)

Ölpumpe, Saug-/Druckfilter, Wellendichtung (Tabelle 3.11)

Hauptkomponente	AP-Blatt					Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrgabebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
	Betragenes Subsystem/ Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensart an Komponente	Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrgabebene							
10.1.1	Öl	Alterung (themisch)	Öl	themische Belastung	Verlust der Schmierfähigkeit	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Vmax	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
10.1.2	Öl	Alterung (themisch)	Öl	themische, Überbelastung (Oxidation)	Verlust der Schmierfähigkeit, Abrieb, Verschleiß	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Vmax	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
10.1.3	Öl	Alterung (chemisch)	Öl	chemische Belastung	Verlust der Schmierfähigkeit	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität)		
10.1.4	Öl	Abtragung	Öl	Verunreinigung (Kondensat, Kühlmittel)	Verlust der Schmierfähigkeit (Emulsion)	2	4	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots, Geometrie, Umgebungsbedingungen		
10.1.5	Öl	Abtragung	Öl	Schmutzbelastung (mechanischer Abrieb)	Verlust der Schmierfähigkeit	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots, Geometrie, Umgebungsbedingungen		
10.1.6	Öl	Verschlämung	Öl	Luftfeuchtigkeit	Luftaugen der Ölpumpe, Oxidation, Reaktionsfähige (Molke m wird kompakt), Verlust der Schmierfähigkeit	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Umgebungsbedingungen		
10.2.1	Ölkühler	Dauerhaftbarkeit (HCF)	Ölkühler	Vibrationen, Drucksplosionen	Luftansaugung → Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.2.2	Ölkühler	Dauerhaftbarkeit (LCP)	Ölkühler	mechanische Belastung	Luftansaugung → Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.2.3	Ölkühler	Dauerhaftbarkeit (LCP)	Ölkühler	Überdruck → Bersten	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.2.4	Ölkühler	Dauerhaftbarkeit (LCP)	Zu- und Abauf Ölkühler	Vibrationen, Drucksplosionen, themische Belastung	Luftansaugung → Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.2.5	Ölkühler	Verschleiß	Ölkühler	mechanische Belastung, Partikel im Öl	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Konfiguration tribologisches System (Qualität)		
10.2.6	Ölkühler	Verschleiß	Ölkühler	Stoßschlag	Luftansaugung / Wassereintritt → Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Geometrie		
10.2.7	Ölkühler	Verschleiß	Ölkühler	chemische Belastung	Außeren der Dichtung	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Konfiguration tribologisches System (Qualität)		
10.2.8	Ölkühler	Abtragung	Ölkühler	mechanische Belastung, Partikel im Öl	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.2.9	Ölkühler	Abtragung	Ölkühler	Verunreinigung	themische Überbelastung → Kühlschaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.2.10	Ölkühler	Korrosion	Ölkühler	Wassereintritt (Salz, Regen)	Luftansaugung / Wassereintritt → Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Ganzzahl	Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.3.1	Ölleitungen	Dauerhaftbarkeit (HCF)	Ölleitungen	mechanische Belastung	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.3.2	Ölleitungen	Dauerhaftbarkeit (LCP)	Ölleitungen	mechanische Belastung	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.3.3	Ölleitungen	Dauerhaftbarkeit (LCP)	Ölleitungen	Drucksplosionen, mechanische Belastung, Umwelteinwirkungen	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Komponentenanz., Umgebungsbedingungen, Geometrie		
10.3.4	Ölleitungen	Verschleiß	Ölleitungen	themische Belastung	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
10.3.5	Ölleitungen	Alterung (themisch)	Ölleitungen	themische Belastung	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Vmax	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Hot Spots		
10.3.6	Ölleitungen	Alterung (chemisch)	Ölleitungen	chemische Belastung (UV-Strahlung)	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität)		
10.3.7	Ölleitungen	Abtragung	Ölleitungen	mechanische Belastung, Partikel im Öl	Getriebechaden	2	4	Fahrzeugetriebung (Dauerlauf)	Wechsellastbetrieb (Zusammengesetz aus: Volllast-, Teillast-, Schleppbetrieb)	Konfiguration tribologisches System (Qualität), Geometrie, Umgebungsbedingungen		

Tabelle 3.10: AP-Blatt-Schmersystem(1/2)

# Basistestprogramm für die Getriebeerprobung - Systemanalyse

Hauptkategorie	Hauptkategorie	AP-Blatt				Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
		Betrachtetes Subsystem/ Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente	Schadensursache für Ausfallart							
10.6	Schmieröl											
10.4.1	Ölpumpe	Dauerhaftigkeit (HCF)	Gehäuse		mechanische Belastung	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.2	Ölpumpe	Dauerhaftigkeit (HCF)	Zahn / Flügell		mechanische Belastung	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.3	Ölpumpe	Dauerhaftigkeit (LCF)	Gehäuse		mechanische Belastung	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.4	Ölpumpe	Dauerhaftigkeit (LCF)	Zahn / Flügell		mechanische Belastung	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.5	Ölpumpe	Dauerhaftigkeit (LCF)	Ölpumpe		mechanische Belastung (Luftverschmutzung)	Leitungsverlust -> Bruch -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.6	Ölpumpe	Verschleiß	Ölpumpe		Mangelströmung	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.7	Ölpumpe	Verschleiß	Ölpumpe		Verschmutzung	Leitungsverlust -> Bruch -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie, Hot Spots	
10.4.8	Ölpumpe	Verschleiß	Ölpumpe		unterschiedliche Wärmeabfuhr (Mittelfeldabfuhr)	Leitungsverlust	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.9	Ölpumpe	Verschleiß	Zahn / Flügell		mechanische Belastung	Leitungsverlust -> Bruch -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.10	Ölpumpe	Ablagerung	Ölpumpe		mechanische Belastung, Partikel im Öl	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.4.11	Ölpumpe	Kavitation	Zahn / Flügell		mechanische Belastung	Leitungsverlust -> Bruch -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.5	Saug-Druckfilter											
10.5.1	Saug-Druckfilter	Dauerhaftigkeit (LCF)	Filter		mechanische Belastung, Schwingungen	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.5.2	Saug-Druckfilter	Dauerhaftigkeit (LCF)	Filter		mechanische Belastung	Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.5.3	Saug-Druckfilter	Dauerhaftigkeit (LCF)	Druckfilter		mechanische Belastung (Überdruck)	Luftsaugen -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.5.4	Saug-Druckfilter	Ablagerung	Saugfilter		mechanische Belastung, Partikel im Öl	Pumpenschaden durch Kavitation	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.5.5	Saug-Druckfilter	Ablagerung	Druckfilter		mechanische Belastung, Partikel im Öl	Verschlechterung Verringertgrad	4	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.6	Wellendichtung											
10.6.1	Wellendichtung	Dauerhaftigkeit (HCF)	Wellendichtung		mechanische Belastung	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.6.2	Wellendichtung	Dauerhaftigkeit (LCF)	Wellendichtung		mechanische Belastung	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Komponentenresonanz, Umgebungbedingungen, Geometrie	
10.6.3	Wellendichtung	Verschleiß	Wellendichtung		mechanische und chemische Belastung	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Toleranz, Konfiguration (biologisches System (Qualität))	
10.6.4	Wellendichtung	Alterung (thermisch)	Wellendichtung		Umwelterfüsse (thermisch)	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Toleranz, Konfiguration (biologisches System (Qualität), Hot Spots, Umgebungbedingungen)	
10.6.5	Wellendichtung	Alterung (thermisch)	Wellendichtung		thermische Belastung	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Toleranz, Konfiguration (biologisches System (Qualität), Hot Spots)	
10.6.6	Wellendichtung	Alterung (chemisch)	Wellendichtung		chemische Belastung	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Toleranz, Konfiguration (biologisches System (Qualität))	
10.6.7	Wellendichtung	Alterung (chemisch)	Wellendichtung		Umwelterfüsse (chemisch)	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Toleranz, Konfiguration (biologisches System (Qualität), Umgebungbedingungen)	
10.6.8	Wellendichtung	Beschädigung	Wellendichtung		unsachgemäßer Zusammenbau, Konstruktionsfehler	Leckage, ungewolltes austreten von Elementen, Mangelströmung -> Getriebeschaden	2	3	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung, wird durch andere Schichten abgedeckt	Wechselstatorbetrieb (Zusammengesetzt aus: Vollst., Teilst., Schleppeintrieb)	Geometrie	

Tabelle 3.11: AP-Blatt-Schmieröl(2/2)

### 3.1.3.10 Hydraulik

Sie besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

Ventilblock, E-Pumpe/Speicher

Hauptgruppe	Hauptkomponentennummer	AP-Blatt			Schadensursache für Ausfallart	Schadensfolge auf Fahrzeugebene	Kritikalität	Priorität	Erklärung der Priorität	Schädigende Betriebsbedingungen	Randbedingungen
		Betrachtetes Subsystem/ Komponente	Ausfallart auf Komponentenebene	Schadensort an Komponente							
11	1	Hydraulik									
11	1	Ventilblock	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Ventilblock	mechanische Belastung	Druckverlust -> bei excessiven ausrollen Getriebschaden (Schmierverlust)	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	1	Ventilblock	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Ventilblock (Schleibenzonung)	mechanische Belastung (unerschütterliche Verschraubung, Konstruktionsproblem) -> plastische Verformung	Hysterese / Verklammern der Ventile	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	1	Ventilblock	Dauerhaltbarkeit (HCF)	Ventilblock	mechanische Belastung	In Abhängigkeit vom System	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	1	Ventilblock	Dauerhaltbarkeit (LCF)	Ventilblock	mechanische Belastung	Druckverlust -> bei excessiven ausrollen Getriebschaden (Schmierverlust)	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	1	Ventilblock	Verschleiß	Schieberbohrung, Kugelventil	mechanische Belastung	Funktionsstörung/verlust -> Getriebschaden (in Abhängigkeit vom System)	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Toleranz, Konfiguration tribologisches System (Oberfläch)
11	1	Ventilblock	Ablagerung	Ventilblock	Schmutzbelastung (mechanischer Abrieb, Grat)	Funktionsstörung/verlust	2	1	Validierungsprogramm auf Grund von Neuentwicklung	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Geometrie
11	2	E-Pumpe/Speicher	Dauerhaltbarkeit (HCF)	E-Pumpe/Speicher	mechanische Belastung	Funktionsverlust	2	3	In dieser Entwicklungsgeneration noch nicht relevant.	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	2	E-Pumpe/Speicher	Dauerhaltbarkeit (LCF)	E-Pumpe	Überdruck(Überlast) -> Gegendruck zur Pumpe	Leistungsverlust, erhöhte Systemverluste -> Funktionsverlust	2	3	In dieser Entwicklungsgeneration nicht relevant.	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	2	E-Pumpe/Speicher	Dauerhaltbarkeit (LCF)	E-Pumpe/Speicher	mechanische Belastung (LCF)	Funktionsverlust	2	3	In dieser Entwicklungsgeneration nicht relevant.	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	2	E-Pumpe/Speicher	Verschleiß	E-Pumpe	mechanische und chemische Belastung, Verschmutzung	Leistungsverlust, erhöhte Leckage -> Funktionsverlust	2	3	In dieser Entwicklungsgeneration nicht relevant.	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie
11	2	E-Pumpe/Speicher	Ablagerung	E-Pumpe/Speicher	Verschmutzung, Abrieb	Leistungsverlust, erhöhte Systemverluste -> Funktionsverlust	2	3	In dieser Entwicklungsgeneration nicht relevant.	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Geometrie
11	2	E-Pumpe/Speicher	Kavitation	E-Pumpe	mechanische Belastung	Leistungsverlust -> Funktionsverlust	2	3	In dieser Entwicklungsgeneration nicht relevant.	Wechselbetrieb (Zusammengesetz aus: Vollaast-, Teillast-, Schleppbetrieb), Betrieb bei bestimmter Gangwahl	Komponentenresonanz, Umgebungsbedingungen, Geometrie

Tabelle 3.12: AP-Blatt-Hydraulik

## ***Priorisierung validierungsrelevanter Bauteilschadartkombinationen***

Die Priorisierung validierungsrelevanter Bauteilschadartkombinationen wird in mehreren Schritten durchgeführt.

Zuerst wird eine Vorpriorisierung im kleinen Rahmen durchgeführt, bevor mit den entsprechenden Fachexperten eine Priorisierung vollzogen wird. Dies ist ein iterativer Prozess und führt sehr häufig zu vielen Diskussionen. Dabei ist es wichtig einen geeigneten Moderator für diesen Vorgang zu wählen um auf ein verwertbares Ergebnis zu kommen.

Die Priorität ist von 1 bis 4 gegliedert, wobei eine kurze Erklärung der gewählten Priorität unerlässlich ist.

### 3.1.4 AP - Blatt Analyse

Nach der Befüllung des AP - Blattes erfolgt als nächster Schritt die Auswertung bzw. Analyse des AP - Blattes.

Diese beinhaltet folgende Schritte:

- Analyse der Ausfallsart auf Komponentenebene
- Analyse Aufteilung der Prioritätsthemen
- Schädigende Betriebsbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse
- Randbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse

#### 3.1.4.1 Analyse der Ausfallsart auf Komponentenebene

In der unten dargestellten Grafik sind alle Ausfallsarten mit ihrer dazugehörigen Auftrittshäufigkeit gelistet. Es wird versucht die in Kapitel 2.2 definierten physikalischen Ausfallsarten zu verwenden.

In drei Fällen wird die Ausfallsart erweitert. Dies betrifft die Ausfallsart Setzen (2x) und Verschäumung (1x). Diese 2 Ausfallsarten sind grundsätzlich durch Alterung beschrieben.

Außerdem ist ersichtlich, dass drei Ausfallsarten (HCF, LCF, Verschleiß) öfters vorkommen.

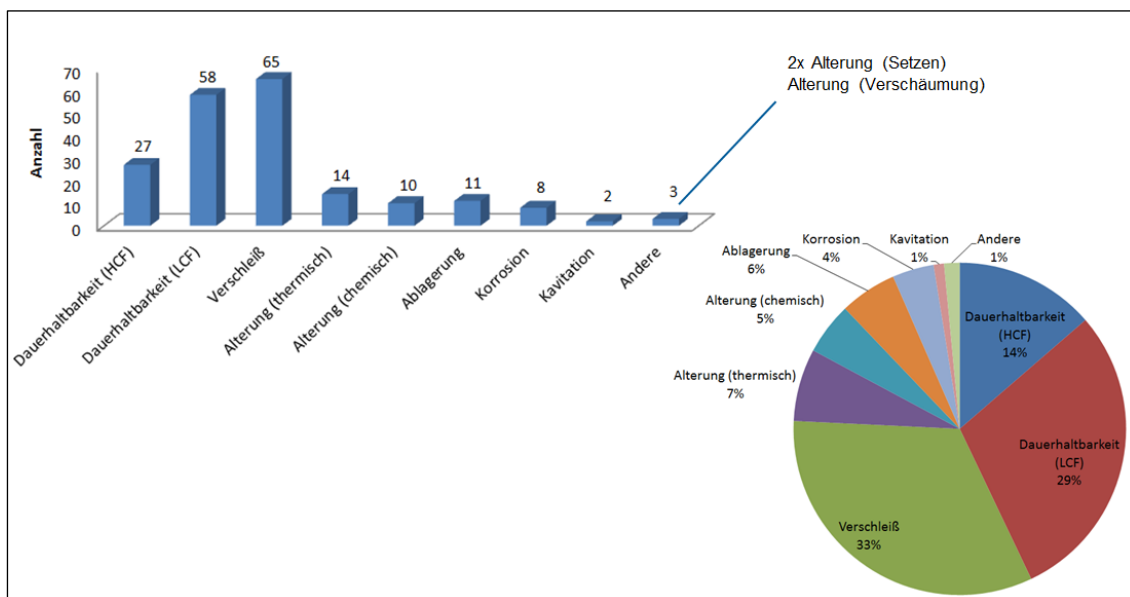


Abbildung 3.11: Ausfallsart auf Komponentenebene (Häufigkeit)



### 3.1.4.2 Analyse Aufteilung der Prioritätsthemen

Nun wird das AP - Blatt nach den vorkommenden Prioritätsthemen begutachtet. Dabei bedeuten die verschiedenen Prioritäten folgendes:<sup>84</sup>

Priorität 1: Bauteilschadartkombination ist relevant für Validierungsplan.

Priorität 2: Entscheidung steht noch aus.

Priorität 3: Bauteilschadartkombination ist nicht relevant oder bereits durch eine andere Priorität 1 Bauteilschadartkombination abgedeckt.

Priorität 4: Bauteilschadartkombination ist durch Funktionsentwicklungsprogramm abgedeckt.

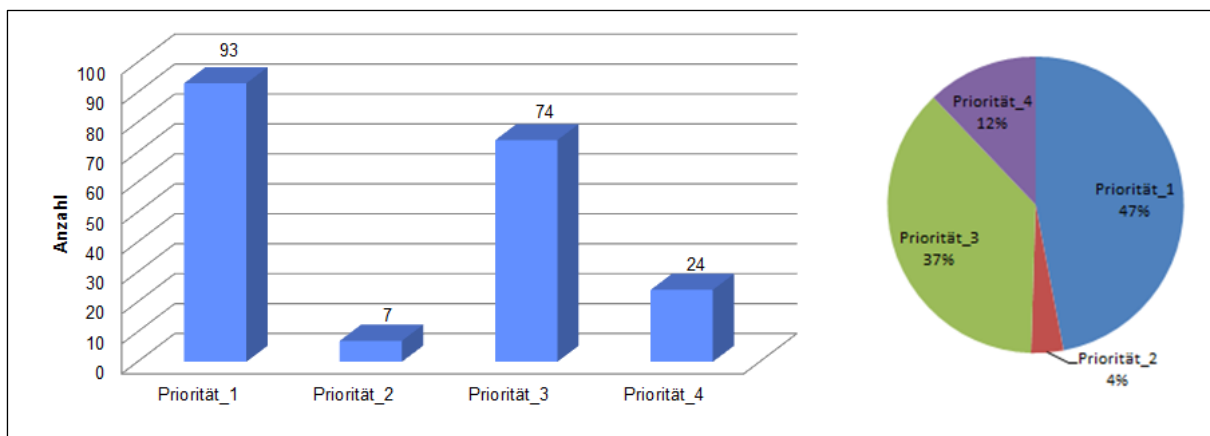


Abbildung 3.12: Aufteilung der Prioritätsthemen

Die hohe Anzahl an Priorität 3 Themen kommt daher, dass viele Komponenten bereits mit anderen mitgetestet werden und ein Einzelüberprüfung nicht mehr erforderlich ist.

Bei Priorität 2 kann noch keine Entscheidung getroffen werden. Es muss noch eine genaue Abklärung mit Hilfe des Kunden durchgeführt werden, damit eine Entscheidung getroffen werden kann.

<sup>84</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - System Analyse - AP - Blatt (2013), S. 3

### 3.1.4.3 Schädigende Betriebsbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse

Folglich werden die schädigenden Betriebsbedingungen basierend auf der AP - Blatt Analyse ausgewertet, wobei zu beachten ist, dass nur die Prioritäten 1 - 3 betrachtet werden.

Da es sich hier um eine Dauerlauferprobung handelt, ist das Prioritätsthema 4 bereits in der Funktionsentwicklung abgedeckt und wird hier nicht näher betrachtet.

In mehreren Expertendiskussionen haben sich folgende schädigende Betriebsbedingungen herauskristallisiert:

- Vmax – Betrieb
- Vollastbeschleunigung
- Wechsellastbetrieb (hochtransient)
- Kaltstart
- Betrieb bei bestimmter Gangwahl
- Noch keine festgelegten Betriebsbedingungen

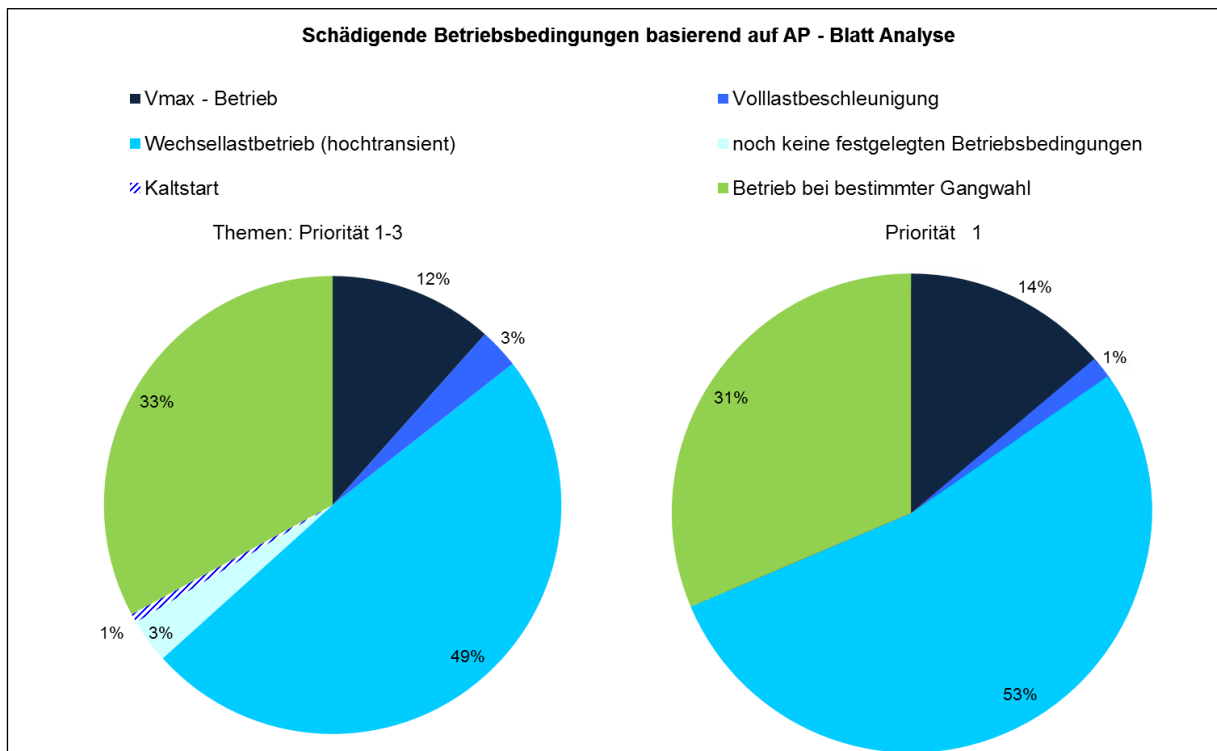


Abbildung 3.13: Schädigende Betriebsbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse

In Abbildung 3.13 ist zuerst eine Zusammenfassung mit den Prioritäten 1 bis 3 und anschließend nur Priorität 1 dargestellt.

Die Prioritäten 1 - 3 sind für eine gute Übersicht vorteilhaft. Da für das Validierungsprogramm jedoch nur die Priorität 1 relevant ist, ist eine Einzeldarstellung sinnvoll.

Es ist ebenso ersichtlich, dass ca. 80% mit den schädigenden Betriebsbedingungen „Betrieb bei bestimmter Gangwahl“ sowie „Wechselastbetrieb (hochtransient)“ abgedeckt sind.

In der folgenden Tabelle ist eine Auswertung der schädigenden Betriebsbedingungen für Priorität 1 - Fehlermodi dargestellt.

	Prio 1	Prio 1	Prio 1	Prio 1
	Vmax - Betrieb	Vollastbeschleunigung	Wechselastbetrieb (hochtransient)	Betrieb bei bestimmter Gangwahl
Gehäuse				
Wellen	2		4	1
Laufverzahnung	1	2	8	6
Planetensatz	1		6	3
Anfahrelement				
Lagerung	8		14	14
Aktuatorik (Bremsse/Kupplung)	2		7	7
Steuerungssysteme				
Parkmechanismus				6
Schmiersystem	5		28	
Hydraulik			6	6
<b>Gesamtanzahl</b>	<b>19</b>	<b>2</b>	<b>73</b>	<b>43</b>

Tabelle 3.13: Auswertung schädigender Betriebsbedingungen für Priorität 1 - Fehlermodi

Diese ist sehr hilfreich, da sie die Grundlage für die Erstellung der benötigten Dauerlaufprogramme bildet. Die erstellten Dauerlaufprogramme scheinen schlussendlich im DVP (Design Validation Plan) auf.

### 3.1.4.4 Randbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse

Die vorkommenden Randbedingungen werden nun näher betrachtet, wobei eine Katalogisierung in Umgebungsbedingungen, Medienqualität, Funktionale Eigenschaften sowie Designeigenschaften vorgenommen wird.

Dabei werden Randbedingungen wie z.B. Geometrie- und Toleranzeigenschaften unter der Katalogisierung Designeigenschaften zusammengefasst.

Weitere Beispiele für die einzelne Katalogisierung sind:

Umgebungsbedingungen: Umweltbedingungen, Umgebungstemperatur,...

Medienqualität: Ölqualität,...

Funktionale Eigenschaften: Resonanz, Hot Spots,...

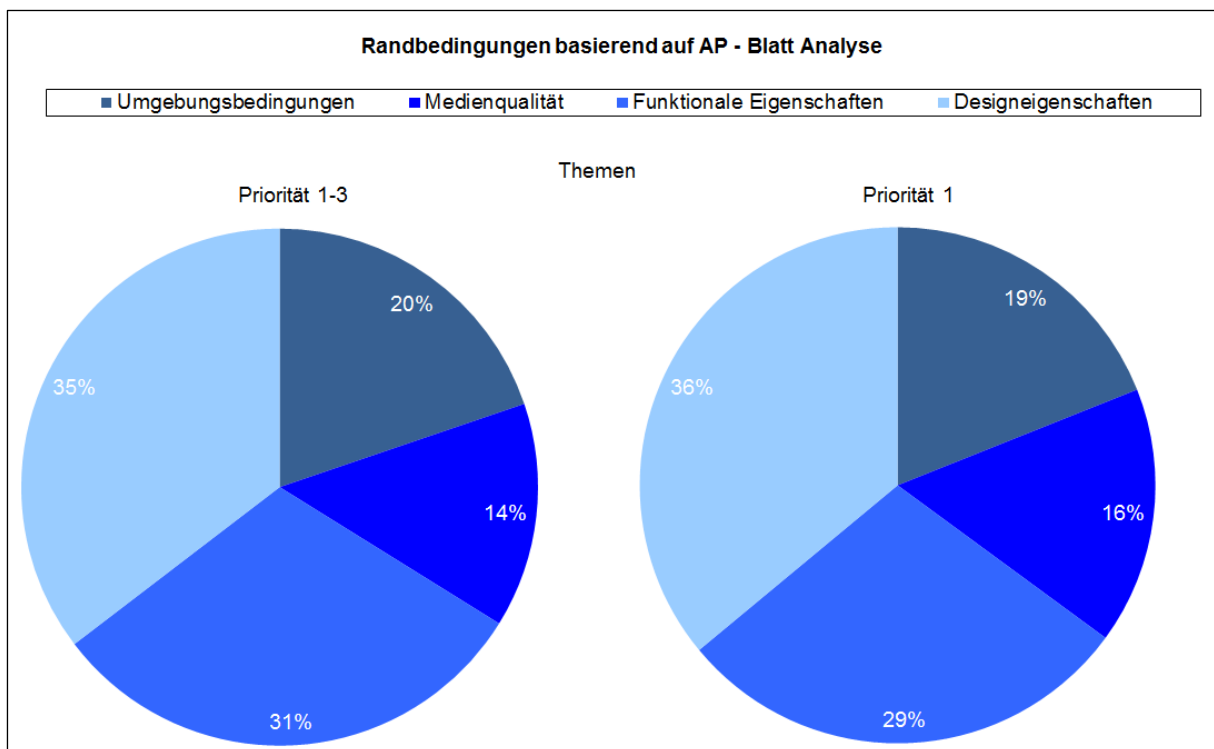


Abbildung 3.14: Randbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse

Wie in Abbildung 3.13 zuvor ist zuerst eine Zusammenfassung mit den Prioritäten 1 bis 3 und anschließend nur Priorität 1 dargestellt.

Man erkennt, dass eine halbwegs gleichverteilte Aufteilung der einzelnen Randbedingungen gegeben ist.

## 4 Vom Kundenwunsch zum Lastkollektiv

Ziel dieses Load Matrix <sup>TM</sup> - Schrittes ist es zum einen die relevanten Referenzkollektive und zum anderen die Kennwerte für Dauerhaltbarkeit und Zuverlässigkeit für die Validierungsplanung zu ermitteln.<sup>85</sup>



Abbildung 4.1: Applikationen und Zielwerte<sup>86</sup>

### 4.1 Definierte Ziele

Zielwerte für Dauerhaltbarkeit (z.B. Lebensdauerziele) und Zuverlässigkeit (z.B. zulässige Fehlerrate über den Garantiezeitraum) werden im Regelfall im Rahmen der Lastenhefterstellung auf Systemebene definiert. Diese Werte werden in der Analyse übernommen und im Bedarfsfall auf die Komponenten abgeleitet. Für die Bestimmung der Zuverlässigkeitsziele auf Ebene der Bauteilschadartkombination wird ein risikobasierter Ansatz verwendet. Bauteilschadartkombination mit hohem Risiko werden daher schärferen Zuverlässigkeitszielwerten unterworfen.<sup>87</sup>

#### **Definierte Ziele für ausgewähltes Testprojekt:**

Ziel Gesamtdistanz: 200.000 km (Kundennutzung)

<sup>85</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte (2013), S. 30

<sup>86</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte (2013), S. 29

<sup>87</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte (2013), S. 30

## 4.2 Verwendete Lastkollektive (Kundensicht, Systemsicht)

Für die Bewertung und Optimierung eines Validierungsprogrammes ist das Wissen über die System-, Einsatz- und Nutzungsvarianten im Kundenbetrieb essentiell. Dies wird in Referenzlastkollektiven beschrieben. Darüber hinaus müssen ebenso die Zielwerte für Dauerhaltbarkeit und Zuverlässigkeit auf System und Komponentenebene bekannt sein.

Die Auswahl der relevanten Referenzlastkollektive erfolgt, je nach Verfügbarkeit der Daten, qualitativ oder auf Basis von statistischen Methoden quantitativ.<sup>88</sup>

Um auf die gesuchten Lastdaten, bezogen auf das Gesamtsystem zu kommen, benötigt man folgende Eingangsparameter:

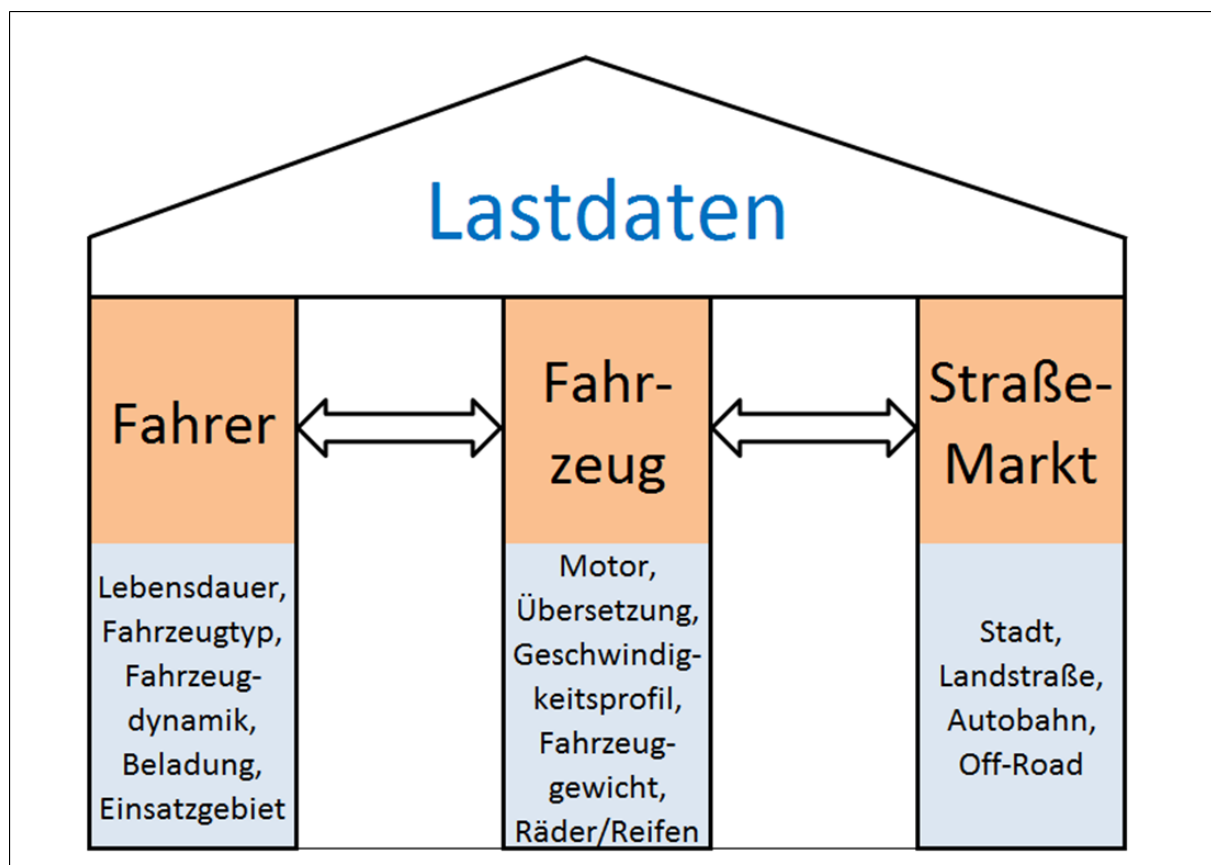


Abbildung 4.2: Benötigte Eingangsparameter<sup>89</sup> (Lastdaten auf Gesamtsystem bezogen)

<sup>88</sup> Vgl. AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte (2013), S. 30

<sup>89</sup> Vgl. AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte (2013)

**Lastdaten für ausgewähltes Testprojekt:**

Fahrzeuggesamtgewicht: 1645 kg

Maximalgeschwindigkeit: 200 km/h

Vordere Achsbelastung: 865 kg

Dynamischer Rollraddurchmesser: 0,297 m

Einsatzgebiet: Asiatischer Markt

Hier folgend dargestellt ist die Streckenspezifikation für das Testprojekt. (Fahrzeug ohne Anhänger)

Die einzelnen Testzyklen entsprechen einer Variation aus:

- Autobahn
- Überland
- Bergfahrt
- Stadt
- Vollastbeschleunigung
- Teillastbetrieb

Streckenspezifikation	Länge [km]	Zeit [h]
AVL_No_1	48109.1	626.84
AVL_No_2	45597.3	613.22
AVL_No_3	38153.7	1182.02
AVL_No_4	161.2	1.40
AVL_No_5	9377.5	80.70
AVL_No_6	63.5	0.47
AVL_No_7	8540.7	45.67
AVL_No_8	58.7	0.79
	150061.8	2551.10

Tabelle 4.1: Streckenspezifikation

Mit den von oben gewonnen Lastdaten sind folgende Schritte nun notwendig, um auf die gesuchten synthetischen Lastdaten, welche zur Erstellung eines Lastkollektives notwendig sind, zu gelangen.

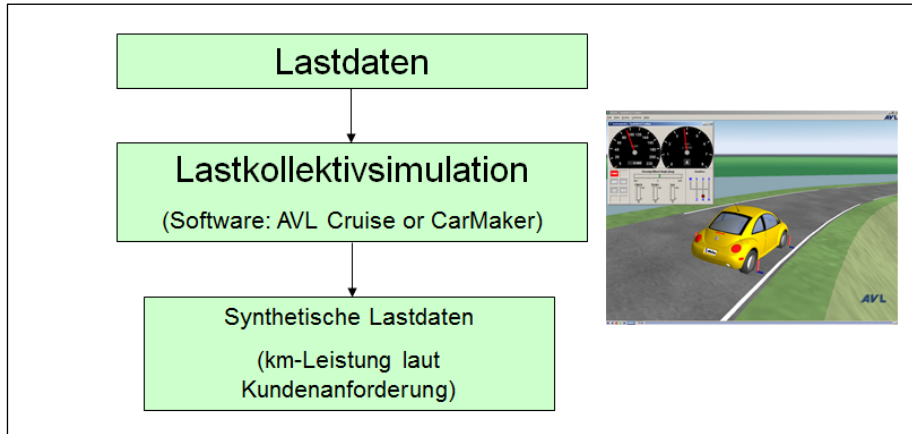


Abbildung 4.3: Ermittlung synthetischer Lastdaten<sup>90</sup> (Lastdaten auf Gesamtsystem bezogen)

Dabei werden aus den vorhandenen Lastdaten mittels Lastkollektivsimulation (wie z.B. Carmaker) synthetische Lastdaten generiert.

Die damit erzeugten synthetischen Lastdaten sind beispielsweise in der folgenden Abbildung dargestellt.

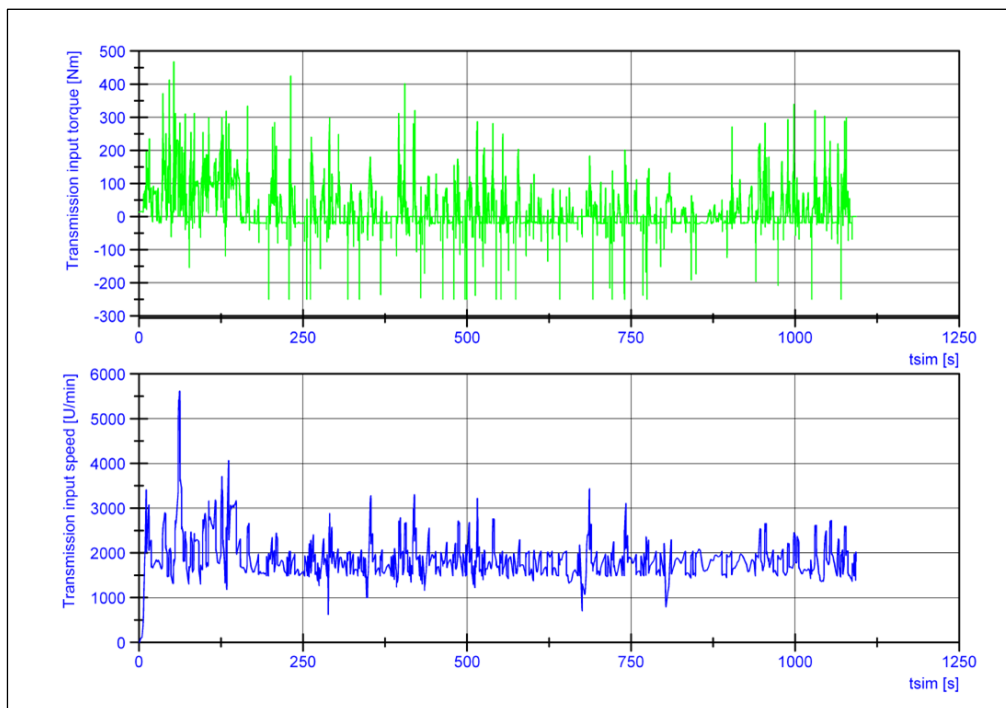


Abbildung 4.4: Getriebeeingangs- Drehmoment-/Drehzahlkurve

Hier sind eine Getriebeeingangsdrehmomentkurve bzw. Getriebeeingangsdrehzahlkurve über die Zeit ersichtlich.

<sup>90</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte (2013)



## 5 Erstellung Basistestprogramm

In diesem Kapitel soll mittels des nächsten bzw. dritten Load Matrix <sup>TM</sup> - Schrittes („Testprogramm und Belastungsanalyse“) und der zuvor gewonnenen Erkenntnisse ein Basistestprogramm gefunden werden. In diesem Schritt werden auch mögliche Raffungsfaktoren für die betrachteten Bauteilschadartkombinationen bestimmt.<sup>91</sup>



Abbildung 5.1: Testprogramm und Belastungsanalyse<sup>92</sup>

### 5.1 Analyse von Erprobungsprogrammen für Getriebe

Das Testprogramm umfasst im Idealfall alle Erprobungen die im Rahmen der Designvalidierung an Komponenten, Systemen und Fahrzeugen erfolgen. Beschrieben wird das Testprogramm durch den Testzyklus, die Dauer der Erprobung und den Durchführungszeitraum.<sup>93</sup>

<sup>91</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013), S. 36

<sup>92</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013), S. 35

<sup>93</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013), S. 36

In dieser Arbeit wurde auch eine Recherche über Erprobungsprogramme von Getrieben anderer Hersteller bzw. Entwickler durchgeführt. Die folgenden beiden Abbildungen zeigen eine Übersicht über die Recherche der vorhandenen und gesammelten Testinformationen.

Die Testinformationen der verschiedenen Hersteller / Entwickler enthalten auf einer Seite grobe Übersichten von Gesamtentwicklungsprozessen bis hin zu detaillierten Prüfprogrammen. Abbildung 5.2 gibt einen Überblick über diese Testinformationen auf Hersteller bezogen.

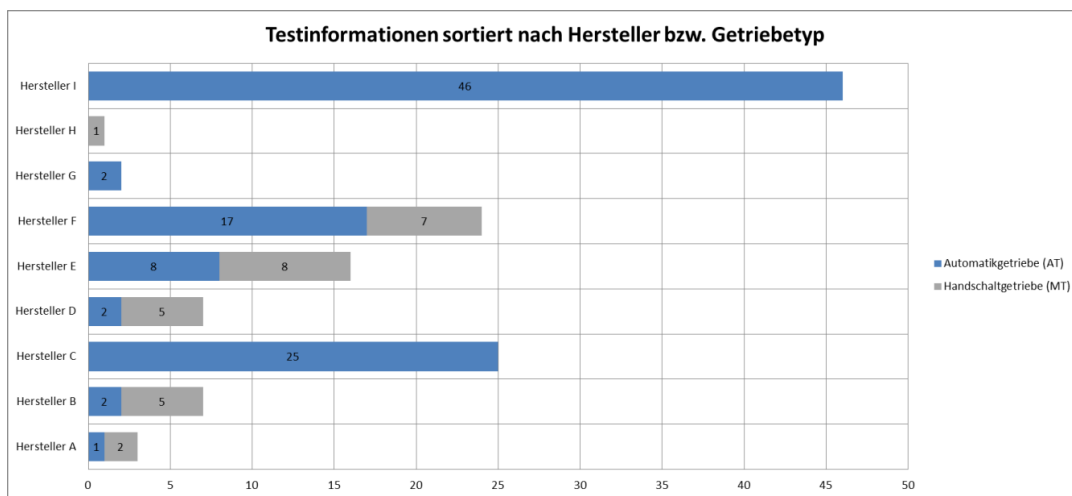


Abbildung 5.2: Testinformationen sortiert nach Hersteller

Bei der Recherche wurde auch eine Trennung zwischen Automatikgetrieben und manuell schaltbaren Getrieben getroffen. Abbildung 5.3 zeigt eine Aufschlüsselung nach diesen zwei Getriebetypen.

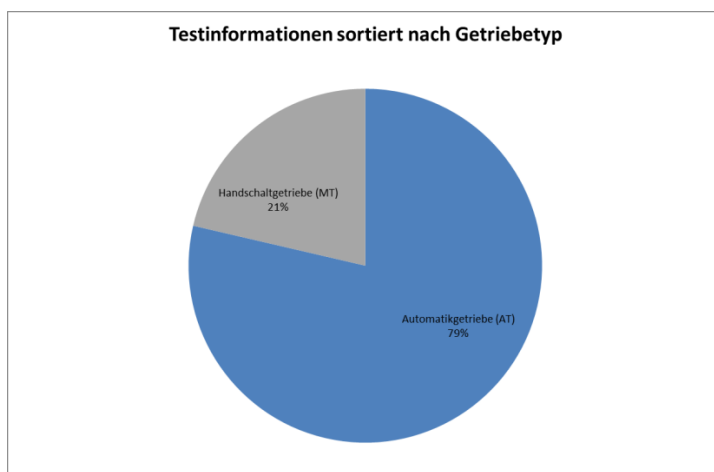


Abbildung 5.3: Testinformationen sortiert nach Getriebetyp

Für die weitere Betrachtung wurde eine Unterteilung der Testprogramme für Automatikgetriebe nach Test-Modi durchgeführt. Es wird zwischen Funktions- und Dauerlauf testprogrammen unterschieden.

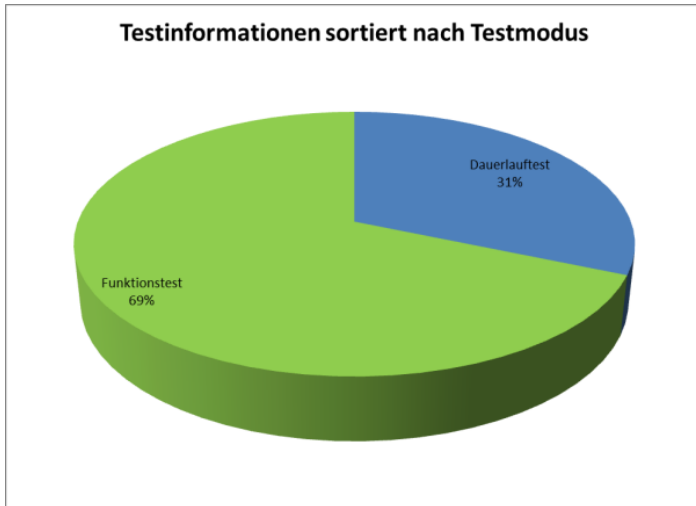


Abbildung 5.4: Testinformationen sortiert nach Testmodus

Es wurde auch eine weiter Unterteilung der zuvor dargestellten Gliederung vollzogen, indem eine Unterscheidung bei den Funktions- und Fahrzeugtestinformationen zwischen Fahrzeug und Prüfstand durchgeführt wurde. Dies ist in der nächsten Abbildung dargestellt.

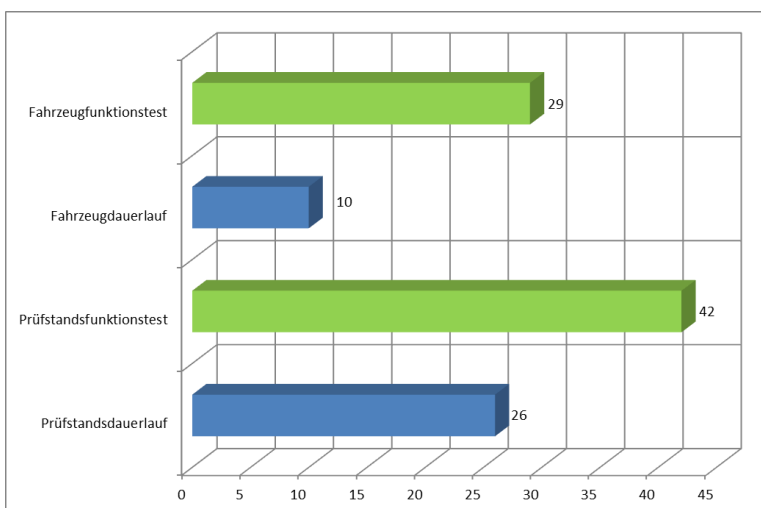


Abbildung 5.5.: Fahrzeug- bzw. Prüfstandsdauerlauf

Im folgenden Kapitel werden nun auf Grund der Lastdaten und der analysierten Testinformationen verschiedene Testprogramme entwickelt.

## 5.2 Festlegung von Dauerlauferprobungsprogrammen

Um ein Dauerlauferprobungsprogramm festlegen zu können müssen folgende Punkte erfüllt werden.

Vorgehensweise<sup>94</sup>:

1. Simulation eines Lastkollektives auf Basis von virtuellen Strecken (AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Schritt: Applikationen und Zielwerte)
2. Auswertung des synthetisch erstellten Lastkollektives (AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Schritt: Applikationen und Zielwerte)
3. Klassifizierung der Einsatzzeiten für jeden Gang (Auswertung der Momente, Überrollungen, Einsatzzeit und Streckenlänge, Berechnung der Schädigung und der schädigungsäquivalenten Momente)
4. Erstellen von Blockprogrammen mit dem Ziel den gleichen Schädigungsinhalt für Berechnung, Simulation und Validierung abzubilden
5. Erstellen von Dauerlaufprogrammen für jede relevante Komponente

---

<sup>94</sup> Vgl. AVL - Load Matrix<sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013)

Punkt Eins und Zwei der zuvor beschriebenen Vorgehensweise wurden schon in Kapitel 4.2 bearbeitet.

Im dritten Schritt wird eine Klassifizierung durchgeführt. Es besteht die Möglichkeit zwischen zwei verschiedenen Klassierungsmethoden zu wählen. Auf der einen Seite kann man die Daten in Form einer Rainflowklassierung analysieren bzw. auf der anderen Seite mit einer Überrollungsklassierung.

Eine Übersicht stellt Abbildung 5.6 dar.

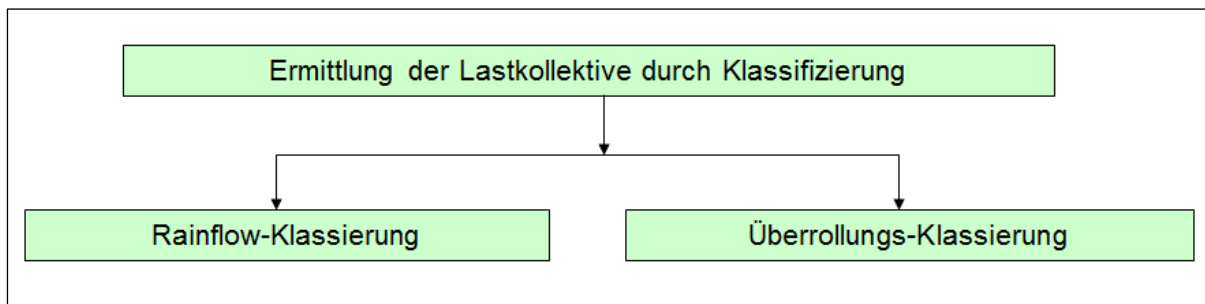


Abbildung 5.6: Erstellung Lastkollektiv<sup>95</sup>

Die einzelnen Komponenten des Automatikgetriebes werden einer Klassierung unterzogen. Da das Testen einer Komponente mittels eines Betriebslastennachfahrverfahrens nicht immer möglich ist, werden die einzelnen Komponenten mit den vorher erwähnten Klassierungen überarbeitet.

Diese Übersicht ist in Abbildung 5.7 dargestellt.

Arten von Klassierungen / Prüfprogrammen	Überrollungen mit $\Delta n$	Rainflow	Betriebslasten-nachfahrverfahren
<b>Analysestellen Achsgetriebe</b>			
Getriebegehäuse		x	x
Gehäuseverschraubung - Mikrobewegung			x
Wellen Torsion		x	x
Wellen Umlaufbiegung	x		x
Anlaufflächen und Gleitflächen im Differential	x		x
Differentialbolzen Biegung		x	x
Laufverzahnung	x		x
Kerbverzahnung		x	x
Wälzlagerlaufbahnen	x		x
Wälzlagersitz		x	x
Verschleiß		x	x

Abbildung 5.7: Arten von Klassierungen / Prüfprogrammen

<sup>95</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013)

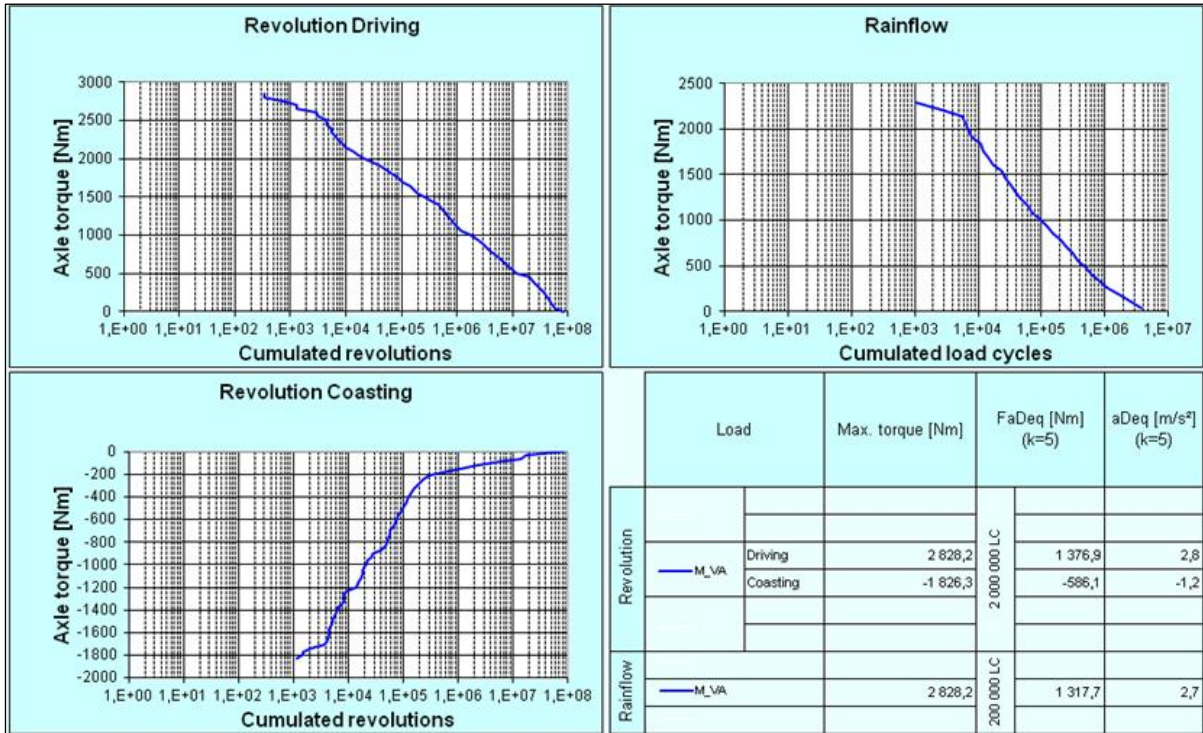


Abbildung 5.8: Klassierung

In Abbildung 5.8 ist neben dem Zug- bzw. Schubbetrieb über Überrollungen auch eine Rainflowklassierung über Lastwechsel ersichtlic.

In der nächsten Abbildung ist ein Auszug aus der gesamten Klassifizierung. Auf Grund der unterschiedlich betrachteten Bauteile lassen sich die verschiedenen Wöhlerkurvensteigungen erklären. Typische Wöhlerkurvensteigungen sind unter anderem:

- k = 3 bei Lagern
- k = 5 bei Verzahnungen
- k = 8 bei Wellen

Diese Werte sind durch klassische Wöhlerversuche bestätigt.

Wöhlerkurvensteigung k	Gang	Schädigung D	FaDeg - Schädigungs-äquivalente Spannungsamplitude [Nm]	Durchschnittsdrehzahl [1/min]	Zeit [h]	Zeit [%]	Lastspiele
k=3	1	4.835E+12	134.21	1324.67	286.2	15.09	2000000
	2	6.488E+13	318.93	1994.52	387.3	20.42	2000000
	3	1.461E+14	418.07	2061.12	484.5	25.55	2000000
	4	9.823E+13	366.22	2018.77	302.9	15.97	2000000
	5	1.033E+14	372.46	2344.19	226.0	11.92	2000000
	6	1.886E+14	455.21	2585.52	209.5	11.05	2000000
k=5	1	5.031E+16	120.26	1324.67	286.2	15.09	2000000
	2	2.945E+18	271.40	1994.52	387.3	20.42	2000000
	3	7.248E+18	324.96	2061.12	484.5	25.55	2000000
	4	5.612E+18	308.76	2018.77	302.9	15.97	2000000
	5	5.058E+18	302.41	2344.19	226.0	11.92	2000000
	6	9.268E+18	341.34	2585.52	209.5	11.05	2000000
k=8	1	1.032E+23	122.76	1324.67	286.2	15.09	2000000
	2	5.712E+25	270.37	1994.52	387.3	20.42	2000000
	3	1.472E+26	304.35	2061.12	484.5	25.55	2000000
	4	1.759E+26	311.19	2018.77	302.9	15.97	2000000
	5	1.423E+26	303.06	2344.19	226.0	11.92	2000000
	6	1.138E+26	294.71	2585.52	209.5	11.05	2000000
	Summe				1896.5		

Tabelle 5.1: Belastungsdatensimulation (gangweise)

Um ein Prüfprogramm zu erstellen, dass das Ziel hat den gleichen Schädigungsinhalt wie mit der zuvor durchgeführten Klassifizierung berechnet wurde, abbilden zu können, sind folgende Möglichkeiten vorhanden:

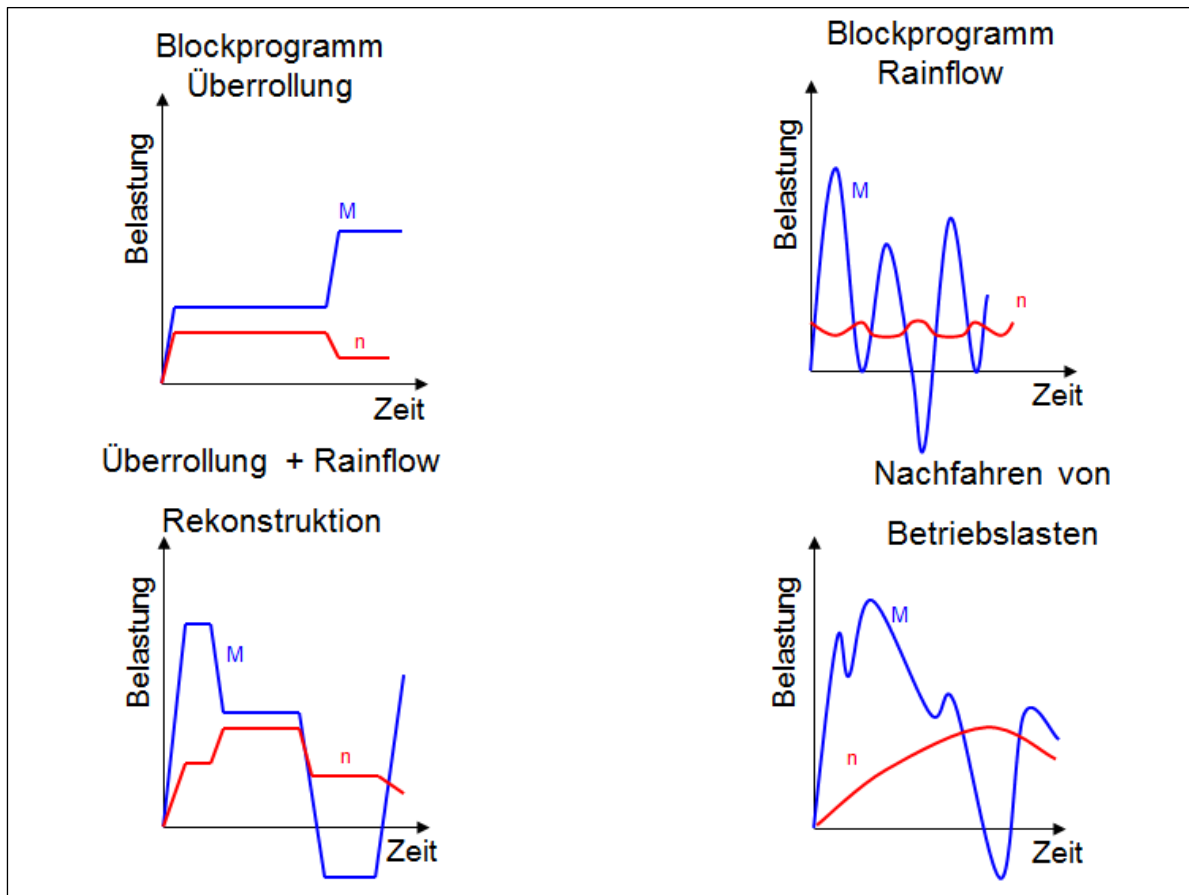


Abbildung 5.9: Unterschiedliche Prüfprogramme<sup>96</sup>

Bei den Prüfprogrammen „Blockprogramm Überrollung“, „Blockprogramm Rainflow“ sowie „Überrollung + Rainflow Rekonstruktion“ ist ein schadensorientierter Ansatz erkennbar. Im Vergleich dazu ist bei dem Prüfprogramm „Nachfahren von Betriebslasten“ ein kundenorientierter Ansatz gewählt.

<sup>96</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013)



Mit den zuvor getroffenen Annahmen kommt man schließlich auf ein überrollungsbasiertes Stufenprogramm, das wie folgt aussieht:

Gang	Eingangsmoment [Nm]	Eingangsdrehzahl [1/min]	Zeit [h]	Überrollungen	Schädigung			Eingangsleistung [kW]	Schädigung		Prozent [%]
					D bei k=3	D bei k=5	D bei k=8		Stufenprogramm	Simulation (k=3)	
1 <sup>st</sup>	120	2000	7.8	936000	1.617E+12	2.329E+16	4.025E+22	25.1			
	150	3000	3	540000	1.823E+12	4.101E+16	1.384E+23	47.1			
	220	4000	0.55	132000	1.406E+12	6.803E+16	7.244E+23	92.1	4.845E+12	4.835E+12	100.22
2 <sup>nd</sup>	140	2500	20	3000000	8.232E+12	1.613E+17	4.427E+23	36.6			
	160	3000	21	3780000	1.548E+13	3.964E+17	1.623E+24	50.3			
	240	2500	20	3000000	4.147E+13	2.389E+18	3.302E+25	62.8	6.519E+13	6.488E+13	100.47
3 <sup>rd</sup>	120	2600	30	4680000	8.087E+12	1.165E+17	2.012E+23	32.7			
	200	3900	47	10998000	8.798E+13	3.519E+18	2.815E+25	81.7			
	240	4000	15	3600000	4.977E+13	2.867E+18	3.963E+25	100.5	1.458E+14	1.461E+14	99.79
4 <sup>th</sup>	120	3500	20	4200000	7.258E+12	1.045E+17	1.806E+23	44.0			
	200	2500	30	4500000	3.600E+13	1.440E+18	1.152E+25	52.4			
	240	3300	20	3960000	5.474E+13	3.153E+18	4.359E+25	82.9	9.800E+13	9.823E+13	99.76
5 <sup>th</sup>	120	3000	25	4500000	7.776E+12	1.120E+17	1.935E+23	37.7			
	200	5000	30	9000000	7.200E+13	2.880E+18	2.304E+25	104.7			
	240	4000	7	1680000	2.322E+13	1.338E+18	1.849E+25	100.5	1.030E+14	1.033E+14	99.67
6 <sup>th</sup>	180	3500	65	13650000	7.961E+13	2.579E+18	1.504E+25	66.0			
	200	5000	30	9000000	7.200E+13	2.880E+18	2.304E+25	104.7			
	240	4000	11	2640000	3.650E+13	2.102E+18	2.906E+25	100.5	1.881E+14	1.886E+14	99.71
Gesamtzeit			402.35								

Tabelle 5.2: Stufenprogramm (überrollungsbasiert)

Dabei ist gut zu erkennen, dass das Stufenprogramm innerhalb der vom Kunden gewünschten Abweichung zwischen Simulation und Stufenprogramm liegt. (siehe Spalte ganz rechts)

In folgender Abbildung ist für eine bessere Übersicht das Stufenprogramm als Gang, Eingangsmoment, Eingangsdrehzahl über Zeit aufgelöste Darstellung abgebildet.

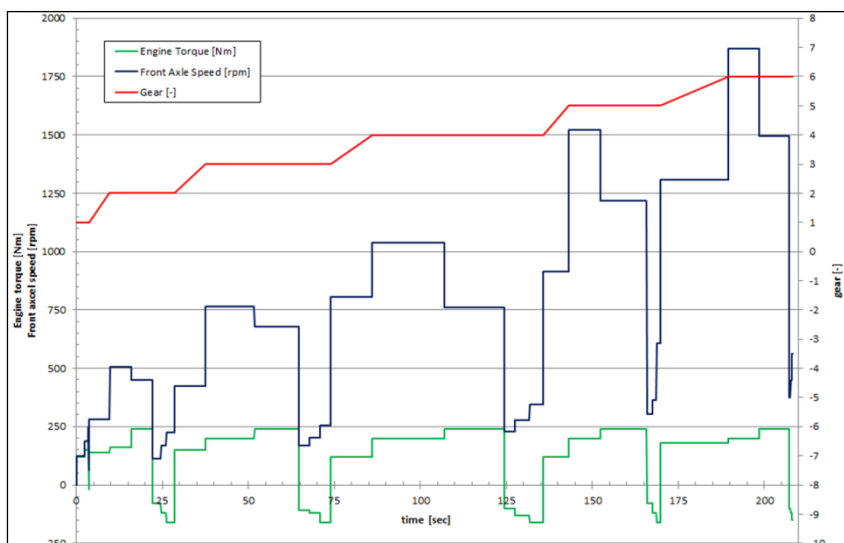


Abbildung 5.10: Stufenprogramm (Gang, Eingangsmoment, Eingangsdrehzahl, Zeit)

### **5.3 Zusammenhang zwischen AP - Blatt und Erprobungsprogramm**

Ebenso wichtig für die Validierungsplanung ist die Darstellung der Verknüpfung mit dem Funktionsentwicklungs- und Kalibrierungsprogramm, um frühzeitig Kollisionen im Zeitplan zu entdecken.

Die Raffungsfaktoren dienen dazu, die Schädigungsbeiträge eines Tests im Verhältnis zum gewählten Referenzlastkollektiv für eine Bauteilschadartkombination darzustellen. Die Ermittlung der Raffungsfaktoren erfolgt oft in mehreren Schritten. Raffungsfaktoren können geschätzt (Validierungsbeitrag oder Erstanalyse), mit einfachen Schädigungsmodellen berechnet (Detaillierung nach ersten Messungen) und mittels detaillierter Schädigungsmodellanalyse ermittelt werden.<sup>97</sup>

Wie muss ein Testprogramm aufgezogen werden?

1. Komplette Systemanalyse des zu untersuchenden Systems unter Zuhilfenahme vorhandener FMEAs, Felddaten sowie sonstiger vorhandener Unterlagen mit dem Ziel relevante Ausfallsarten zu erkennen.
2. Mit den gewonnen Ausfallsarten sowie einer geeigneten Nutzungsraumanalyse (Einsatzort, Referenzkunde (Standard-, sportlicher Kunde,...), ...) und mittels Erfahrungswissen des Auftraggebers zu einer Definition von Referenzkollektiven zu gelangen. Ebenso fließen Dauerhaltbarkeits- und Zuverlässigkeitsziele aus dem Lastenheft in die Betrachtung mit ein.
3. Diese generierten Referenzzyklen bilden die Grundlage für die Erstellung des Testprogrammes wobei unter Zuhilfenahme von Schädigungsmodellierungen und Einbeziehung von Raffungsfaktoren ein Testprogramm erstellt wird.
4. Optimierung und Risikominimierung des Testprogrammes mittels statistischer Methoden.

---

<sup>97</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse(2013), S. 36

## 5.4 Analyse von vorhandenen Schädigungsmodellen

Die betrachteten Schädigungsmodelle geben nur einen Auszug der tatsächlich vorhandenen Modelle wieder.

Allgemeine Ansätze für die Schädigungsrechnung

### Wöhlerkurve

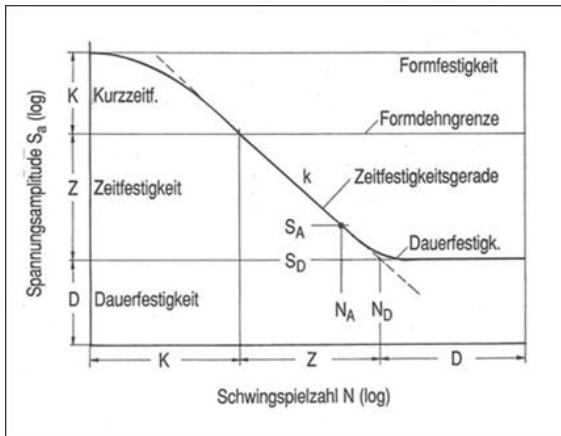


Abbildung 5.11: Kennwerte einer Wöhlerlinie und Abgrenzung der Bereiche der Dauerfestigkeit (D), der Zeitfestigkeit (Z) und der Kurzzeitfestigkeit (K)<sup>98</sup>

Zur Wöhlerkurve gelangt man mittels Wöhlerversuch. Dabei werden Versuchskörper zyklisch unter einer sinusförmigen Beanspruchungs - Zeit - Funktion auf mehreren Lastniveaus geprüft.

<sup>98</sup> Haibach (2006), S. 26

## Miner - Regel

Es gibt verschiedenen Modifikationen der Miner - Regel. Die drei häufigsten werden hier vorgestellt:

Miner - original - Regel (Palmgren - Miner - Regel)

Modifizierte - Miner - Regel nach Haibach

Elementare - Miner - Regel

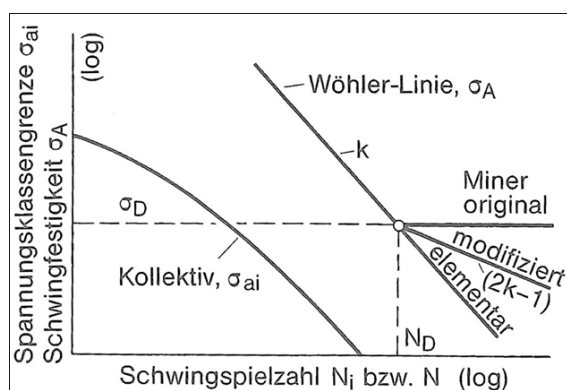


Abbildung 5.12: Varianten der Miner Regel<sup>99</sup>

Der wesentliche Unterschied ist die unterschiedliche Steigung im Dauerfestigkeitsbereich. Bei der Miner - original - Regel wird ein Abknicken der Wöhlerlinie komplett vernachlässigt. Die modifizierte - Miner - Regel nach Haibach berücksichtigt ein Absinken der Dauerfestigkeit durch eine veränderte Neigung  $k_{\text{mod}}=(2k-1)$ . Die Elementare - Miner - Regel behält dieselbe Steigung  $k$  wie im Zeitfestigkeitsbereich und ist somit der konservativste Ansatz.

<sup>99</sup> Radaj/Vormwald (2007), S. 300

## High cycle fatigue

Die zuvor beschriebenen Ansätze bilden die Grundlage für den Schädigungsansatz High cycle fatigue. Als Schädigungsmodell wird dabei eine spannungsbasierte Wöhlerkurve gewählt.

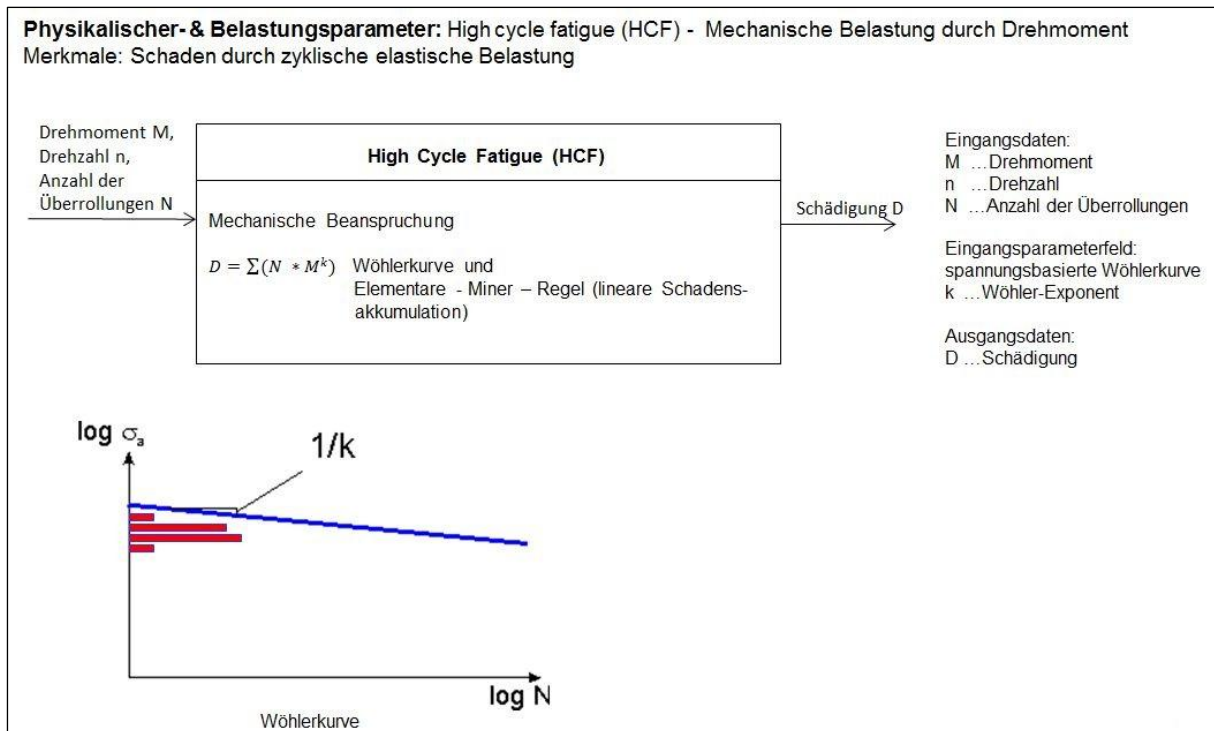


Abbildung 5.13: High Cycle Fatigue<sup>100</sup>

<sup>100</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ (2013), S. 7

## Low cycle fatigue

Hier bilden die zuvor beschriebenen Ansätze ebenfalls die Grundlage für den Schädigungsansatz. Laut des zusätzlichen Manson - Coffin Ansatzes sind die plastischen Dehnungsamplituden lebensdauerbestimmend. Aus diesem Grund wird als Schädigungsmodell dabei eine dehnungsbasierte Wöhlerkurve gewählt.

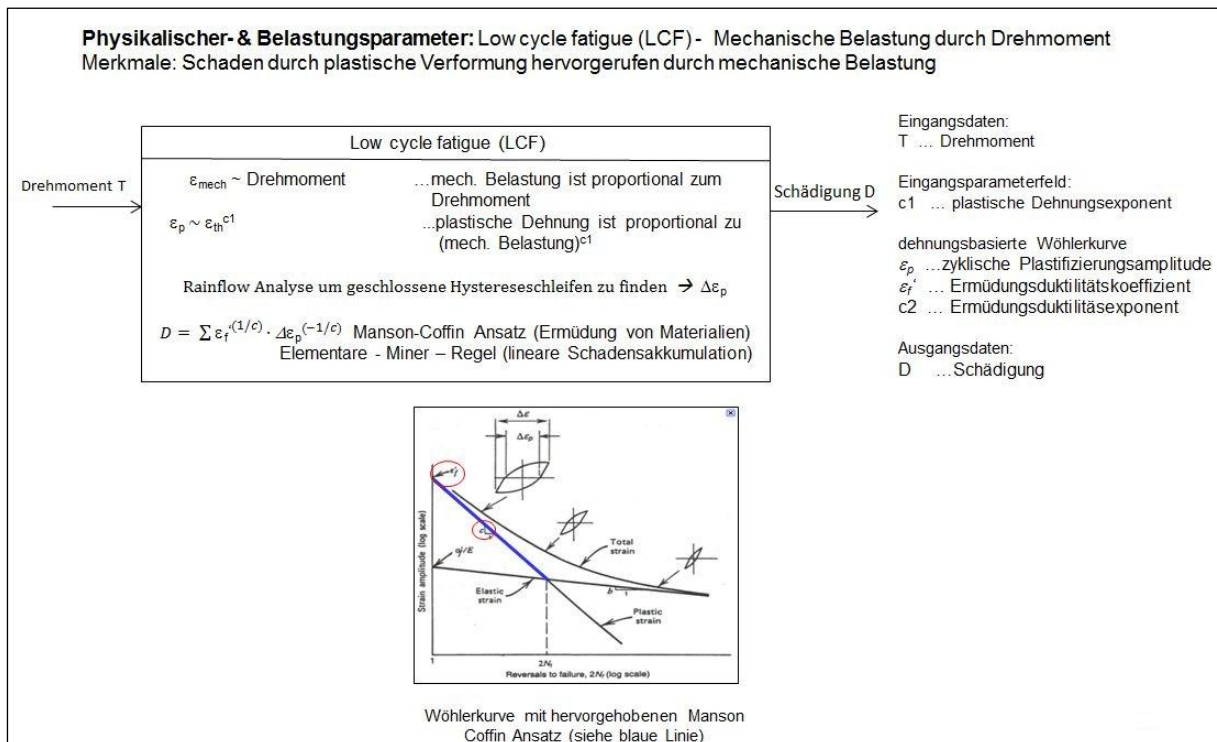


Abbildung 5.14: Low cycle fatigue<sup>101</sup>

<sup>101</sup> Vgl. AVL - Load Matrix™ (2013), S. 8

## 6 Auswertung und Optimierung

Nun werden alle gesammelten Informationen in der AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> zusammengeführt.



Abbildung 6.1: Auswertung und Optimierung<sup>102</sup>

### 6.1 Weitere Schritte

Ziel der Arbeiten ist es, dem Projektteam die Möglichkeit zu geben, Stärken und Schwächen des Erprobungsprogramms und daraus resultierende Validierungsrisiken darzustellen und zu diskutieren.

Dazu werden aus der Load Matrix <sup>TM</sup> auf Basis der Raffungsfaktoren für alle validierungsrelevanten Bauteilschadartkombination Testbeiträge und die nachweisbaren Zuverlässigkeiten berechnet sowie das Dauerhaltbarkeitspotential ermittelt.<sup>103</sup>

<sup>102</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Auswertung und Optimierung(2013), S. 56

<sup>103</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Auswertung und Optimierung(2013), S. 57

Das anfängliche Testprogramm wird basierend auf den Abhilfemaßnahmen optimiert. Zur Darstellung der Wirksamkeit der Abhilfemaßnahmen werden für das optimierte Testprogramm mit der Load Matrix <sup>TM</sup> die nachweisbare Zuverlässigkeit und das Dauerhaltbarkeitspotential bewertet.

Auf Basis der Ergebnisse werden eventuelle Schwachstellen in der Validierung detektiert und mögliche Abhilfemaßnahmen aufgezeigt.<sup>104</sup>

In der folgenden Abbildung wird die Optimierung eines Validierungsplans exemplarisch gezeigt:

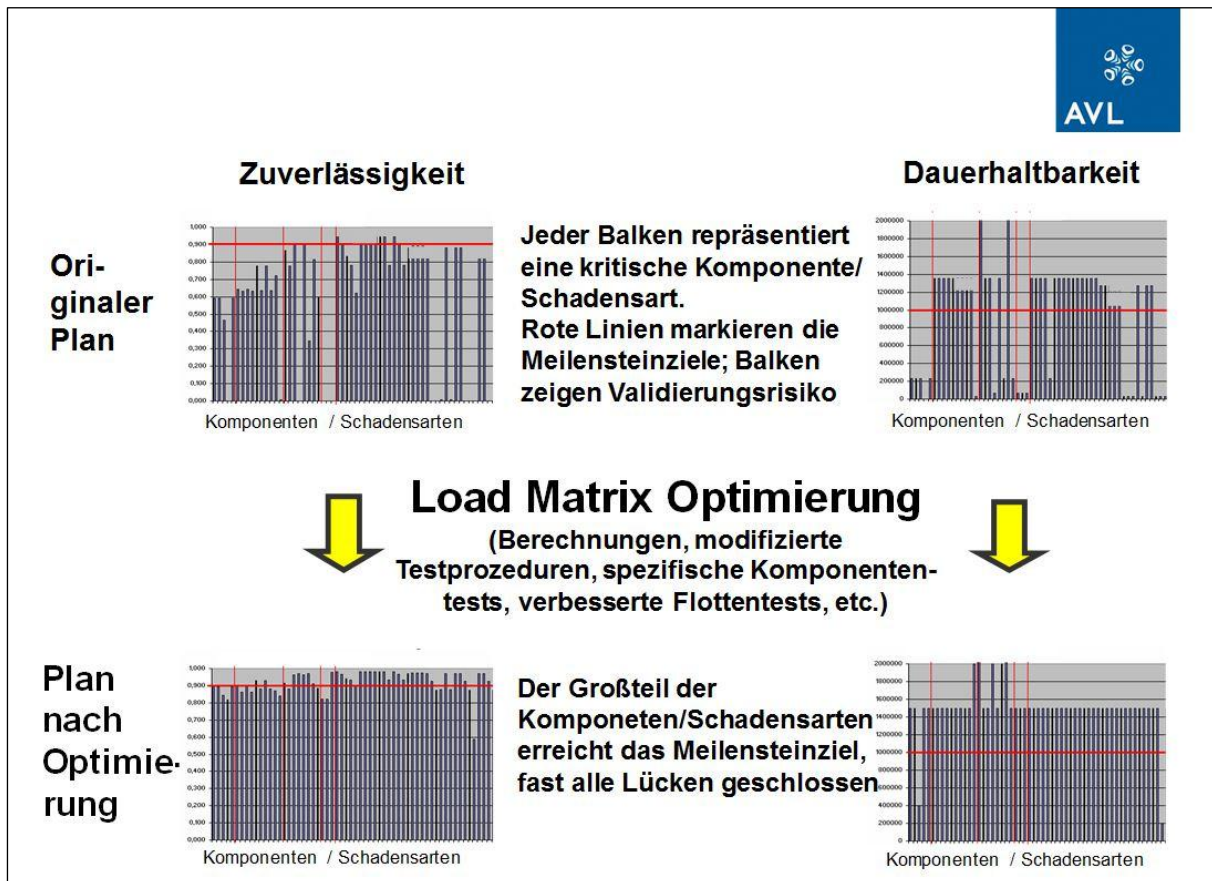


Abbildung 6.2: Optimierung eines Validierungsplans (Beispiel)<sup>105</sup>

<sup>104</sup> Vgl. AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Auswertung und Optimierung(2013), S. 57

<sup>105</sup> AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Auswertung und Optimierung(2013), S. 69



## 7 Schlussfolgerung

Das Ziel der Arbeit war die Ableitung eines Basistestprogrammes für die Dauerlauferprobung von Getrieben, am Beispiel eines Wandlerautomatikgetriebes mit Überbrückungskupplung, mit folgenden Teilaufgaben:

Die Erstellung des Basistestprogrammes wurde in Kapitel 5 beschrieben. Die Definition der dazu erforderlichen Testprozeduren / Testzyklen (vgl. mit Verbrennungsmotortestprozeduren) in Abhängigkeit von den Entwicklungsthemen wurde in Kapitel 5.1 behandelt.

Auf die Definition von Testlängen in Abhängigkeit der Getriebeanwendung wurde in Kapitel 5.2 näher eingegangen.

Die Definition von Testzeitpunkten in Abhängigkeit des Entwicklungsstandes wurde in Kapitel 2.4 erläutert.

FMEA und Load Matrix stellen die Basis für den DVP dar. Dabei ist zu erwähnen, dass die Hauptziele der FMEA die Erfüllung des Lastenheftes, der Load Matrix die Dauerlauferprobung und des DVPs die Zielverfolgung sind.

Durch Anwendung der Load Matrix in zukünftigen Getriebeprojekten in der AVL steht dem Entwickler ein Tool zur Verfügung, welches die Zuverlässigkeit der entwickelten Komponenten im Entwicklungsprozess erhöht. Die AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik, die zur systematischen Ableitung und Bewertung von Dauerlaufprogrammen verwendet wird, ist mit einem Mehraufwand verbunden.

Dem gegenüber steht jedoch eine Vielzahl von nicht von der Hand zuweisenden Vorteilen:

- Entdeckung und Bewertung von kritischen Schadensarten, die zuvor möglicherweise nicht berücksichtigt worden wären.
- Erkennen und Beheben von Schwachstellen im Testprogramm durch eine durchgängige, systematische Vorgehensweise.

- Effiziente Nutzung ohnehin geplanter Tests für möglichst viele Komponenten (zeitgleich).
- Kostenminimierung durch Einsparung nicht erforderlicher Testläufe.
- Besseres Verständnis der Kundenanforderungen hinsichtlich Zuverlässigkeit und Dauerhaltbarkeit.
- Generierung von Know-How bezüglich des Systemverhaltens, welches für die Entwicklung neuer Produkte essenziell ist.
- Zusammenwirken von FMEA und AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> in einen gemeinsamen DVP (Design Validation Plan).

Es werden in Zukunft weitere Getriebetypen (z.B.: manuelles Getriebe, Doppelkupplungsgetriebe,...) mit der AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik analysiert um eine technisch saubere und strukturierte Basisstruktur für zukünftige Getriebeprojekte zu generieren.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Motor / Getriebe.....	3
Abbildung 2.2: Einteilung von Fahrzeuggetrieben .....	4
Abbildung 2.3: 8-Gang-Automatikgetriebe 8HP der ZF Friedrichshafen AG .....	5
Abbildung 2.4: Radsatz des ZF-8HP-Getriebes.....	6
Abbildung 2.5: Querschnitt eines Wandlers.....	7
Abbildung 2.6: Prinzipdarstellung einer Überbrückungskupplung.....	8
Abbildung 2.7: Überbrückungskupplung ausgerückt und geschlossen.....	8
Abbildung 2.8: Zweidimensionale und schematische Darstellung der einfachen Planetenstufe .....	9
Abbildung 2.9: Grafische Ermittlung einer Getriebeübersetzung .....	10
Abbildung 2.10: Grafische Ermittlung der Übersetzung bei Innenverzahnung .....	11
Abbildung 2.11: Drehzahlplan eines Umlaufgetriebes .....	12
Abbildung 2.12: Ravigeaux - Radsatz (a), Lepelletier - Radsatz (b) .....	13
Abbildung 2.13: Stribeck - Kurve .....	14
Abbildung 2.14: Lamellenpaket einer Nasskupplung.....	15
Abbildung 2.15: Gängige Nutung von Reibbelägen.....	16
Abbildung 2.16: Vergleich verschiedener Systeme der Viskositätsklassifikation .....	18
Abbildung 2.17: Ubbelohde - Diagramm: (a) mineralisches Getriebeöl, (b) Getriebeöl auf Poly- $\alpha$ -Oleofinbasis, (c) Getriebeöl auf Polyglykolbasis .....	19
Abbildung 2.18: Viskositätskurve Getriebeöl .....	20
Abbildung 2.19: Parksperre mit radial eingreifender Sperrklinke .....	21
Abbildung 2.20: Kennwerte einer Wöhlerlinie und Abgrenzung der Bereiche der Dauerfestigkeit (D), der Zeitfestigkeit (Z) und der Kurzzeitfestigkeit (K) .....	22
Abbildung 2.21: Typische Ausbildung einer Schwingbruchfläche; A=Anriss, D=Dauerbruch, G=Gewaltbruch .....	23
Abbildung 2.22: Verschleißmechanismus Abrasion.....	25
Abbildung 2.23: Verschleißmechanismus Adhäsion .....	25
Abbildung 2.24: Verschleißmechanismus Reibverschleiß .....	26
Abbildung 2.25: Reibverschleiß einer Reibfläche unter dem REM .....	26
Abbildung 2.26: Kavitationsschaden.....	27
Abbildung 2.27: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Übersicht .....	28
Abbildung 2.28: Vorteile der AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> .....	32
Abbildung 2.29: Arbeitsablauf der AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> .....	33
Abbildung 2.30: Produktumfeld und Entwicklungsablauf .....	34

Abbildung 2.31: Wertschöpfungskette .....	35
Abbildung 2.32: Lebenszyklus eines Produkts .....	36
Abbildung 2.33: Vermeiden von Umsatzeinbrüchen durch kontinuierliche Entwicklung neuer Produkte .....	36
Abbildung 2.34: Badewannenkurve .....	37
Abbildung 2.35: Design- & Validierungsprozess.....	38
Abbildung 2.36: Zuverlässigkeitsprozess .....	39
Abbildung 2.37: Validierungs- und Zuverlässigkeitsmaßnahmen .....	40
Abbildung 3.1: Systemanalyse .....	41
Abbildung 3.2: Automatikgetriebe Systembetrachtung .....	43
Abbildung 3.3: Funktionsstruktur .....	44
Abbildung 3.4: Montagestruktur (Grobstruktur).....	44
Abbildung 3.5: Systemumfang (Auszug) .....	45
Abbildung 3.6: Systemumfang mit AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Methodik .....	46
Abbildung 3.7: Systempriorisierung - Vorgehensweise .....	47
Abbildung 3.8: Systempriorisierung Automatikgetriebe mit Drehmomentwandler ....	48
Abbildung 3.9: Grundstruktur AP - Blatt.....	49
Abbildung 3.10: Antriebswelle .....	52
Abbildung 3.11: Ausfallsart auf Komponentenebene (Häufigkeit).....	66
Abbildung 3.12: Aufteilung der Prioritätsthemen.....	67
Abbildung 3.13: Schädigende Betriebsbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse.....	68
Abbildung 3.14: Randbedingungen basierend auf AP - Blatt Analyse .....	70
Abbildung 4.1: Applikationen und Zielwerte.....	71
Abbildung 4.2: Benötigte Eingangsparameter (Lastdaten auf Gesamtsystem bezogen).....	72
Abbildung 4.3: Ermittlung synthetischer Lastdaten (Lastdaten auf Gesamtsystem bezogen).....	74
Abbildung 4.4: Getriebeeingangs- Drehmoment-/Drehzahlkurve .....	74
Abbildung 5.1: Testprogramm und Belastungsanalyse .....	75
Abbildung 5.2: Testinformationen sortiert nach Hersteller .....	76
Abbildung 5.3: Testinformationen sortiert nach Getriebetyp .....	76
Abbildung 5.4: Testinformationen sortiert nach Testmodus.....	77
Abbildung 5.5.: Fahrzeug- bzw Prüfstandsdauerlauf .....	77
Abbildung 5.6: Erstellung Lastkollektiv .....	79
Abbildung 5.7: Arten von Klassierungen / Prüfprogrammen .....	79
Abbildung 5.8: Klassierung.....	80
Abbildung 5.9: Unterschiedliche Prüfprogramme .....	82

Abbildung 5.10: Stufenprogramm (Gang, Eingangsmoment, Eingangsdrehzahl, Zeit).....	83
Abbildung 5.11: Kennwerte einer Wöhlerlinie und Abgrenzung der Bereiche der Dauerfestigkeit (D), der Zeitfestigkeit (Z) und der Kurzzeitfestigkeit (K) .....	85
Abbildung 5.12: Varianten der Miner Regel.....	86
Abbildung 5.13: High Cycle Fatigue .....	87
Abbildung 5.14: Low cycle fatigue .....	88
Abbildung 6.1: Auswertung und Optimierung .....	89
Abbildung 6.2: Optimierung eines Validierungsplans (Beispiel).....	90

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.1: Zeitplan .....	2
Tabelle 3.1: Erklärung der Spalten des AP-Blattes.....	51
Tabelle 3.2: AP-Blatt-Wellen.....	54
Tabelle 3.3: AP-Blatt-Gehäuse .....	55
Tabelle 3.4: AP-Blatt-Laufverzahnung .....	56
Tabelle 3.5: AP-Blatt-Planetensatz .....	57
Tabelle 3.6: AP-Blatt-Anfahrelement .....	58
Tabelle 3.7: AP-Blatt-Lagerung .....	59
Tabelle 3.8: AP-Blatt-Aktuatorik.....	60
Tabelle 3.9: AP-Blatt-Parkmechanismus .....	61
Tabelle 3.10: AP-Blatt-Schmiersystem(1/2).....	62
Tabelle 3.11: AP-Blatt-Schmiersystem(2/2).....	63
Tabelle 3.12: AP-Blatt-Hydraulik.....	64
Tabelle 3.13: Auswertung schädigender Betriebsbedingungen für Priorität 1 - Fehlermodi .....	69
Tabelle 4.1: Streckenspezifikation .....	73
Tabelle 5.1: Belastungsdatensimulation (gangweise).....	81
Tabelle 5.2: Stufenprogramm (überrollungsbasiert) .....	83

## 10 Abkürzungsverzeichnis

AMT	Automatisierte Schaltgetriebe
AP	Ausfallsart-Parameter
AT	Wandlerautomatik
CVT	Stufenlose Getriebe
DCT	Doppelkupplungsgetriebe
DoE	Design of Experiments / statistische Versuchsplanung
DVP	Design Validation Plan
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
GWK	geregelt Wandlerüberbrückungskupplung
MT	Handschatgetriebe
$M_1$	Antriebsmoment
$M_2$	Abtriebsmoment
NHV	Noise, Vibration, Harshness / Geräusch, Vibration, Rauheit
Nkw	Nutzkraftwagen
$n_1$	Antriebsdrehzahl
$n_2$	Abtriebsdrehzahl
Pkw	Personenkraftwagen
REM	Rasterelektronenmikroskop
RTA	Reliability Target Allocation / Zuverlässigkeit - Zieldefinition
SOP	Start of Production / Start der Produktion

## 11 Literaturverzeichnis

AVL LIST GmbH: Ausschreibung Diplomarbeit, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup>, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - C\_FP, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Process, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - System Analyse, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - System Analyse - AP - Blatt, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Applikationen und Zielwerte, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Testprogramm und Belastungsanalyse, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Load Matrix <sup>TM</sup> - Auswertung und Optimierung, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Strategy Transmission, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Workshop - Reliability Task Tools Transmission, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL - Projektbeschreibung, Graz 2013

AVL LIST GmbH: AVL Homepage: [www.avl.com](http://www.avl.com), Zugriffsdatum 15.04.2013

Niemann, G.; Winter, H.: Maschinenelemente Band 2, 2. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2003



Naunheimer, H.; Bertsche, B.; Lechner, G.: Fahrzeuggetriebe, 2. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2007

Haibach, E.: Betriebsfestigkeit, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2006

Förster, H. J.: Automatische Fahrzeuggetriebe, Berlin/Heidelberg/New York 1991

Fischer, R. et al.: Das Getriebebuch, Wien 2012

Fischer, R.: Fahrzeuggetriebe, Graz 2010

Grote, K.-H.; Feldhusen, J.: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau, 22. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2007

Radaj, D.; Vormwald, M.: Ermüdungsfestigkeit, 3. Auflage, Berlin/Heidelberg/New York 2007

Maisch, M.: Zuverlässigkeitsorientiertes Erprobungskonzept für Nutzfahrzeuggetriebe unter Berücksichtigung von Betriebsdaten, Dissertation, Universität Stuttgart, 2007

Universität Duisburg Essen: Homepage: [www.wiki.tud.uni-due.de](http://www.wiki.tud.uni-due.de), Zugriffsdatum 05.08.2013

Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik GmbH: Homepage: [www.difk.de](http://www.difk.de), Zugriffsdatum 05.08.2013

DIN EN ISO 8044: Korrosion von Metallen und Legierungen - Grundbegriffe und Definition, Berlin 1999

Wikipedia - Die freie Enzyklopädie: Homepage: [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), Zugriffsdatum 15.04.2013