

Diplomarbeit

# Erstellung eines Manöverkatalogs und Entwicklung von objektiven Qualitätskriterien zur Bewertung der Kalibrieraufgaben von hybriden Antriebsträngen als Vorbereitung für die modellbasierte Hybridkalibration

Verfasser  
Wolfgang Greil

Institut für Verbrennungskraftmaschinen und Thermodynamik  
Technische Universität Graz  
Vorstand: Univ.-Prof. DI. Dr. techn. Helmut Eichlseder

Betreuer:  
Ao. Univ-Prof. DI Dr. Stefan Hausberger

Externer Betreuer:  
DI Christoph Zach

Graz, im August 2012

In Kooperation mit:

**AVL List GmbH**



---

## 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 entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am .....

.....

(Unterschrift)

## STATUTORY DECLARATION

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

.....

date

.....

(signature)

## **Vorwort**

Diese Diplomarbeit entstand im Zuge des Projektes zur Entwicklung einer modellbasierten Kalibration für Hybridfahrzeuge in der AVL List GmbH. Ich war im Fachteam für Getriebe- und Hybridkalibration (DST) im Bereich Powertrain Engineering (PTE) tätig. Es wurde neben der Zusammenarbeit mit dem Fachteam für Fahrbarkeit und Simulation (DVD), welche zur Diskussion und Umsetzung der Vorschläge aus Kapitel 6 erforderlich waren, auch Expertenwissen aus dem Fachteam Antriebsstrang und Hybrid Systeme (DSS) verarbeitet. Diese Diplomarbeit entstand im Rahmen meines Studiums Maschinenbau mit Schwerpunkt Verkehrstechnik an der Technischen Universität Graz.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Dipl.-Ing. Gerhard Kokalj, der mir schon neun Monate vor dem Start der Bearbeitung dieser Diplomarbeit die Möglichkeit gegeben hat, durch eine Anstellung als studentischer Mitarbeiter im Fachteam DST, einen Einblick in die Getriebe- und Hybridkalibration zu erlangen. Weiters gilt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Christoph Zach, der mir als Mentor schon während meiner Zeit als studentischer Mitarbeiter im Fachteam DST mit Rat und Tat zur Seite stand, sowie auch die Aufgabe als mein Diplomarbeitsbetreuer übernahm und mir immer wieder Antworten auf meine Fragen geben konnte. Nicht zu vergessen sind auch die Mitarbeiter des Fachteams DST, welche mir jederzeit für Fragen zur Verfügung gestanden haben.

Weiters möchte ich mich bei Herrn Ao. Univ-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Stefan Hausberger für die Betreuung von Seiten der Technischen Universität Graz und die Durchsicht meiner Diplomarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank geht auch an meine Mutter Hannelore Greil, welche mir immer zur Seite stand und mir mein Studium erst ermöglicht hat.

## **Zusammenfassung**

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, für die Verwendung bei der Methodik der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen, eine detaillierte Manöverliste zu entwickeln, welche als Grundlage zur Erstellung eines Test- und Verifikationsplanes dienen soll. Hier muss bedacht werden, dass die Anzahl der möglichen Betriebsmodi und die dadurch zu optimierenden Manöver bei hybriden Antriebssträngen im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug deutlich ansteigen.

Weiters sollten objektive Qualitätskriterien entwickelt werden, mit welchen die Fahrbarkeit eines Hybridfahrzeuges speziell im Hinblick auf Moduswechsel bewertbar gemacht werden kann. Mit diesen Kriterien soll eine Modellbildung der Auswirkungen von Variationen der Steuergeräteparameter und Optimierung der Moduswechsel im Zuge der modellbasierten Kalibration durch das Tool AVL CAMEO<sup>TM</sup> möglich sein. Zur Ermittlung dieser Kriterien wird im Zuge der Methodik der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen, wie auch schon bei dessen Vorgänger, der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe, das auf dem Markt etablierte Tool AVL DRIVE<sup>TM</sup> verwendet. In dieser Diplomarbeit soll die Fragestellung geklärt werden, welche der vorhandenen Qualitätskriterien des Tools AVL DRIVE<sup>TM</sup> zur Modellbildung und Optimierung herangezogen werden können und inwieweit neue Kriterien entwickelt und in AVL DRIVE<sup>TM</sup> implementiert werden müssen.

## **Abstract**

The aim of this diploma thesis is to develop a detailed list of maneuvers for using the methodology of model-based calibration for hybrid vehicles. This list will serve as basis to create test and verification plans. It must be considered that the number of possible operation modes of a hybrid powertrain and therefore the number of maneuvers which have to be optimized are significantly increased in respect to conventional vehicles.

Furthermore, objective quality criteria should be developed, with which the driveability of a hybrid vehicle especially with respect to mode changes can be assessed. These criteria should allow modeling of the consequences of label variations in the control units and optimization of mode changes within the tool AVL CAMEO™. For determination of these criteria in the course of model-based calibration of hybrid vehicles the established tool AVL DRIVE™ will be used, as it was already the case in the methodology of automated calibration for automatic and dual clutch transmissions. This diploma thesis should answer the question which of the existing quality criteria from the tool AVL DRIVE™ can be used for modeling and optimization and which new criteria have to be developed and implemented in AVL DRIVE™.

# Inhalt

<b>FORMELZEICHEN</b> .....	<b>VI</b>
<b>INDIZES</b> .....	<b>VI</b>
<b>ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 ZIELSETZUNG.....	1
1.2 AUFGABENSTELLUNG.....	2
<b>2 GRUNDLAGEN</b> .....	<b>3</b>
2.1 DEFINITION UND EINTEILUNG VON HYBRIDKONZEPTEN (HOFMANN, 2010).....	3
2.2 BETRIEBZUSTÄNDE VON HYBRIDFAHRZEUGEN (HOFMANN, 2010).....	6
<b>3 DIE METHODIK DER AUTOMATISIERTEN KALIBRATION FÜR AUTOMATIK- UND DOPPELKUPPLUNGSGETRIEBE</b> .....	<b>8</b>
3.1 AVL CAMEO™ TRANSMISSION (AVL, 2010).....	8
3.2 AVL DRICON™ (VÖGL, 2010).....	9
3.3 AVL DRIVE™ (AVL, 2011).....	9
3.3.1 Das AVL DRIVE™ Rating.....	10
3.4 DIE METHODIK DER AUTOMATISIERTEN KALIBRATION FÜR AUTOMATIK- UND DOPPELKUPPLUNGSGETRIEBE (BAGOT B., 2008).....	13
<b>4 DIE METHODIK DER MODELLBASIERTEN KALIBRATION FÜR HYBRIDFAHRZEUGE</b> ..	<b>17</b>
4.1 BATTERIEEMULATOR.....	19
4.2 BREMSAKTUATOR.....	19
<b>5 MANÖVERKATALOG FÜR DIE MODELLBASIERTE KALIBRATION VON HYBRIDFAHRZEUGEN</b> .....	<b>21</b>
5.1 GRUNDLAGEN DER MANÖVERLISTE.....	21
5.2 FERTIGSTELLUNG DER MANÖVERLISTE.....	31
<b>6 QUALITÄTSKRITERIEN FÜR AVL DRIVE™</b> .....	<b>37</b>
6.1 ÜBERFÜHRUNG DER MANÖVERLISTE IN BESTEHENDE AVL DRIVE™ BETRIEBZUSTÄNDE.....	40
6.2 OBJEKTIVE BEWERTUNG VON MODUSWECHSELN FÜR DIE MODELLBASIERTE KALIBRATION VON HYBRIDFAHRZEUGEN.....	43
6.2.1 Signalverarbeitung in AVL DRIVE™.....	44
6.2.2 Bewertung durch AVL DRIVE™ Rating.....	48
6.2.3 Möglichkeiten der Moduserkennung.....	51
6.2.4 Unterscheidung in unterschiedliche Hybrid-Fahrmodi.....	53
6.2.5 Bewertung der Moduswechsel durch physikalische Parameter aus AVL DRIVE™.....	56
6.2.6 Beispiel der implementierten Variante zur Moduserkennung in einem Betriebszustand.....	58
6.3 BEISPIEL DER BEWERTUNG EINES MOTORZUSTARTS WÄHREND EINER KONSTANTFAHRT.....	61
<b>7 ERGEBNISSE</b> .....	<b>66</b>
<b>8 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK</b> .....	<b>67</b>
<b>LITERATUR</b> .....	<b>69</b>
<b>ABBILDUNGEN</b> .....	<b>69</b>
<b>TABELLEN</b> .....	<b>70</b>

## Formelzeichen

$a$	Funktion der Motordrehzahl (aus Abbildung 6-11)
$b$	Funktion der Fahrpedalposition (aus Abbildung 6-12)
$r_{\text{dyn}}$	dynamischer Raddurchmesser
$i$	Gesamtübersetzung (Getriebe und Differential)
$F_{\text{W}}$	Fahrwiderstandskräfte (Roll-, Luft- und Steigungswiderstand)
$k_{\text{m}}$	Drehmassenzuschlagsfaktor
$m$	Fahrzeugmasse

## Indizes

EM	Elektromaschine
VKM	Verbrennungskraftmaschine
Fzg	Fahrzeug

## Abkürzungen

ABS	Anti-Blockiersystem
Accel.	Beschleunigungspedal
ACT	Automatisierte Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe
AG	Achsgetriebe
AT	Automatikgetriebe
AVL	Anstalt für Verbrennungskraftmaschinen List GmbH
$a_x$	Längsbeschleunigung
Bat.	Batterie
BP	Bandpassfilter
bp	Bremspedalposition
bspw.	beispielsweise
CAD	computer-aided design
CAN	Controller Area Network
d.h.	das heißt
DCT	Doppelkupplungsgetriebe (dual clutch transmission)
Dipl.-Ing.	Diplom Ingenieur
DMU	AVL DRIVE <sup>TM</sup> Main Unit
DoE	statistische Versuchsplanung (design of experiment)
DR	AVL DRIVE <sup>TM</sup> Rating
DSB	Fachteam Global Battery Competence Team
DSS	Fachteam Antriebsstrang und Hybrid Systeme
DST	Fachteam Getriebe- und Hybridkalibration
DVD	Fachteam Fahrbarkeit und Simulation
ECO	Economic-Modus
ECU	Motorsteuergerät (engine control unit)
EM	Elektromaschine
E-Maschine	Elektromaschine
engl.	englisch
ESP	elektronisches Stabilitätsprogramm
etc.	et cetera
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
HCU	Hybrid-Steuergerät (hybrid control unit)



---

HP	Hochpassfilter
HS23	Hochschaltung vom 2. in den 3. Gang
HS34	Hochschaltung vom 3. in den 4. Gang
HV	Hochvolt
HyHab	Markenname der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen
Hz	Hertz
ICE	Verbrennungskraftmaschine (internal combustion engine)
ID	Identifikationsbezeichnung
ID-DST	Identifikationsbezeichnung aus Fachteam DST
km/h	Kilometer pro Stunde
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
lat.	lateinisch
LP	Tiefpassfilter (low pass)
LPA	Lastpunktanhebung
LPS	Load point shifting
$M_{EM}$	Drehmoment der Elektromaschine
Nm	Newtonmeter
$n_{VKM}$	Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine
o.ä.	oder ähnliches
P2-Hybrid	Parallelhybrid
pp	Pedalposition
PS	Pferdestärke
RMS	quadratischer Mittelwert (root mean square)
RS32	Rückschaltung vom 3. in den 2. Gang
RS43	Rückschaltung vom 4. in den 3. Gang
S-optimal	space filling design
sec	Sekunde
SMO	Glättungsfilter (smooth filter)
SOC	Ladezustand (state of charge)
SOH	Alterungszustand (state of health)
S-optimal	space filling (design)
SQ	Schaltqualität
SUV	sport utility vehicle
TCU	Getriebebesteuerggerät (transmission control unit)
TM	unregistered trademark
U/min	Umdrehungen pro Minute
USB	universal serial bus
VDV	vibration dose value
$v_{Fzg}$	Fahrzeuggeschwindigkeit
VKM	Verbrennungskraftmaschine
WOT	Volllast (wide open throttle)
zB.	zum Beispiel
ZF	Zahnradfabrik (ZF Friedrichshafen AG)

---

# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzung

Die von der AVL List GmbH in Zusammenarbeit mit ZF Friedrichshafen AG entwickelte Methodik der automatisierten Kalibrierung für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe, ACT<sup>TM</sup> (Automated Calibration for Transmission), soll auf hybride Antriebsstränge erweitert werden (genannt HyHab<sup>TM</sup>; hybrid; habitat lat. für Zustand, Umgebung). In Kapitel 3 wird auf die bestehende Methodik ACT<sup>TM</sup> genauer eingegangen, um damit ein Grundverständnis für die Entwicklung der modellbasierten Kalibration der Moduswechsel von Hybridfahrzeugen zu vermitteln.

Eines der Ziele dieser Arbeit ist es, auf Basis bestehender Arbeitsinhalte aus dem AVL Hybridkalibrationsprozess, auf Basis der Erfahrungswerte von Kalibrateuren und mittels Informationen aus Kundenprojekten detaillierte Manöverdefinitionen und Listen zu erstellen, die für hybride Antriebe von Relevanz sind. Im ersten Schritt soll dieses System für die Kalibrierung von parallelen Hybridfahrzeugen weiterentwickelt werden. Im Vergleich zu Standardantriebssträngen steigt bei hybriden Antrieben die Anzahl der möglichen Betriebszustände und Randbedingungen stark an, weil weitere Komponenten mit deren Varianzen einfließen. Dadurch erhöht sich auch die Anzahl der zu optimierenden Manöver. Während bei einem konventionellen Fahrzeug „nur“ die Verbrennungskraftmaschine und das Getriebe kalibriert werden müssen, muss bei hybriden Antriebsstrangkonzepthen noch zusätzlich auf die Trennkupplung, den bzw. die Elektromotor(en) und den Hochvolt-Energiespeicher inklusive Leistungselektronik eingegangen werden.

Somit soll eine Manöverliste erarbeitet werden, welche alle auftretenden Manöver des realen Betriebes eines parallelen Hybridfahrzeuges beinhaltet. Es soll untersucht werden, welche Manöver grundsätzlich möglich sind und welche für die HyHab<sup>TM</sup>-Routine von Interesse sein können (Objektivierbarkeit, Messbarkeit, Vorteile durch Automatisierung und durch die definierten Betriebsbedingungen etc.). Diese Liste soll als Grundlage zur Erstellung eines Testplans für die Software AVL CAMEO<sup>TM</sup> (eine kurze Erläuterung von AVL CAMEO<sup>TM</sup> wird in Kapitel 3.1 geliefert) dienen. Die erarbeiteten Manöver sind dahingehend zu detaillieren, dass die wesentlichen Einflussparameter (Fahrpedal, Fahrpedalprofil, Ladezustand der Hochvolt-Batterie, Temperaturen des elektrischen Systems sowie der Verbrennungskraftmaschine, Geschwindigkeits-/Lastprofil, Gang, Kupplungs- und Schaltzustände, Drehmomentverteilung oder –Überblendung, Parameter des elektrischen Systems etc.) für jedes Manöver beschrieben werden. Zudem soll grob festgehalten werden, inwiefern die Vermessung und Applikation der Manöver durch die modellbasierte Kalibration für Hybridfahrzeuge Vorteile erfahren könnte (autarke Optimierung über HyHab<sup>TM</sup> als maximale Ausprägung, Nutzung der HyHab<sup>TM</sup>-Umgebung um konstante Fahrbedingungen herzustellen als minimale Ausprägung). In Kapitel 5 wird auf den Manöverkatalog noch genauer eingegangen und die Ergebnisse dieser Untersuchungen erklärt.

Die einzelnen Tools der bestehenden ACT<sup>TM</sup>-Methodik werden in Kapitel 3 vorgestellt, wobei Kapitel 3.3 das Tool AVL DRIVE<sup>TM</sup> und das Zustandekommen des AVL DRIVE<sup>TM</sup> Ratings näher beschreibt, da sich ein großer Teil dieser Diplomarbeit mit diesem Tool befassen wird. In Kapitel 4 sollen die für die HyHab<sup>TM</sup>-Methodik im Vergleich zu ACT<sup>TM</sup> neu hinzugekommenen Komponenten der Prüfstandsumgebung erläutert werden und ein Einblick in die modellbasierte Hybridkalibration gegeben werden.

Kapitel 6 widmet sich der Umsetzung der Qualitätskriterien für das Tool AVL DRIVE<sup>TM</sup>. Es soll erläutert werden, welche Kriterien in AVL DRIVE<sup>TM</sup> schon vorhanden sind und wie diese für die neu zu definierenden Qualitätskriterien für hybride Antriebsstränge verwendet werden können bzw. erweitert werden sollten.

## 1.2 Aufgabenstellung

Die zu Beginn der wissenschaftlichen Arbeit definierte Aufgabenstellung wurde in folgende Punkte unterteilt:

- Sichtung der in den verschiedenen Fachteams (zB. Getriebe- und Hybridkalibration (DST), Fahrbarkeit und Simulation (DVD)...) vorhandenen Manöverkataloge, welche hinsichtlich der Fahrbarkeitsoptimierung mittels HyHab<sup>TM</sup> von Interesse sein könnten
- Überführen der vorhandenen Manöverkataloge in eine für HyHab<sup>TM</sup> verwendbare Form und Vervollständigung des Kataloges. Ziel ist es, einen vollständigen Katalog zum Abfahren aller relevanten Manöver für die Kalibration von Hybridfahrzeugen zu erarbeiten
- Bewerten der Manöver nach im Serienbetrieb auftretender Häufigkeit (durch Expertenwissen, Sichtung von repräsentativen Messungen etc.) um damit eine Priorisierung der Manöver in der Manöverliste vorzunehmen
- Untersuchung des Tools AVL DRIVE<sup>TM</sup> hinsichtlich verwendbarer Kriterien zur Bewertung der Auswirkungen von Betriebsmoduswechseln bei Hybridfahrzeugen
- Erarbeiten eines Lastenheftes, welches als Grundlage zur Anpassung von AVL DRIVE<sup>TM</sup> an die Anforderungen der Fahrbarkeitsbewertung von Hybridfahrzeugen dient
- Ermittlung von Qualitätskriterien für AVL DRIVE<sup>TM</sup>, welche die objektive Bewertung von Moduswechseln möglich machen

## 2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen von Hybridfahrzeugen erklärt, welche wesentlich für die Erstellung dieser Arbeit waren. Es soll gezeigt werden, welche unterschiedlichen Hybridkonzepte existieren und wie diese klassifiziert werden können. Die hier gezeigten Erklärungen wurden inhaltlich aus dem Fachbuch Hybridfahrzeuge von Autor Assoc. Prof. Dr. Peter Hofmann (Hofmann, 2010) entnommen.

### 2.1 Definition und Einteilung von Hybridkonzepten (Hofmann, 2010)

Prinzipiell werden drei unterschiedliche Hybridstrukturen unterschieden, bei denen sich die Kombination von Verbrennungsmotor, E-Maschine, Generator, Energiespeicher und Getriebe unterscheiden:

- Serieller Hybridantriebe
- Parallele Hybridantriebe
- Leistungsverzweigte und kombinierte Hybridantriebe (gemischthybride Antriebe)

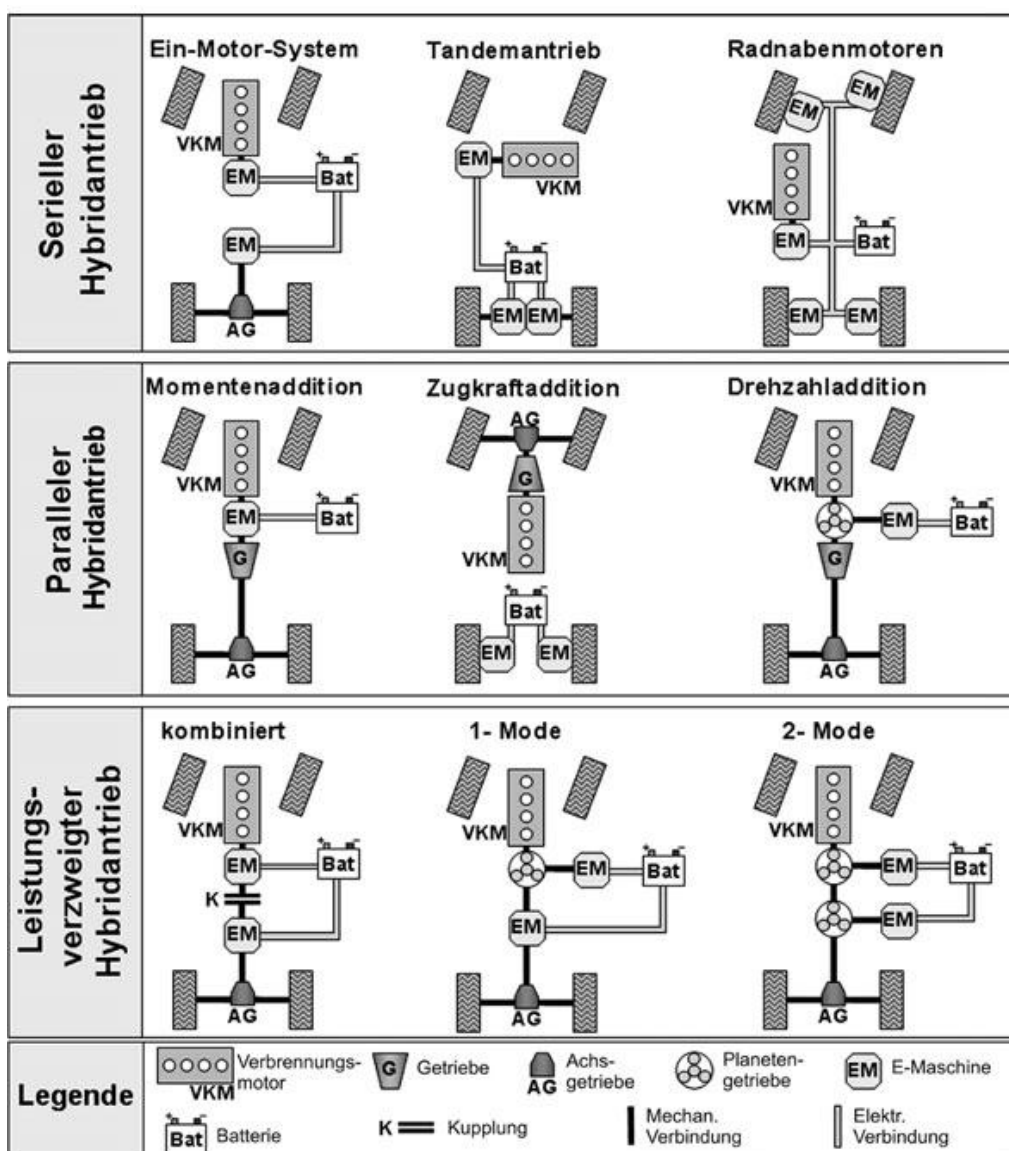
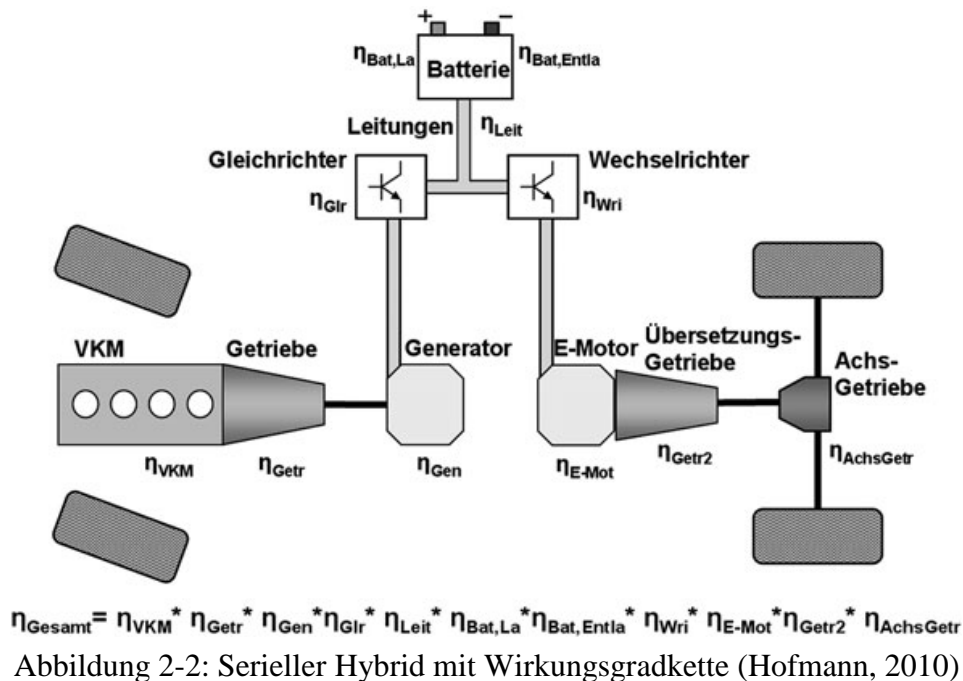


Abbildung 2-1: Strukturen von Hybridantrieben (Hofmann, 2010)

Beim seriellen Hybrid (Abbildung 2-2) besteht keine mechanische Verbindung zwischen dem Verbrennungsmotor und der Antriebsachse. Die Verbindung erfolgt rein elektrisch über zwei Umrichter (oder einen Gleichrichter und einen Umrichter) und dem sogenannten „elektrischen Zwischenkreis“. Der Verbrennungsmotor ist mit einem Generator gekoppelt, der eigentliche Antriebsmotor ist ein Elektromotor.



Beim Parallelhybrid (Abbildung 2-3) besteht ein direkter, mechanischer Durchtrieb vom Verbrennungsmotor bis zum Rad. Der elektrische Kreis kann nach Belieben zu- oder abgeschaltet werden, er ist sozusagen „parallel“. Sind der Verbrennungsmotor und der Elektromotor abkuppelbar, so kann das Fahrzeug rein elektrisch, konventionell oder gemischt betrieben werden. Die abgegebenen Leistungen können mechanisch mittels Drehzahladdition (mit einem Planetengetriebe), Momentenaddition (direkte Kopplung mit Stirnradgetriebe oder Kette) oder Zugkraftaddition (Elektromotor und Verbrennungskraftmaschine wirken auf unterschiedliche Antriebsachsen) überlagert werden. Bei der Momentenaddition lässt sich das Verhältnis der Drehmomente der beiden Energiewandler frei variieren, die Drehzahlen stehen jedoch in einem fixen Verhältnis zueinander. Unterschieden wird in Einwellen- und Zweiwellenhybrid. Beim Einwellenhybrid wirken der Elektromotor und die Verbrennungskraftmaschine auf die gleiche Getriebeeingangswelle. Beim Zweiwellenhybrid sind Elektromotor und Verbrennungskraftmaschine auf unterschiedliche Getriebewellen angekuppelt.

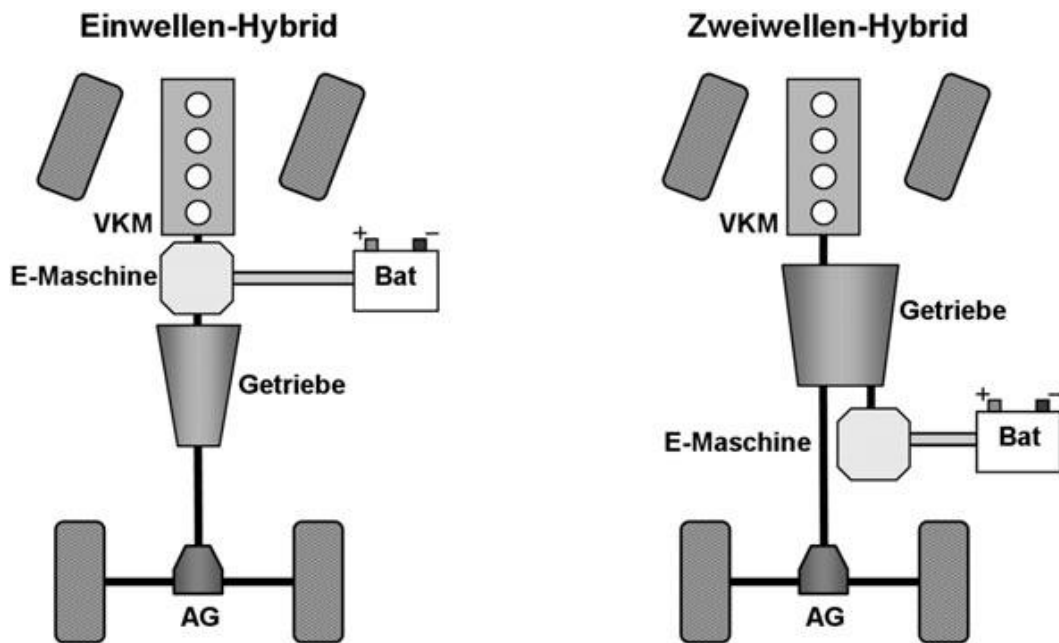


Abbildung 2-3: Einwellen- und Zweiwellen-Parallelhybrid (Hofmann, 2010)

Bei leistungsverzweigten Hybriden (engl. Power Split Hybrid) oder auch „gemischt-hybriden Antrieben“ wird die zu übertragene mechanische Leistung in einen mechanischen und einen elektrischen Pfad aufgeteilt. Hier besteht die Möglichkeit, den Aufwand an mechanischen Getriebekomponenten bei gleichen Fahrleistungen des Fahrzeugs im Vergleich zu Automatik- und automatisierten Schaltgetrieben zu verringern. Einen Sonderfall stellt der kombinierte Hybrid dar. Er kann mit zwei E-Maschinen und einer Kupplung eine serielle und eine parallele Betriebsweise darstellen (Abbildung 2-4):

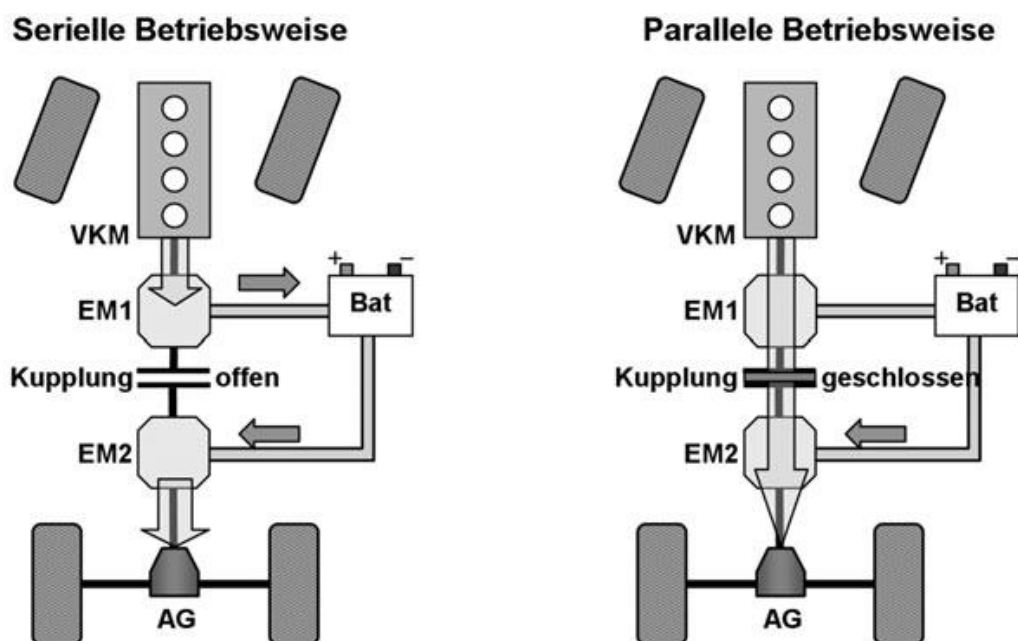


Abbildung 2-4: Kombiniertes Hybridantriebsstrang (Hofmann, 2010)

Eine weitere Einteilung kann nach dem Hybridisierungsgrad erfolgen:

- **Micro-Hybrid:** im Vergleich zu einem konventionellen Fahrzeug weist ein Micro-Hybrid nur geringe Änderungen auf. Der konventionelle Anlasser wird durch einen leistungsfähigeren oder durch einen Riemenstarter/Generator ersetzt. Damit kann ein Start/Stop-System realisiert werden, bei dem bei Stillstand des Fahrzeuges (zB. an einer Ampel oder im Stau) der Verbrennungsmotor abgeschaltet und beim Wiederauffahren ohne zeitliche Verzögerung automatisch wiedergestartet wird. Auch kann teilweise Verzögerungsenergie rekuperiert werden.
- **Mild-Hybrid:** beim Mild-Hybrid sitzt meist die E-Maschine zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe auf der Kurbelwelle. Zusätzlich zum Start/Stop-System und der Rekuperation kann hier die Verbrennungskraftmaschine durch den E-Motor bspw. bei Anfahrvorgängen unterstützt werden (boosten). Es ist auch eine Lastpunktverschiebung möglich.
- **Full-Hybrid:** können wahlweise rein elektrisch oder nur mit dem Verbrennungsmotor aber auch kombiniert betrieben werden. Im Vergleich zu Mild-Hybridfahrzeugen sind eine zusätzliche Kupplung (Trennkupplung), welche das Abkuppeln der Verbrennungskraftmaschine vom Antriebsstrang beim rein elektrischen Betrieb erlaubt, sowie eine oder mehrere E-Maschinen mit höherer elektrischer Leistung notwendig.
- **Plug-In-Hybrid:** ist ein Hybridfahrzeug, dessen Batterie auch über das Stromnetz geladen werden kann. Ein Plug-In-Hybridfahrzeug verbindet die Vorteile von Batteriefahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmaschine.

## 2.2 Betriebszustände von Hybridfahrzeugen (Hofmann, 2010)

Durch das Vorhandensein von jeweils zwei Energiespeichern und Energiewandlern im Hybridfahrzeug können im Betrieb mehr Freiheitsgrade abgebildet werden. Dies bedeutet zum einen eine freie Wahl der Verwendung der verfügbaren Energiequellen (elektrische, verbrennungsmotorische oder eine Kombination von beiden) sowie auch die Möglichkeit, mechanische in elektrische Energie umzuwandeln sowie auch die Speicherung der elektrischen Energie.

Folgende Betriebszustände (Betriebsmodi) sind bei parallelen und leistungsverzweigten Hybridkonzepten grundsätzlich möglich:

Im Stillstand:

- Motor aus – Start/Stop: Das Fahrzeug befindet sich im Stillstand und alle Antriebsaggregate sind abgeschaltet.
- Lastpunktanhebung (LPA) im Stillstand: Bei stehendem Fahrzeug treibt der Verbrennungsmotor die E-Maschine zur Stromerzeugung an.

**Beim Fahren:**

- Rekuperation (regeneratives Bremsen): Rückwandlung von kinetischer Energie des Fahrzeuges beim Verzögern. Dabei wird die E-Maschine generatorisch betrieben und damit elektrischer Strom zum Laden der Batterie erzeugt.
- Lastpunktanhebung (LPA) bei Fahrt: Die vom Verbrennungsmotor erzeugte mechanische Energie wird sowohl zum Antrieb des Fahrzeugs als auch zur Stromerzeugung über die E-Maschine eingesetzt.
- Elektrisches Fahren mit Sonderfall „Segeln“: Der Antrieb erfolgt bei stehendem Verbrennungsmotor nur über die E-Maschine. Beim Segeln wird auch über die E-Maschine kein Moment aufgebracht, d. h., das Fahrzeug rollt ohne Antriebsenergie.
- Boosten: Dabei unterstützt die E-Maschine den Verbrennungsmotor beim Antrieb.
- Reiner VKM-Betrieb: Der Antrieb erfolgt ausschließlich über den Verbrennungsmotor



### 3 Die Methodik der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe

Dieses Kapitel soll zunächst die Tools, welche in der schon bestehenden Methodik der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe Anwendung finden, erklären. Während AVL CAMEO™ Transmission (Kapitel 3.1) und AVL DRICON™ (Kapitel 3.2) nur in gekürzter Form zum Verständnis dieser Diplomarbeit erläutert werden, wird auf AVL DRIVE™ in Kapitel 3.3 genauer eingegangen, da sich ein großer Teil dieses Werkes mit diesem Tool beschäftigen wird. In Kapitel 3.4 soll anschließend das Zusammenarbeiten der einzelnen, in diesem Kapitel vorgestellten Tools als Methodik der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe ACT™ erläutert werden.

#### 3.1 AVL CAMEO™ Transmission (AVL, 2010)

AVL CAMEO™ Transmission ist ein Tool, welches alle Funktionalitäten zur Optimierung der Schaltqualität von automatisierten Getrieben bietet, wie die Projektverwaltung über die Testvorbereitung und Versuchsplanung, sowie Durchführung, bis hin zu Auswertungen, wie die Bildung globaler Modelle, Optimierung und Kennfeldberechnung für die Getriebeelektronik. Abbildung 3-1 zeigt den Arbeitsablauf von AVL CAMEO™. Die Funktion von AVL CAMEO™ innerhalb der Methodik der automatisierten Kalibration von Automatik- und Doppelkupplungsgetrieben wird später in diesem Kapitel unter Punkt 3.4 behandelt.

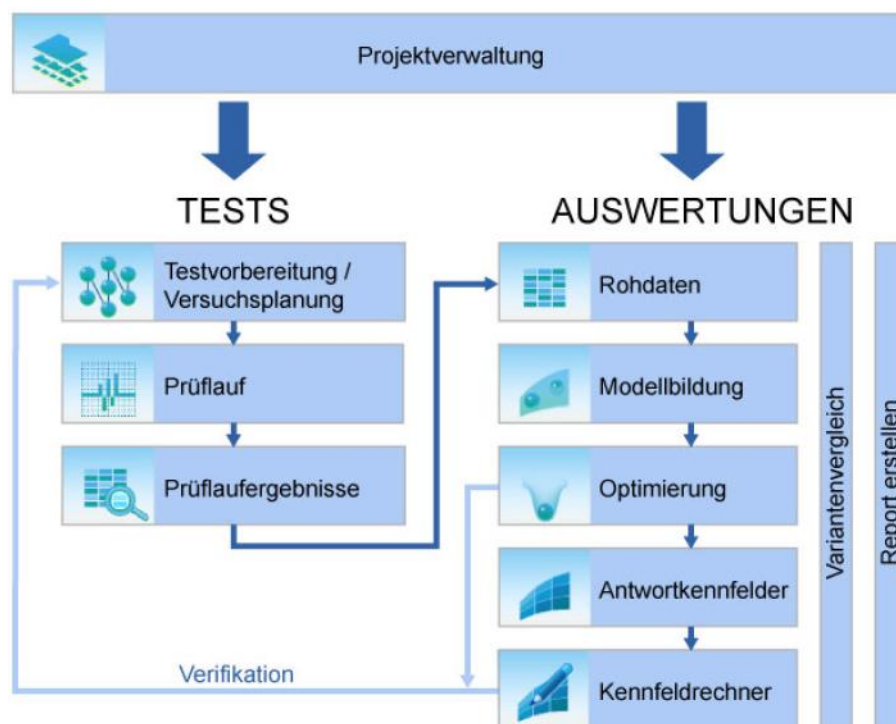


Abbildung 3-1: Workflow von AVL CAMEO™ (AVL, 2010)

### 3.2 AVL DRICON™ (Vögl, 2010)

Das Tool AVL DRICON™ (Kurzform für Driver Controller) dient zur Automatisierung von Fahrzeugtests auf dem Rollen- und Antriebsstrangprüfstand, sowie auf der Teststrecke. Es verwendet die Drive-by-wire-Technik des Fahrzeuges, Fahrpedal sowie die Schaltwippen von automatisierten Getrieben, um das Fahrzeug ähnlich einem Fahrer zu bedienen. Prüfstand und Fahrzeug werden von AVL DRICON™ nur mit elektrischen Signalen der Sensoren für Fahrpedal und Schaltwippen gesteuert, welche zu den entsprechenden Steuergeräten (ECU, TCU...) gesendet werden. Mit AVL DRICON™ ist es auch möglich, Fahrzyklen vollkommen automatisiert abzufahren. Es werden zusätzlich Daten vom CAN-Bus ermittelt, um den aktuellen Betriebszustand des Fahrzeuges erfassen zu können.

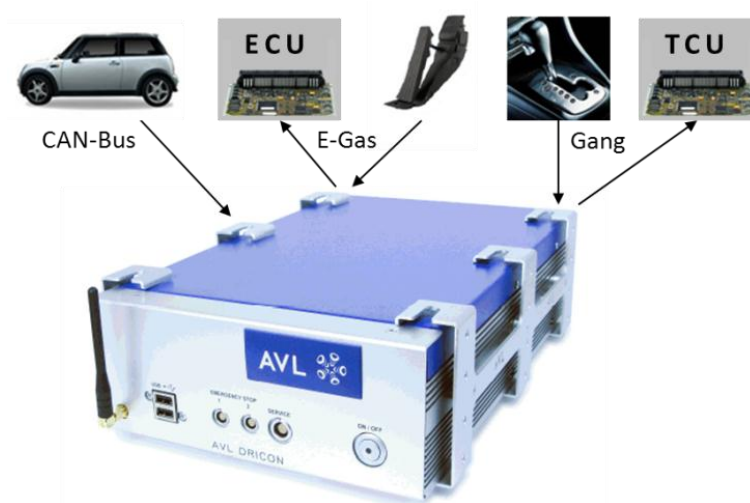


Abbildung 3-2: Schematische Verkabelung von AVL DRICON™ (Vögl, 2010)

### 3.3 AVL DRIVE™ (AVL, 2011)

Das AVL DRIVE™-Messsystem ist für die objektive Beurteilung und Qualitätskontrolle von Fahrbarkeit in Echtzeit basierend auf der Empfindung des Fahrers konzipiert. Die Auswertungen und Formeln von AVL DRIVE™ wurden entwickelt, um eine objektive Beurteilung der subjektiven Wahrnehmung des Fahrers zu ermöglichen. Die Erfahrungen, welche aus internen und externen Fahrzeugbenchmarks sowie Fahrbarkeits-Entwicklungsprojekten erworben wurden und werden, fließen laufend in die Weiterentwicklung der AVL DRIVE™-Software ein. Das System erfasst diverse fahrbarkeitsrelevante Sensor- und CAN-Bus-Signale, wie beispielsweise die Fahrzeuglängsbeschleunigung, Motordrehzahl, Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrpedalposition, Vibrationen etc. Diese Eingangsgrößen werden von der sogenannten AVL DRIVE™ Main Unit (DMU) gesammelt und an die AVL DRIVE™-Software für die weitere Verarbeitung und Analyse weitergegeben. Abbildung 3-3 zeigt das Messsystem AVL DRIVE™ und die Positionierung der Sensoren im Fahrzeug.

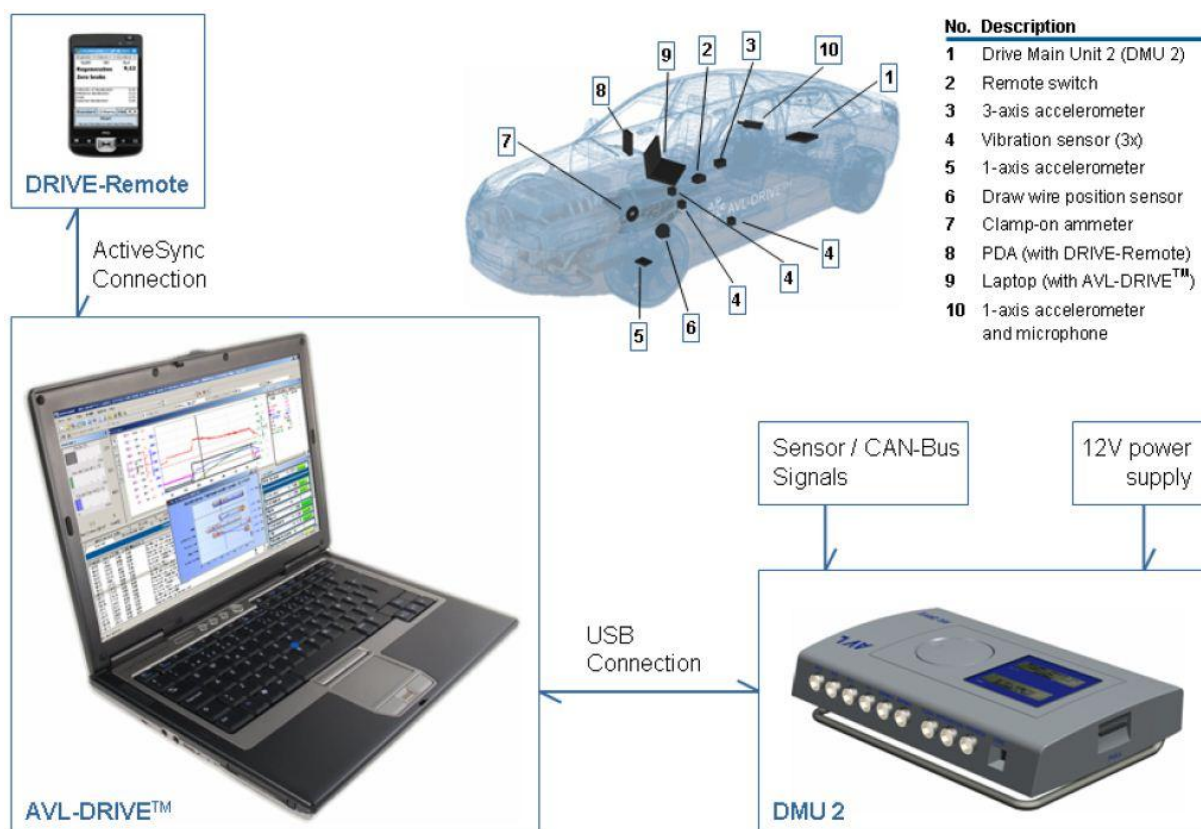


Abbildung 3-3: AVL DRIVE™ Messsystem und Sensorpositionierung (AVL, 2011)

### 3.3.1 Das AVL DRIVE™ Rating

AVL DRIVE™ bewertet die Fahrbarkeit auf Kriterienlevel, basierend auf gemessenen und berechneten Parameterwerten und teilt diese in Noten von 1 – 10, dem sogenannten AVL DRIVE™ Rating (DR), nach Tabelle 3-1 ein:

Tabelle 3-1: AVL DRIVE™ Rating (AVL, 2011)

DR	Bewertung	Beschreibung
9 – 10	Exzellent	Die Fahrbarkeit übersteigt die Erwartungen aller Kunden
8 – 9	Gut	Die Fahrbarkeit erfüllt die Erwartungen aller Kunden
7 – 8	Befriedigend	Die Fahrbarkeit erfüllt die Erwartungen der meisten Kunden
6 – 7	Akzeptabel	Fahrbarkeit am Basislevel, erfüllt Erwartungen der meisten Kunden nicht
5 – 6	Schlecht	Einige Kunden beschwerten sich über die Fahrbarkeit
4 – 5	Inakzeptabel	Die meisten Kunden beschwerten sich über die Fahrbarkeit
3 – 4	Unbrauchbar	Alle Kunden beschwerten sich über das Fahren des Fahrzeuges
2 – 3	Unsicherer Betrieb	Eingeschränkter oder unsicherer Betrieb des Fahrzeuges
1 – 2	Kein Betrieb	Fahrzeug nicht funktionsfähig

Die Fahrbarkeitsbewertung auf höheren Levels (Unterbetriebszustände, Hauptbetriebszustände und Gesamtfahrbarkeitsindex = AVL DRIVE™ Rating Index, siehe Abbildung 3-4) wird unter Berücksichtigung von Gewichtungsfaktoren auf Kriterien- und Operationslevel berechnet. Für diesen Zweck wird ein Gewichtungsbaum (Abbildung 3-4) für jede Fahrzeugklasse bzw. für jeden Fahrzeugtyp und Getriebeart definiert.

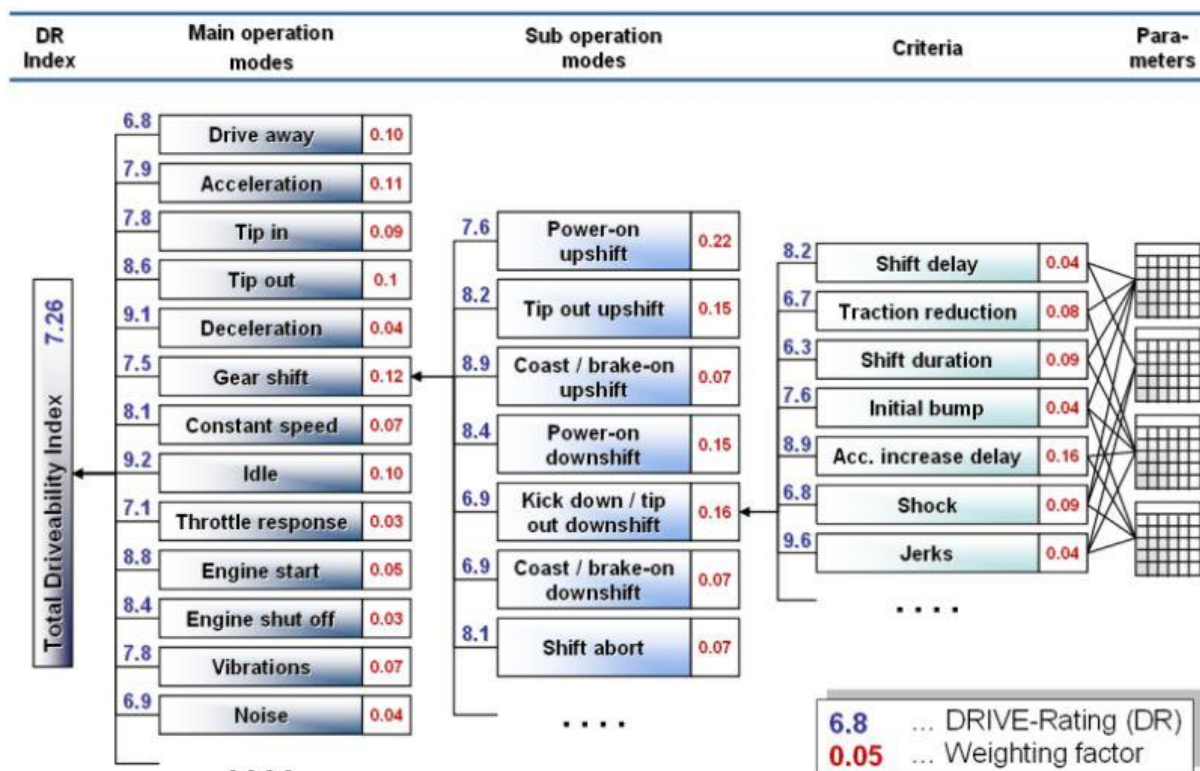


Abbildung 3-4: Gewichtungsfaktoren im Gewichtungsbaum (AVL, 2011)

Aus den gemessenen Signalen im Fahrbetrieb (Längsbeschleunigung, Motordrehzahl, Fahrzeuggeschwindigkeit, Fahrpedalposition, Vibrationen etc.) werden sogenannte Parameter berechnet. Parameter sind physikalische Größen (wie zB. Amplituden oder Gradienten des Beschleunigungssignales, Zeitdauern, Drehzahlen bzw. Änderungen einer Drehzahl pro Zeit etc.). Diese finden sich in den unterschiedlichen Kriterien wieder, bei welchen nach dem Sammeln und Bewerten dieser Parameter ein Rating erstellt wird. Vershen mit einem Gewichtungsfaktor gehen diese Kriterien in die jeweiligen Unterbetriebszustände (Sub operation modes) ein. Auch diese Unterbetriebszustände werden mit Gewichtungen versehen, und führen zu einem Rating auf Hauptbetriebszustandsebene. Auch hier findet wieder eine Gewichtung statt, mit der die Ratings der Hauptbetriebszustände zu einem Gesamtfahrbarkeits-Index zusammengesetzt werden, welcher die Bewertung der Gesamtfahrbarkeit eines Fahrzeuges widerspiegelt.

Um die oben beschriebene Herangehensweise zur Bewertung der Fahrbarkeit deutlich zu machen, soll folgend ein Beispiel für den in Abbildung 3-4 dargestellten Ablauf beschrieben werden.

Wie schon erwähnt, berechnet AVL DRIVE<sup>TM</sup> ausgehend von gemessenen Signalen (von Sensoren, CAN-Bus) Parameter aus physikalischen Größen. Abbildung 3-5 zeigt einen Einzelschlag (ax kick) bei einer Hochschaltung. Dieser Parameter Einzelschlag (ax kick) wird nach der Detektion des Einkuppelpunktes gemessen. Der Parameter Einzelschlag und dessen Dauer fließen unter Berücksichtigung von Parametern wie Beschleunigungslevel nach der Gangschaltung, dem aktuellen Gang, der Drehzahl, der Pedalstellung etc. mit einer jeweiligen Gewichtung in das Kriterium Einzelschlag ein. Dieses Kriterium Einzelschlag fließt wieder mit anderen Kriterien und mit deren jeweiliger Gewichtung in das Rating auf Unterbetriebsebene für Zug-Hochschaltung (Power-on upshift) ein.

Die Unterbetriebszustände Zug-Hochschaltung (Power-on upshift), Schub-Hochschaltung (Coast / brake-on upshift), Zug-Rückschaltung (Power-on downshift), Schub-Rückschaltung (Coast / brake-on downshift) werden ebenfalls gewichtet und ergeben ein Rating für den Hauptbetriebszustand Gangschaltung (Gear shift). Der Hauptbetriebszustand Gangschaltung wird, wie auch andere Hauptbetriebszustände, wie beispielsweise Beschleunigung, Konstantgeschwindigkeit, Verzögerung, Motorstart und -stopp, sowie Bewertungen der Hauptbetriebszustände positiver und negativer Lastwechsel sowie einigen anderen mit einem Gewichtungsfaktoren versehen und führt so zu einem Gesamtfahrbarkeitsindex (AVL DRIVE<sup>TM</sup> Rating Index) des jeweiligen Fahrzeuges.

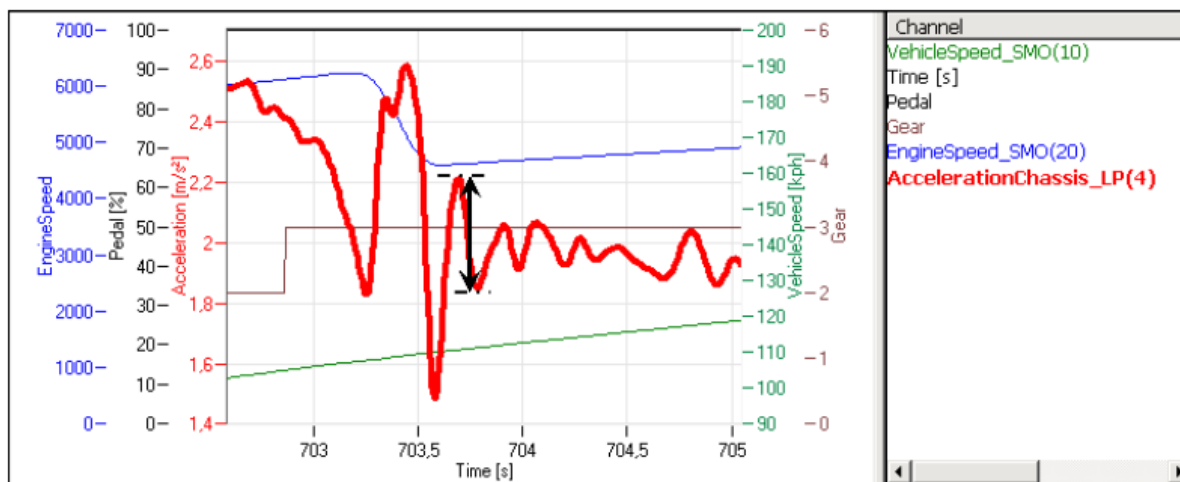


Abbildung 3-5: Darstellung des Parameters „Einzelschlag“ bei einer Zug-Hochschaltung (AVL, 2011)

### 3.4 Die Methodik der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe (Bagot B., 2008)

Die schon bestehende Methodik der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe ACT™ beinhaltet eine Rollenprüfstands-umgebung, eine Fahrautomatisierung (Driver Controller AVL DRICON™, Kapitel 3.2), Toolset zur statistischen Versuchsplanung (AVL CAMEO™ DoE, angepasst für die ACT™-Umgebung, Kapitel 3.1), eine objektive Beurteilung der Schaltqualität durch AVL DRIVE™ (vergleiche dazu Kapitel 3.3) auf Basis der Fahrzeuglängsbeschleunigung bzw. des am Prüfstand aus dem Signal einer Kraftmessdose ermittelten Längsbeschleunigungswertes, Drehzahl- und Drehmomentinformationen, automatisiertes Abfahren der Versuche inklusive Variation der Parameter in den Steuergeräten (TCU, ECU), Modellbildung und Optimierung unter definierten Randbedingungen. Abbildung 3-6 und Abbildung 3-7 zeigen den schematischen Aufbau von ACT™ am Rollenprüfstand bzw. am Antriebsstrangprüfstand.

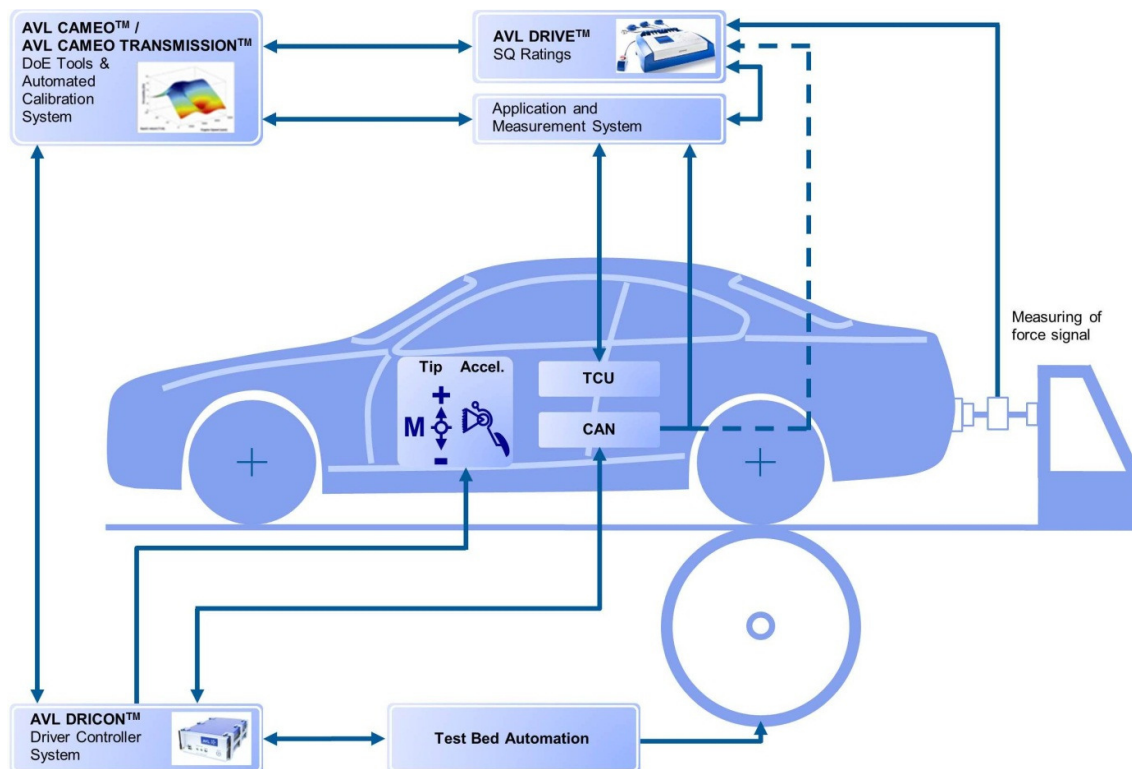


Abbildung 3-6: Aufbau von ACT™ am Rollenprüfstand

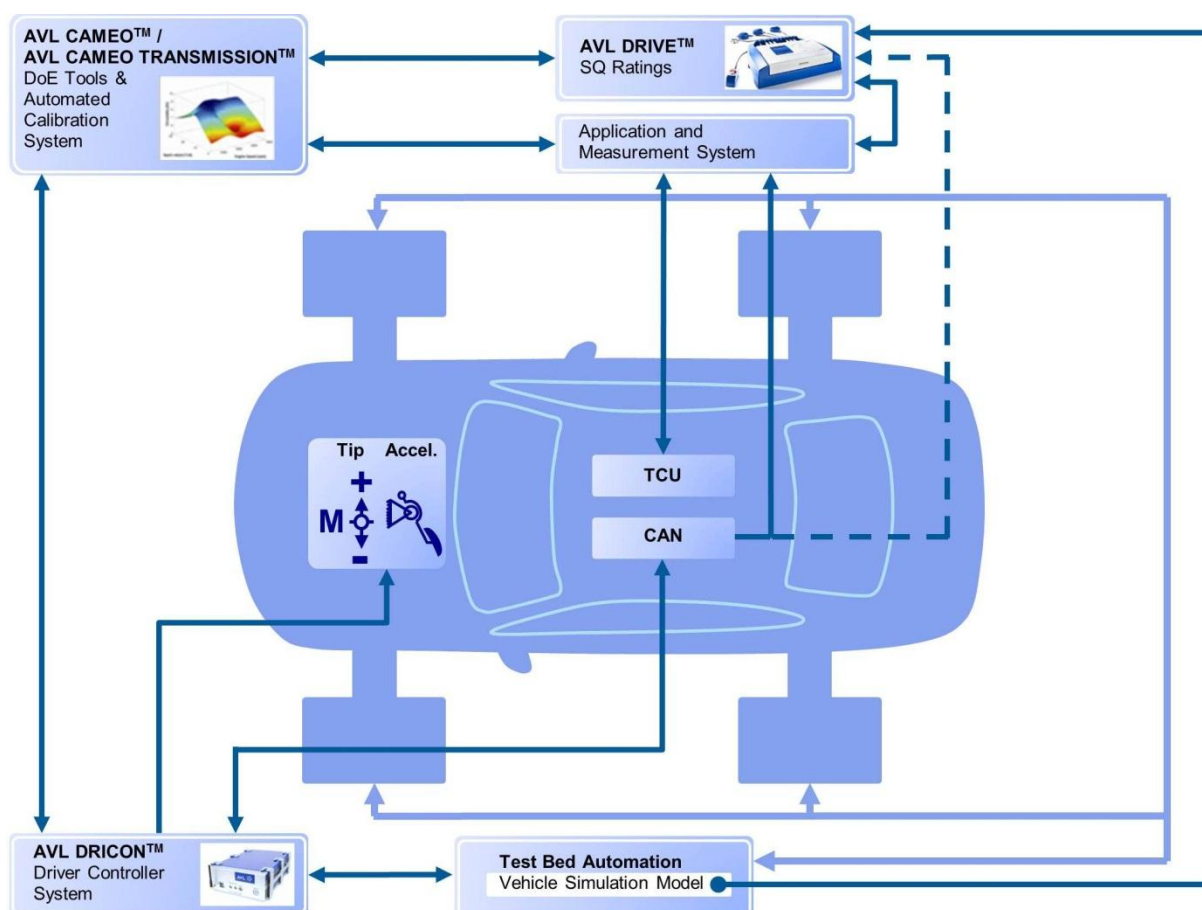


Abbildung 3-7: Aufbau von ACT™ am Antriebsstrangprüfstand

Abbildung 3-8 zeigt den Ablauf des Kalibrationsprozesses für Schaltqualitätskalibrierung für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe mit ACT™. Die folgende Erläuterung dieses Ablaufes basiert im Wesentlichen auf dem Artikel der Automobiltechnischen Zeitschrift „Modellbasierte Methodik zu automatisierten Schaltqualitätsoptimierung von Automatikgetrieben“ (Bagot B., 2008).

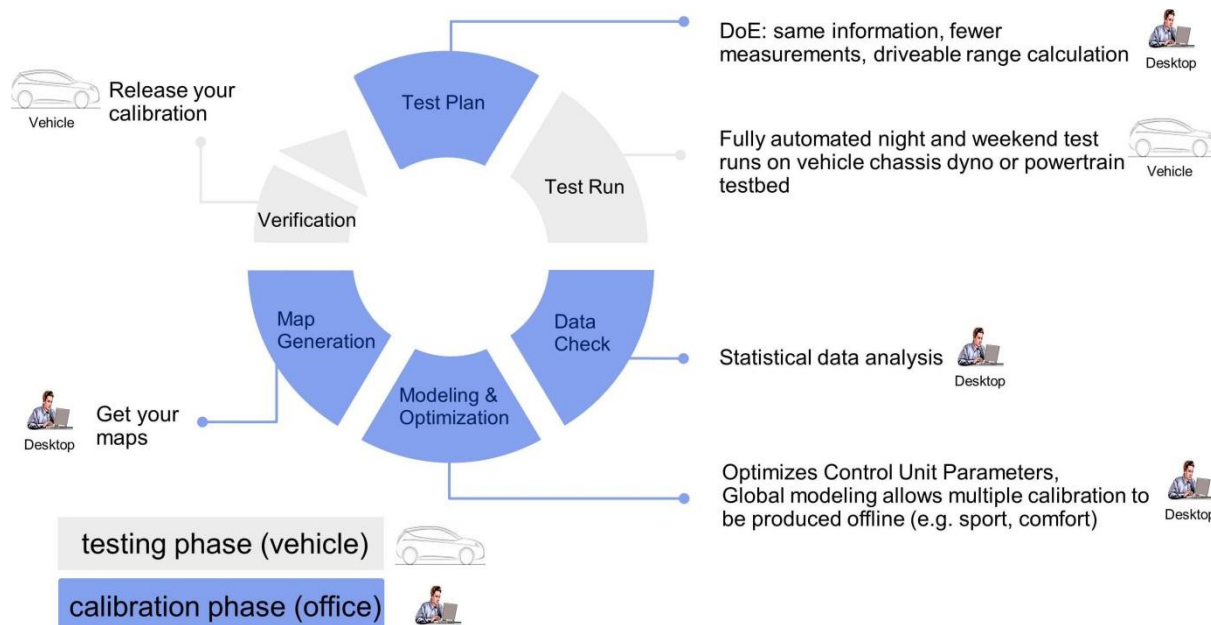


Abbildung 3-8: Kalibrationsprozess mit ACT™

Der Kalibrationsprozess startet mit der Erstellung eines Versuchplanes im Büro. In diesem Schritt werden Daten (z.B.: Motormomentenkennfeld, Getriebedaten...) für ein sogenanntes Fahrzeugbeschleunigungsmodell in das Tool AVL CAMEO™ Transmission eingegeben. Mit Hilfe dieses Modells ist es möglich, den gesamten fahrbaren Bereich für alle Schaltungsarten (bspw. eine Hochschaltung vom zweiten in den dritten Gang, welche mit oder auch ohne Laständerung erfolgt) zu berechnen. Fahrbarer Bereich bedeutet hier, dass beispielsweise eine Rückschaltung nicht bei einer Drehzahl ausgelöst wird, deren Zieldrehzahl über der maximalen Motordrehzahl liegt. Die Auswahl der Betriebspunkte und der Parametervariationen in diesen Betriebspunkten erfolgt durch einen zweistufigen, S-optimalen DoE-Plan, welcher von AVL CAMEO™ automatisch erstellt wird.

Für die Verstellbereiche der TCU-Labels können Begrenzungen (Minimum, Maximum) in Form von Kennfeldern oder Kennlinien eingegeben werden. Der letzte Schritt ist die Versuchsaufbereitung. Die daraus erstellten Schaltungen in den jeweiligen Betriebspunkten mit den entsprechenden Parametersätzen werden automatisch in eine geeignete Reihenfolge gebracht. Beispielsweise eine Schaltreihenfolge HS23 – HS34 – RS43 – RS32 (HS23 bezeichnet eine Hochschaltung vom zweiten in den dritten Gang, RS32 eine Rückschaltung vom dritten in den zweiten Gang). Zusätzlich erfolgt die Sortierung so, dass geringe Fahrzeuggeschwindigkeitsdifferenzen aufeinander folgender Schaltungen bevorzugt werden und getriebeschonende Schaltreihenfolgen entstehen. Der nächste Schritt ist die Versuchsdurchführung am Prüfstand. Mit diesem Konzept wird, im Gegensatz zu halbautomatisierten Tests auf der Straße, im Schnitt alle 10 – 12 Sekunden eine Schaltung durchgeführt. Zeitlich limitierende Faktoren sind hauptsächlich Getriebe- und Motortemperatur. Die Ansteuerung aller Systeme erfolgt dabei durch AVL CAMEO™. Während des Anfahrens des jeweiligen Betriebspunktes werden die variierten Werte der



---

TCU-Labels über das Applikationssystem an das Getriebesteuergerät gesendet. Die objektive Bewertung der Schaltungen erfolgt durch AVL DRIVE<sup>TM</sup>. Alle berechneten Bewertungen und Parameter werden online an AVL CAMEO<sup>TM</sup> übermittelt. Nach Abschluss des Versuchlaufes werden die Datensätze auf Plausibilität überprüft.

Der nun folgende Schritt ist die Modellierung und Optimierung. Die gemessenen Schaltungen werden automatisch rücsortiert und in die entsprechenden Schaltungsarten getrennt. Für die folgende Optimierung werden im Wesentlichen globale Modelle der Ratings für Schaltkomfort und -spontaneität, Schalt- und Verzögerungszeiten und „Flare“ (Motordrehzahlüberhöhung). Mittels dieser Modelle können Optimierungen hinsichtlich unterschiedlicher Kriterien durchgeführt werden wie beispielsweise eine Maximierung des Komfortratings unter Einhaltung einer gegebenen Schalt- und Schaltverzögerungszeit.

In der aktuellen AVL CAMEO<sup>TM</sup>-Version ist es mittlerweile möglich, eine multikriterielle Optimierung durchzuführen. Dies bedeutet, dass zwei Optimierungsziele angegeben werden können. Das Ergebnis ist eine Pareto-Front. Durch unterschiedliche Werte der Nebenbedingungen können ohne weiteren Messaufwand und damit ohne (kostenintensive) Zeit am Rollenprüfstand alle Varianten von sehr sportlich bis sehr komfortabel erstellt werden. Mit globalen Modellen können im Gegensatz zu einzelnen lokalen Betriebspunktmodellen Optimierungen mit einer dichten Abdeckung des Betriebsbereiches auch an eventuell kritischen Rändern und direkt auf einem Kennfeldraaster durchgeführt werden. Anschließend werden aus den Optimierungsergebnissen mit einem Kennfeldrechner optimierte Kennfeld-Kennlinien-Sätze und Wertesätze erstellt und in einem letzten Schritt in die TCU geladen. Die Optimierungsvarianten werden mittels eines Verifikations-Testplans auf der Straße bzw. Teststrecke überprüft.

## 4 Die Methodik der modellbasierten Kalibration für Hybridfahrzeuge

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass sich diese Diplomarbeit auf die Methodik der automatisierten Kalibration von parallelen-Hybridfahrzeugen (speziell P2-Hybridfahrzeugen) bezieht. Aufgrund der teilweise doch unterschiedlichen Bezeichnungen der Hybrid-Topologien von unterschiedlichen Hersteller soll Abbildung 4-1 zeigen, was in diesem Werk unter P2-Hybrid verstanden werden soll. Diese Abbildung bezieht sich auf das zur Verfügung gestellte Testfahrzeug, einen Porsche Cayenne S Hybrid, dessen Aufbau in Kapitel 6 noch genauer erläutert werden wird.

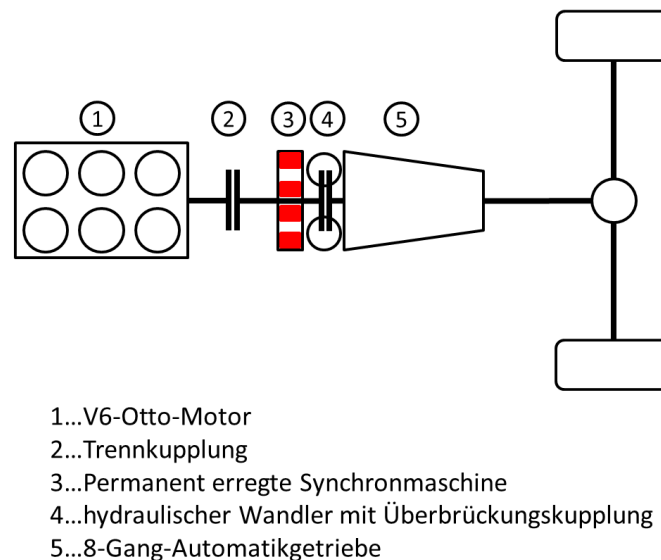


Abbildung 4-1: P2-Hybridtopologie eines Porsche Cayenne S Hybrid

Abbildung 4-2 zeigt den Aufbau der modellbasierten Kalibration für Hybridfahrzeuge am Rollenprüfstand, Abbildung 4-3 zeigt diesen Aufbau am Antriebsstrangprüfstand. Deutlich zu sehen ist die Ähnlichkeit zu Abbildung 3-6, welche diesen Aufbau für die automatisierte Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe zeigt. Bei hybriden Antriebssträngen kommen zu den in Kapitel 3 beschriebenen Tools der ACT<sup>TM</sup>-Umgebung noch ein Batterieemulator und ein Bremsaktuator (Brake Pedal Actuator) hinzu, welche in Kapitel 4.1 sowie 4.2 erläutert werden, sowie Anpassungen bzw. Änderungen aller schon bei ACT<sup>TM</sup> verwendeten Tools, um diese auf die Verwendung bei einem hybriden Antriebsstrang zu erweitern.

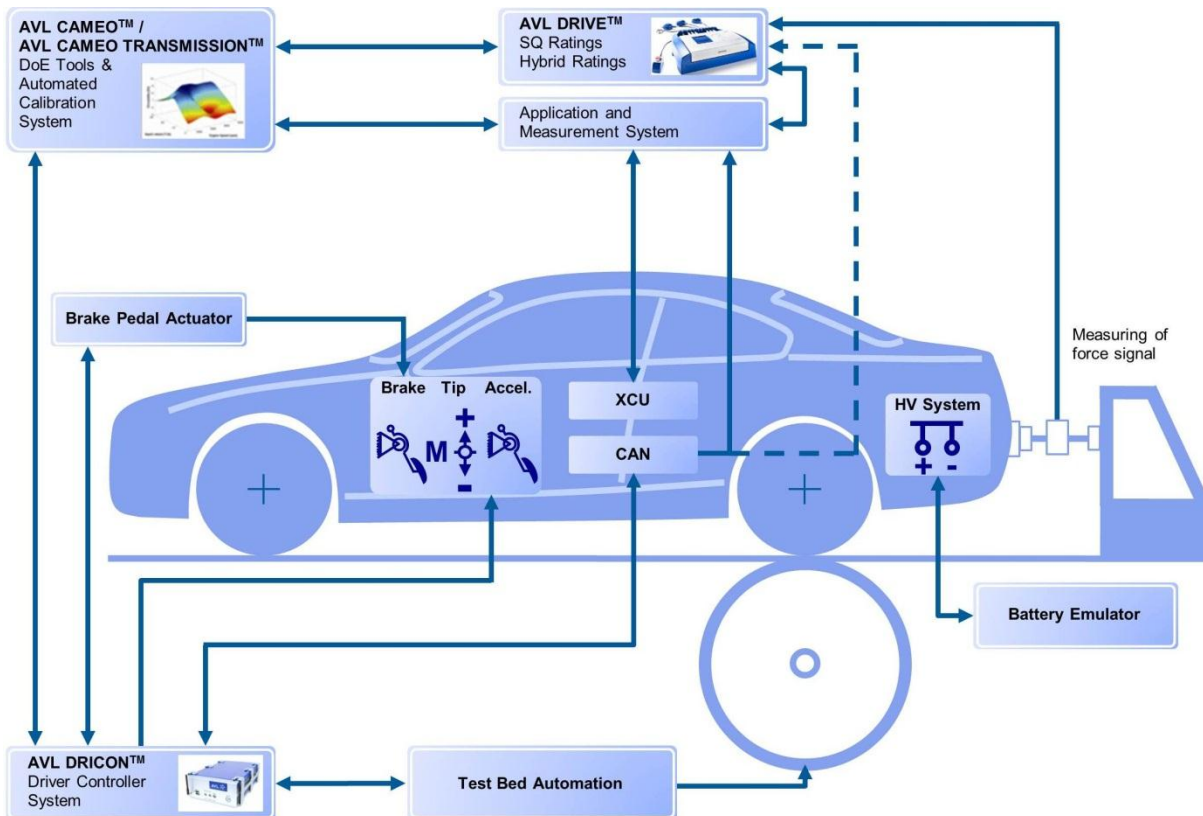


Abbildung 4-2: Aufbau von HyHab™ am Rollenprüfstand

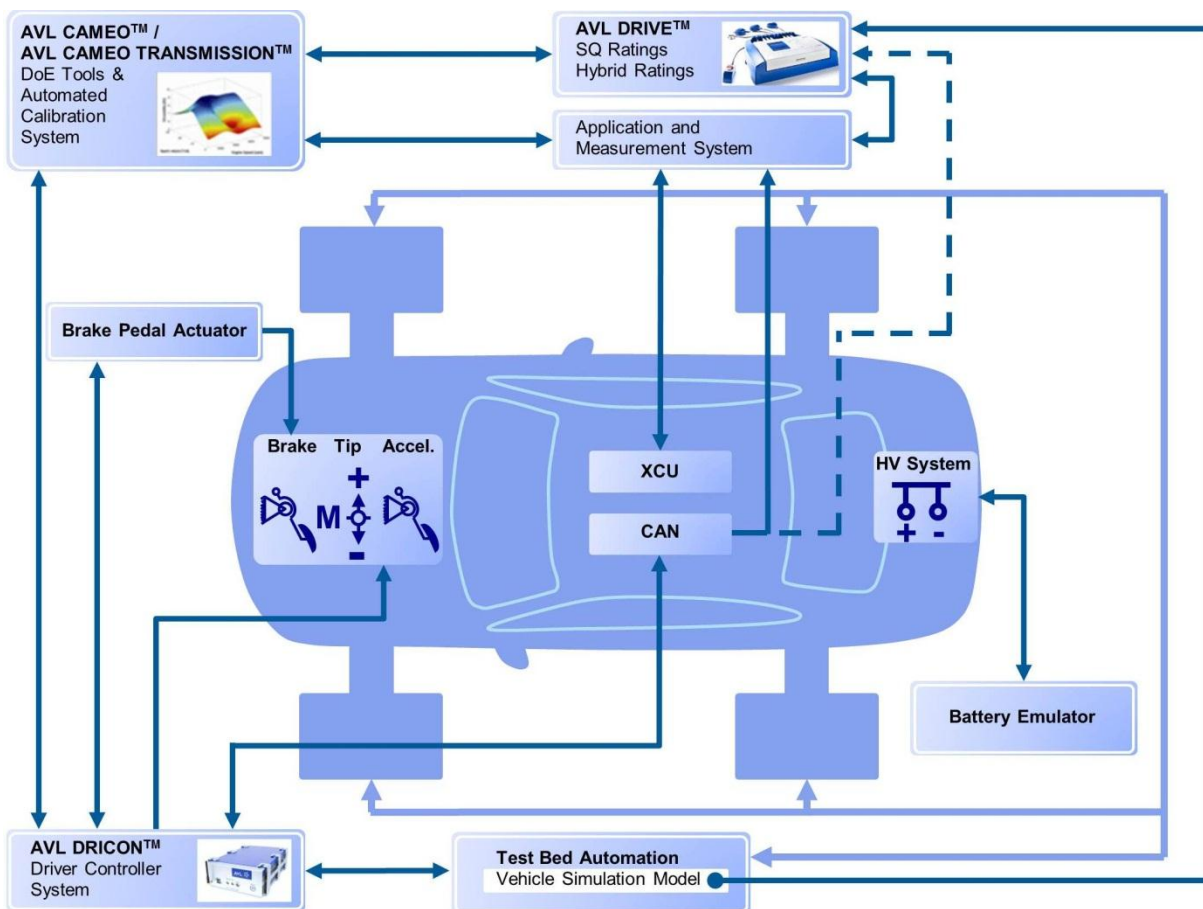


Abbildung 4-3: Aufbau von HyHab™ am Antriebsstrangprüfstand

## 4.1 Batterieemulator

Mithilfe des Batterieemulators können am Prüfstand unterschiedliche Ladezustände der Hochvolt-Batterie schnell dargestellt werden, ohne eine oft lange Lade- oder Entladezeit in Kauf nehmen zu müssen. Der Alterungszustand der Batterie lässt sich damit ebenfalls in die Kalibration mit einbeziehen, was ohne einen solchen Emulator in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht durchführbar wäre. Auch sich ändernde Temperaturen des Energiespeichers können abgebildet werden, was im Betrieb zu unterschiedlichen Verhalten des Antriebsstranges führen kann, da beispielsweise aufgrund von zu hohen Temperaturen der Batterie nicht mehr der selbe Strom entnommen werden kann, wie dies im Falle eines Betriebes bei optimaler Temperatur möglich wäre. In diesem Fall kann es zu einer Verringerung des Drehmomentes, welches vom Elektromotor geliefert wird, kommen. Das heißt durch unterschiedliche Zustände der Batterie und des elektrischen Systems kann es zu einer Änderung der Betriebsstrategie kommen.



Abbildung 4-4: Batterieemulator

## 4.2 Bremsaktuator

Aufgrund der bei hybridisierten Antriebssträngen hinzukommenden Möglichkeit, die bei konventionellen Fahrzeugen verlorene, weil in Wärme umgewandelte, kinetische Energie beim Verzögern zu nutzen bzw. rückzuwandeln, in dem diese mit der als Generator betriebenen E-Maschine in die Batterie gespeist wird, ist es aus Kalibrationssicht nicht mehr ausreichend, nur zwischen betätigter und unbetätigter Bremse zu unterscheiden. Vielmehr muss auch die Intensität der Bremsung und der damit verbundene Leistungseintrag in den Energiespeicher betrachtet werden. Die E-Maschine, welche die Bremsung durchführt (bei moderaten Bremsungen) bzw. bei schärferen Bremsmanövern die Betriebsbremse unterstützen kann, soll das Bremsmoment möglichst so aufbauen, dass es für den Lenker reproduzierbar und im Vergleich zu einer Betriebsbremse nicht ungewohnt aufgebracht wird. Auch muss

beim automatisierten Abfahren des neuen europäischen Fahrzykluses eine Bremsung mittels Bremspedal erfolgen, damit Rekuperation und auch die Start/Stop-Funktionalität (schon bei Micro-Hybriden) in den Testlauf und die damit verbundene Aussage über Treibstoffverbrauch und Emissionsausstoß einfließen kann. Abbildung 4-5 zeigt den Aufbau des Bremsaktuators im Fußraum des Fahrzeuges anhand eines CAD-Modells. Die Funktion des Bremsaktuators soll hier kurz erklärt werden. Der Linearmotor baut ein magnetisches Feld auf, wodurch die Magnetstange, an deren vorderen Ende eine Klemme zur Befestigung am Bremspedal angebracht ist, bewegt werden kann. Somit kann eine Kraft auf das Bremspedal aufgebracht werden, deren Größe je nach gewünschter Bremswirkung einstellbar bzw. regelbar ist. Angesteuert wird der Bremsaktuator durch das Tool AVL DRICON™.

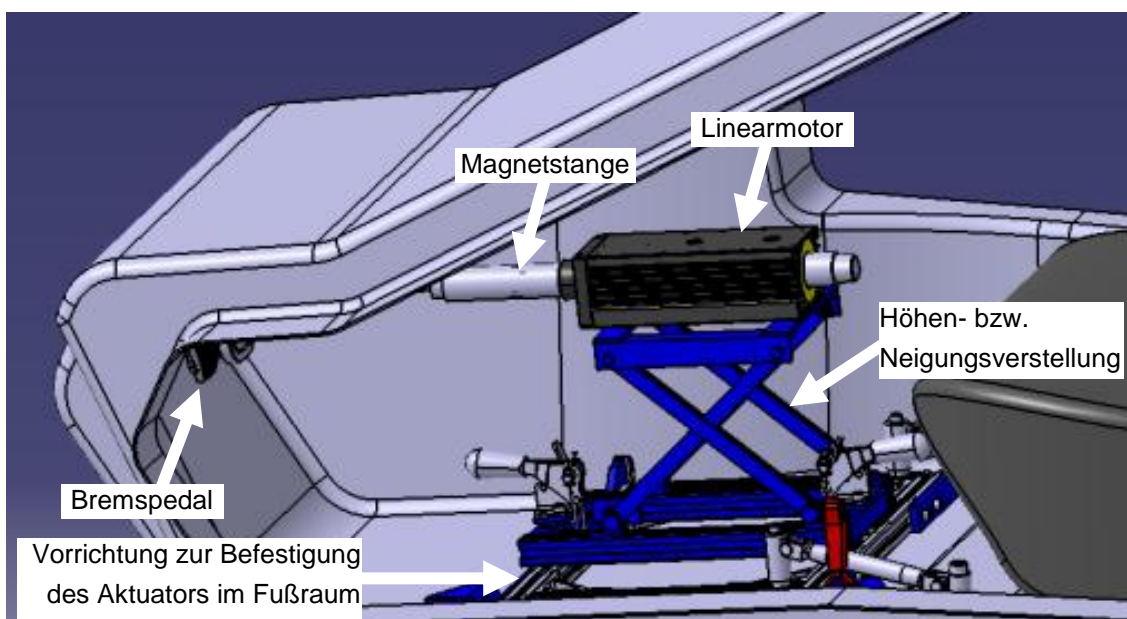


Abbildung 4-5: Bremsaktuator

## 5 Manöverkatalog für die modellbasierte Kalibration von Hybridfahrzeugen

Dem Start der Umsetzung der modellbasierten Hybridkalibration ging die Fragestellung voraus, welche Manöver bei einem Hybridfahrzeug im realen Betrieb auftreten können.

Deshalb war zu ermitteln, welche Betriebsarten im realen Betrieb eines Fahrzeuges vorkommen und welche davon in eine wiederum andere Betriebsart durch einen Moduswechsel übergeführt werden können. Kapitel 5.1 soll zeigen, welche Überlegungen dem Erstellen dieser Liste vorausgingen, ehe im Kapitel 5.2 die endgültige Manöverliste erläutert wird.

### 5.1 Grundlagen der Manöverliste

Ausgehend von fünf Hauptbetriebsarten, welche auch bei konventionellen Antriebsstrangkonfigurationen auftreten, wurden diese auf mögliche Betriebsarten von hybriden Antriebssträngen erweitert.

Bei konventionellen Antriebssträngen kommen folgende Betriebsarten vor (es sei darauf hingewiesen, dass die Beschreibung dieser Fahrzustände bzw. deren Benennung sich von Hersteller zu Hersteller unterscheiden können. Auch deren Anzahl und genaue Bedeutung kann bei unterschiedlichen Herstellern zu der hier genannten Auflistung abweichen):

- Anfahren bzw. Wiederanfahren: Launch
- Kriechen: Creep
- Normaler Fahrbetrieb: Static driving
- Schubbetrieb bzw. Segeln: Coast
- Fahrzeugstillstand: Stand still

Später in diesem Kapitel, werden die Bedeutungen dieser Betriebszustände noch genauer spezifiziert. Folgend werden in den Aufzählungen die englischen Bezeichnungen verwendet. Aufgrund der bei Hybridfahrzeugen hinzukommenden elektrischen Komponenten müssen diese fünf Betriebsarten noch weiter unterteilt werden.

Hybridfahrzeuge ermöglichen aufgrund des möglichen generatorischen Einsatzes der elektrischen Maschine(n) eine Rückwandlung der kinetischen Energie des Fahrzeuges bei der Fahrzeugverzögerung (Fischer R., 2012). Somit muss auch eine Unterscheidung in mechanisches Bremsen und das Verzögern per E-Motor (Rekuperieren) getroffen werden. Dies wird in der vorliegenden Manöverliste jedoch unter derselben Betriebsart, nämlich „Coast“ geführt. Die Entscheidung, ob mittels des E-Motors verzögert werden kann oder ob die Betriebsbremse eingesetzt werden muss, wird durch die Betriebsstrategie gefällt. Bei der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen wird in erster Linie davon ausgegangen, dass sinnvollerweise schon eine Basis der Betriebsstrategie für das Fahrzeug besteht und gegebenenfalls nur angepasst und verifiziert werden muss. HyHab<sup>TM</sup> kann und wird

hinsichtlich der Betriebsmoduswechselkalibration eingesetzt werden, ist jedoch nicht für eine Erarbeitung einer noch nicht vorhandenen Betriebsstrategie gedacht.

In der Manöverliste ergibt sich bei allen Bremsungen (unter dem Event „braking“) als Zielmodus „Coast“, da davon ausgegangen wird, dass bei einer Betätigung des Bremspedals das Fahrpedal gelöst ist und sich das Fahrzeug somit, wenn auch nur für kurze Zeit, im Schubtrieb befindet. Eine Unterscheidung, ob konventionell (mechanisch) gebremst oder per elektrischer Maschine kinetische Energie rekuperiert wird, kann aus der zusätzlichen Bezeichnung des Zielmodus herausgelesen werden. „Coast ICE“ durch Event „braking“ ausgelöst, beschreibt eine Bremsung, bei der die elektrische Maschine nicht im Einsatz ist (dreht leer mit) und somit nicht zur Bremsung beiträgt. Folglich kann dies nur mechanisches Bremsen bedeuten. Im Gegensatz dazu bezeichnet „Coast EM“ hervorgerufen durch Event „braking“ ein durch den Fahrer per Bremspedal gewünschtes Verzögern, bei welchem die Elektromaschine als Generator betrieben wird und somit die kinetische Energie des Fahrzeuges in elektrische Energie umgewandelt wird. Zu beachten gilt es aber auch, dass die Leistungsaufnahme des Energiespeichers und –wandlers begrenzt ist. Übersteigt die vom Fahrer angeforderte Bremsleistung jene, welche das elektrische System aufnehmen kann, so muss zusätzlich die Betriebsbremse zum Einsatz kommen. Diesem Fall wird in der Manöverliste damit Rechnung getragen, dass die Position des Bremspedals bei der Ausgangsbetriebsart (Initialmodus) beschrieben wird, und zwar ob dieses schon vor dem Event „braking“ durch den Fahrer betätigt war. Dies wäre der Fall, wenn zB. beim Bergabfahren das Bremspedal durch den Fahrer leicht betätigt ist. Die Leistung der E-Maschine reicht aus, um das vom Fahrer gewünschte Bremsmoment aufzunehmen. Vor einer Kurve könnte der Fahrzeuglenker dazu gezwungen sein, die Bremsung soweit zu verstärken, dass das elektrische System des Hybridfahrzeuges diese Bremsleistung nicht mehr aufnehmen kann und somit die konventionelle (Reib-)Bremsen zusätzlich eingreifen muss.

Wie schon oben beschrieben, müssen die fünf Betriebsarten aufgrund der hinzugekommenen elektrischen Komponenten und der dadurch möglichen Kombinationen aus reinem VKM-Betrieb, rein elektrischen Betrieb und dem gemischten Betrieb weiter unterteilt werden. Somit steigen die möglichen Fahrzustände auf dreizehn an. Die Abkürzungen hinter den oben genannten englischen Bezeichnungen weisen darauf hin, dass die Betriebsart entweder durch reinen Betrieb der Verbrennungskraftmaschine (ICE), elektrischen Betrieb durch den Elektromotor (EM) bzw. eine Kombination von VKM und Elektromotor (both) dargestellt werden können:

- Launch ICE
- Launch EM
- Launch both
- Creep ICE
- Creep EM

- 
- Creep both
  - Static driving ICE
  - Static driving EM
  - Static driving both
  - Coast ICE
  - Coast EM
  - Coast both
  - Stand still

Weiters muss in Betracht gezogen werden, dass der Elektromotor nicht nur motorisch (d.h. dieser gibt positives Drehmoment zum Antreiben des Fahrzeuges ab, Energie wird aus der Batterie entnommen) sondern auch generatorisch (der Elektromotor nimmt Moment auf, Energie wird in die Batterie gespeist) eingesetzt werden kann. Deshalb werden die beiden Betriebsarten, bei denen die Verbrennungskraftmaschine sowie die elektrische(n) Maschine(n) im Einsatz sind und auch das Fahrpedal betätigt ist, also „Launch both“ und „Static driving both“, nochmals in „boost“ und „load point shifting“ unterteilt. Die daraus hervorgehenden Betriebsarten bzw. Modi wurden folgend benannt.

- Launch both (boost)
- Launch both (load point shifting)
- Static driving both (boost)
- Static driving both (load point shifting)

Während „boost“ diejenige Betriebsart beschreibt, bei der der Elektromotor den Verbrennungsmotor unterstützt (der Elektromotor trägt zur Konstantfahrt bzw. Beschleunigung des Fahrzeuges bei, liefert also ein positives Moment) und somit Energie aus der Batterie entnommen wird, wird in der Betriebsart „load point shifting“ (Lastpunktverschiebung) die E-Maschine als Generator eingesetzt, also im Bereich negativen Momentes, und erzeugt somit Strom zum Laden der Hochvolt-Batterie bzw. zum Versorgen des Bordnetzes. Bei der Lastpunktverschiebung (siehe Abbildung 5-1) wird die Verbrennungskraftmaschine in einem Bereich von geringem spezifischen Kraftstoffverbrauch betrieben, welcher sich in der Regel nahe der Vollastlinie befindet. Das bedeutet, dass der Betriebspunkt des Verbrennungsmotors entlang der Leistungshyperbel in einen Kennfeldbereich höherer Last verschoben wird (Fischer R., 2012). Hier muss jedoch angemerkt werden, dass eine Lastpunktverschiebung nur dann sinnvoll ist, wenn die Verluste des elektrischen Systems (Wirkungsgrad des Elektromotors, der elektrischen Leitungen, des Gleichrichters und des Batterieladewirkungsgrades) den Vorteil des günstigeren Wirkungsgradbereiches, in dem der Verbrennungsmotor betrieben werden kann, nicht wettmachen.



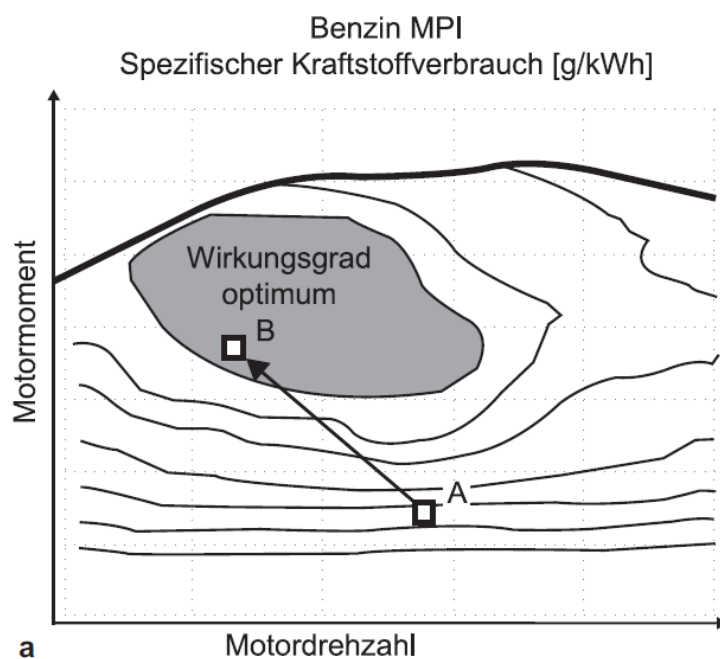


Abbildung 5-1: Lastpunktverschiebung (Fischer R., 2012)

Berücksichtigt man diese Unterscheidung, so ergeben sich insgesamt 15 mögliche Betriebsarten, auf welchen die zu erarbeitende Manöverliste basiert:

- **Launch ICE:** bezeichnet ein Anfahren bzw. Wiederanfahren nur mit der Verbrennungskraftmaschine (internal combustion engine). Ein Anfahrerelement (Kupplung, hydraulischer Wandler) muss deshalb vorhanden sein und in diesem Modus betätigt werden (DCT: schlupfende Kupplung, AT: Wandlerüberbrückungskupplung offen), da der Verbrennungsmotor sonst in einem Drehzahlbereich betrieben werden müsste, der ein Absterben zur Folge hätte.
- **Launch EM:** bezeichnet ein Anfahren bzw. Wiederanfahren nur mit dem Elektromotor. Aufgrund des beim Elektromotor schon bei Drehzahl Null anliegenden hohen Drehmomentes kann ein Anfahrerelement, wie es beim Verbrennungsmotor nötig ist entfallen bzw. muss nicht benutzt werden.
- **Launch both (boost):** bezeichnet ein Anfahren bzw. Wiederanfahren, wobei der Elektromotor die Verbrennungskraftmaschine unterstützt (der Elektromotor liefert positives Moment). Auch hier muss ein Anfahrerelement vorhanden und betätigt sein, um ein Absterben der Verbrennungskraftmaschine zu verhindern.
- **Launch both (load point shifting):** bezeichnet ein Anfahren bzw. Wiederanfahren, während dem der Elektromotor Drehmoment aufnimmt, somit als Generator betrieben wird und Energie wird in den Hochvoltspeicher einbringt. Ein Anfahrerelement muss auch hier ein Absterben des Verbrennungsmotors verhindern.
- **Creep ICE:** bezeichnet ein Kriechen nur mit Verbrennungskraftmaschine. Kriechen bedeutet, dass bei gelöster Bremse und nicht betätigten Fahrpedal das Fahrzeug maximal mit einer im sogenannten Kriechregler festgelegten Geschwindigkeit (meist 5 – 8 km/h) fährt (bspw. für Fahrten im Stau etc.). Ähnlich wie beim Modus Launch

---

muss ein Anfahrerelement betätigt werden, damit der Verbrennungsmotor aufgrund zu geringer Drehzahl nicht abstirbt.

- **Creep EM:** bezeichnet ein Kriechen nur mittels Elektromotor. Ähnlich wie beim rein elektrischen Launch kann auch hier die Betätigung eines Anfahrerelementes entfallen.
- **Creep both:** bezeichnet ein Kriechen, wobei die Verbrennungskraftmaschine in einem höheren Lastpunkt betrieben wird, als für diesen Betriebszustand erforderlich ist. Das überschüssige Moment wird zum generatorischen Betrieb der E-Maschine genutzt und somit die HV-Batterie geladen. Der Hauptunterschied zwischen dem Modus Launch und Creep ist, dass beim Launch das Fahrpedal vom Fahrer betätigt wird, beim Kriechen jedoch nicht. Beide Betriebszustände dienen unter Anderem zum Anfahren.
- **Static driving ICE:** die Betriebsart „Static driving“ bezeichnet hier ein Betreiben des Fahrzeuges mit betätigtem Gaspedal. Das Kürzel „ICE“ weist auf einen reinen Betrieb mit dem Verbrennungsmotor hin. Im Unterschied zum Modus Anfahren/Wiederanfahren ist hier eine etwaig vorhandene Anfahrkupplung bzw. die Wandlerüberbrückungskupplung geschlossen (Ausnahme: unter Umständen kann im ersten und/oder zweiten Gang die Wandlerüberbrückungskupplung geöffnet bleiben).
- **Static driving EM:** dieser Betriebsmodus ist derselbe wie der vorherig beschriebene, nur mit dem Unterschied, dass die Verbrennungskraftmaschine abgestellt ist und das Moment für den Antrieb des Fahrzeuges rein von der elektrischen Maschine zur Verfügung gestellt wird.
- **Static driving both (boost):** während diesem Modus unterstützt der Elektromotor die Verbrennungskraftmaschine beim Antreiben des Fahrzeuges. Die elektrische Maschine liefert positives Drehmoment, Energie wird aus dem Hochvoltspeicher entnommen.
- **Static driving both (load point shifting):** während diesem Modus liefert die Verbrennungskraftmaschine mehr Drehmoment als vom Fahrer per Fahrpedal angefordert wird. Dieses Mehrmoment dient zum generatorischen Betrieb der E-Maschine, welche dadurch Strom erzeugt und die Hochvoltbatterie lädt.
- **Coast ICE:** bezeichnet den Schubetrieb, bei dem nur die Verbrennungskraftmaschine betrieben wird, die E-Maschine dreht ohne Moment aufzunehmen bzw. abzugeben leer mit. Das Fahrpedal wird vom Fahrer nicht betätigt.
- **Coast EM:** bezeichnet den Schubetrieb bei dem die kinetische Energie der Fahrzeugverzögerung durch die Elektromaschine aufgenommen wird (Generatorbetrieb der EM, die Hochvoltbatterie wird geladen). Die Verbrennungskraftmaschine ist abgestellt und abgekuppelt.
- **Coast both:** bezeichnet den Schubetrieb, bei dem sowohl VKM als auch EM ein Moment aufnehmen. Auch hier wird durch den generatorischen Betrieb der Elektromaschine der Hochvoltspeicher geladen.
- **Stand still:** bezeichnet den Stillstand des Fahrzeuges. Die Verbrennungskraftmaschine ist abgekuppelt, in der Regel auch abgestellt. Eine Ausnahme stellt das Batterieladen

am Stand dar, bei dem die VKM den Elektromotor zur Stromerzeugung antreibt. Der Durchtrieb auf die Antriebsräder ist nicht verbunden, das Getriebe befindet sich in Neutralstellung.

Um sicherzustellen, dass in der finalen Manöverliste alle relevanten Manöver, welche im Betrieb eines Hybridfahrzeuges auftreten können, erfasst werden, war es naheliegend, eine Matrix aufzuspannen, in welcher alle Übergänge von einer der 15 Betriebsarten in jeden anderen dieser Fahrmodi dargestellt wird. Abbildung 5-2 zeigt diese „Moduswechselmatrix“. Darin ist in der linken, senkrechten Spalte jeweils die Betriebsart aufgetragen, in der das Fahrzeug vor dem Manöver betrieben wurde (Initial mode). In der obersten, waagrechten Zeile ist die jeweilige Betriebsart aufgetragen, in welcher sich das Fahrzeug nach Abschluss des Manövers befindet (Target mode):

Target Initial	Launch VKM	Launch EM	Launch both	Creep VKM	Creep EM	Creep both	static driving ICE	static driving EM	static driving both	coast VKM	coast EM	coast both	stand still
Launch ICE													
Launch EM													
Launch both													
Creep VKM													
Creep EM													
Creep both													
static driving ICE													
static driving EM													
static driving both													
coast VKM													
coast EM													
coast both													
stand still													

Abbildung 5-2: Moduswechselmatrix

Die sich so ergebenden 225 Felder der Matrix stehen jeweils für ein Manöver, von denen 210 einen Moduswechsel (weiße Felder in Abbildung 5-2) darstellen, die restlichen 15 grauen Felder stehen zwar für ein Manöver, stellen jedoch keinen Moduswechsel dar. Der Anfangsmodus und der Zielmodus ist bei diesen Feldern derselbe, jedoch kann es zu einer Gangschaltung kommen, was nicht als Moduswechsel gilt. Jedoch können diese Felder auch anzeigen, dass aufgrund einer Limitierung ein Moduswechsel verhindert wurde.

Da diese Auflistung jedoch noch nicht berücksichtigt, wie diese Manöver und damit auch die Moduswechsel ausgelöst werden, mussten Bedingungen, genannt „Events“, definiert werden,

welche im Fahrbetrieb auftreten und einen solchen Übergang auslösen können. Hier konnte eine Einteilung der Events in Kategorien gemacht werden, ob diese vom Fahrer willentlich, also direkt beeinflussbar sind, vom Straßenverlauf bzw. der Straßensteigung abhängen oder durch Änderungen des „Systems Fahrzeug“ hervorgerufen werden. Darunter wird hier der Lade- und Alterungszustand der Hochvoltbatterie, die Temperaturen der Hochvoltelektronik, der Hochvoltbatterie sowie des Elektromotors bzw. auch der Verbrennungskraftmaschine verstanden. Tabelle 5-1 listet diese Events auf. Die Nummerierung in der rechten Spalte dient der Zuordnung der Manöver zu den vergebenen IDs, welche später in diesem Kapitel noch erläutert werden:

Tabelle 5-1: Manöverauslösende Events

Vom Fahrer direkt beeinflussbar	Positiver Lastwechsel	Tip in	1
	Negativer Lastwechsel	Tip out	2
	Betätigen des Bremspedals	Braking	3
	Fahrer wechselt von ECO-Modus in Sport-Modus (bzw. Sport-Modus zu ECO-Modus)	Driver changes from ECO to Sport (Sport to ECO)	4
	Fahrer aktiviert/deaktiviert den Tempomat	Driver activates/deactivates Cruise Control	5
	Beschleunigen	Accelerate	6
	Verzögern	Decelerate	7
Abhängig von Umgebung und Straßenverlauf	Fahrt von flacher Straße in eine Bergauffahrt	From flat road into uphill	8
	Fahrt von flacher Straße in eine Bergabfahrt	From flat road into downhill	9
	Bergauffahrt in eine flache Straße	From uphill into flat road	10
	Bergabfahrt in eine flache Straße	From downhill into flat road	11
	Fahrt in eine Kurve	Turns	12
Änderungen von Systemen im Fahrzeug	SOC fällt unter Grenzwert	SOC drops below threshold	13
	SOC steigt über Grenzwert	SOC rises above threshold	14
	SOH-Veränderung	SOH change	15
	Temperatur der Leistungselektronik steigt über Grenzwert	Power electronics temperature rises above threshold	16
	Temperatur der Hochvolt-Batterie steigt über/fällt unter Grenzwert	HV battery temperature rises above/drops under threshold	17
	Elektromotortemperatur steigt über Grenzwert	EM temperature rises above threshold	18
	Temperatur der Verbrennungskraftmaschine steigt über Grenzwert	Engine temperature rises above threshold	19

Der Unterschied zwischen den in der oberen Tabelle aufgelisteten Ereignissen, positiver Lastwechsel und Beschleunigen, besteht im Wesentlichen darin, dass ein Lastwechsel ein

schnelles Betätigen des Gaspedals bedeutet, sprich die Geschwindigkeit der Pedaländerung wird mit  $x\%/sec$  festgelegt (bspw.  $130\%/sec$ ) während beim Beschleunigen die Änderung des Pedalposition gemächlich als eine Rampe mit flacher Steigung (bspw. eine Pedaländerung von 0 auf 100% dauert 4 Sekunden) beschrieben werden kann (dies wurde in Anlehnung an die schon bestehende Unterscheidung in AVL DRIVE<sup>TM</sup> beibehalten). Ähnlich verhält es sich mit dem negativen Lastwechsel und dem Verzögern: während der Tip out ein sprunghaftes Verringern der Fahrpedalstellung bedeutet, versteht man hier unter dem Verzögern ein langsames „Heraussteigen“ aus dem Fahrpedal. Bei einem Übergang zu 0% Pedalstellung wird der Betriebszustand Tip out bzw. Decelerate verlassen und wechselt in den Modus Coast. Decelerate bezeichnet auch nicht ein Verzögern mittels Bremse, da hierfür explizit der Punkt „Betätigen der Bremse“ eingeführt wurde. Durch ein Betätigen der Bremse wechselt der Modus laut oberer Definition von negativen Lastwechsel oder Verzögern auf den Modus Schubetrieb (Coast), da davon ausgegangen wird, dass die Bremse nur bei nicht betätigtem Gaspedal benutzt wird. Bei vielen Fahrzeugen führt auch eine Benutzung des Bremspedals zur sofortigen Wegnahme des Antriebsmomentes, auch wenn das Fahrpedal weiterhin betätigt wird.

Somit müssen zusätzlich zu den 15 Betriebszuständen bzw. Modi, welche jeweils ineinander wechseln können, noch zusätzlich diese 19 Events beachtet werden, welche diese Manöver auslösen können. Erweitert man obige Moduswechselmatrix (Abbildung 5-2) um diese Events, erhöht sich auch die Anzahl der Felder der Matrix um das 19-fache, also auf beachtliche 4275 Felder ( $15 \times 15 \times 19$ ). Jedes dieser Felder stellt eines, von den 19 Events ausgelöst, theoretisch auftretenden Manövern dar. Es muss jedoch bedacht werden, dass nicht jedes dieser Manöver sinnvoll ist, da einige davon im realen Fahrbetrieb nicht auftreten werden. Deshalb folgte eine Bewertung dahingehend, welche Manöver als möglich angesehen und damit in die Manöverliste für die modellbasierte Kalibration von Hybridfahrzeugen HyHab<sup>TM</sup> aufgenommen werden. Aufgrund dessen verringert sich die Anzahl der zu beachtenden Manöver deutlich, was folgend gezeigt werden soll.

Um eine möglichst gute Übersicht über die Anzahl der relevanten Manöver zu erhalten, wurde jedem der 4275 Felder eine Farbe zugeordnet, welche definiert, ob dieses Feld und das somit zugehörige Manöver möglich und sinnvoll ist. Die Bedeutung der Farben wird in Tabelle 5-2 erklärt.

Tabelle 5-2: Bedeutung der in der Moduswechselmatrix verwendeten Farben

Moduswechsel möglich	Ein grün eingefärbtes Feld kennzeichnet ein Manöver, welches einen Moduswechsel darstellt und deshalb von Bedeutung für die modellbasierte Kalibration von Hybridfahrzeugen ist
Kein Moduswechsel möglich	Ein rot eingefärbtes Feld zeigt ein Manöver an, welches im realen Fahrbetrieb nicht auftreten wird
Relevantes Manöver, stellt jedoch keinen Moduswechsel dar	Ein blau eingefärbtes Feld kennzeichnet ein Manöver, welches im realen Fahrbetrieb auftreten kann. Jedoch ist hier der Ausgangs- und Zielmodus identisch, weshalb das Manöver keinen Moduswechsel darstellt (siehe oben; Gangschaltung, Limitierung)
Sehr unwahrscheinliches Manöver	Ein violett eingefärbtes Feld zeigt ein Manöver an, welches nur in sehr speziellen Fällen auftreten wird und deshalb nicht in die Manöverliste aufgenommen wird. Im Unterschied zu den roten Feldern wird aber vermerkt, dass diese Manöver nicht zur Gänze ausgeschlossen werden können.

An folgenden Beispielen soll anschaulich gezeigt werden, wie die Farben aus Tabelle 5-2 zum Aussortieren der nicht relevanten Manöver angewandt wurden.

Der Fahrer möchte mit geringer Fahrpedalstellung anfahren, der Fahrzustand wäre in diesem Fall „Launch EM“, da die Leistung des Elektromotors für einen solchen Anfahrvorgang ausreicht und der Ladezustand der Batterie diesen Modus zulässt. Der Fahrzeuglenker beschließt jedoch, dass er schneller Beschleunigen will und erhöht die Fahrpedalstellung (er macht einen positiven Lastwechsel, „Tip In“). Die HCU (hybrid control unit, Hybridsteuergerät) entscheidet nun, dass zusätzlich zur elektrischen Maschine auch die Verbrennungskraftmaschine für diesen Anfahrvorgang verwendet werden muss und leitet einen Motorstart ein. Das Manöver bzw. der Moduswechsel, welcher hier auftritt, ist somit ein Wechsel von „Launch EM“ (rein elektrischer Betrieb) auf „Launch both (boost)“ (Verbrennungskraftmaschine wird durch den Elektromotor unterstützt) ausgelöst durch den „Event“ „Tip In“ des Fahrers. Da dieses Manöver von Bedeutung für die modellbasierte Kalibration von hybriden Antriebssträngen ist, wurde dieses in der Matrix mit der Farbe Grün hinterlegt und kennzeichnet somit ein mögliches Manöver bzw. einen relevanten Moduswechsel.

Wieder wird derselbe Fall betrachtet, ein Wechsel von „Launch EM“ auf „Launch both (boost)“, jedoch nun nicht durch einen „Tip In“ des Fahrers ausgelöst sondern durch einen Anstieg des Ladezustandes der Hochvolt-Batterie über einen festgelegten Grenzwert. Dieses

Manöver ist in der Moduswechsellmatrix rot hinterlegt, da es im Fahrbetrieb nicht auftreten wird. Der Grund dafür ist, dass im Modus „Launch EM“ für den Betrieb der Elektromaschine Energie aus der Batterie entnommen wird und es somit nicht möglich ist, dass der Ladezustand der Batterie steigt.

Sehr wohl wäre es aber möglich, dass der Ladezustand der Batterie beim Anfahren mittels der E-Maschine unter einen Grenzwert fällt und die HCU entscheidet, dass das durch die Verbrennungskraftmaschine lieferbare Moment so groß ist, dass dieses sowohl zum Anfahren als auch zum generatorischen Betreiben des Elektromotors ausreicht und somit auch die Batterie geladen werden kann (Lastpunktverschiebung). Dieses Manöver ist ein Wechsel von „Launch EM“ auf „Launch both (load point shifting)“ ausgelöst durch einen Abfall des Ladezustandes der Batterie (laut Tabelle 5-1 der Event Nummer 13). Das Feld für dieses Manöver ist wiederum mit grüner Farbe in der Matrix hinterlegt, da es einen möglichen Moduswechsel darstellt.

Als nächstes wird eines der hellblauen Manöver betrachtet. Die hellblau gekennzeichneten Manöver sind solche, welche für eine Kalibration zwar von Relevanz, jedoch nicht als Moduswechsel anzusehen sind. Dies bedeutet, dass der Anfangsmodus derselbe wie der Zielmodus ist, eine Gangschaltung ist aufgetreten. Der Fahrer hat das Fahrpedal vollständig gelöst, auch das Bremspedal wird nicht betätigt. Das Fahrzeug fährt mit Kriechgeschwindigkeit auf einer flachen Straße. Die Verbrennungskraftmaschine ist abgestellt, das nötige Moment zum Antrieb des Fahrzeuges wird rein vom Elektromotor bereitgestellt, somit ist der Anfangsmodus mit dem das Fahrzeug vor dem Manöver betrieben wird „Creep EM“. Das Getriebe hat den Gang 2 eingelegt. Nun nähert sich das Fahrzeug einem Hügel, womit als Event die Fahrt von flacher Straße in eine Bergauffahrt auftritt (laut Tabelle 5-1 der Event Nummer 8). Die nötige Antriebskraft des Elektromotors reicht nicht mehr für die Bewältigung der steileren Fahrbahn im aktuellen Gang aus, somit wird eine Gangschaltung vom Gang 2 in den ersten Gang ausgelöst. Der Fahrmodus bleibt aber nach wie vor „Creep EM“. Somit tritt hier der Fall auf, dass im Fahrzustand „Creep EM“ eine Rückschaltung vorgekommen ist, welche aufgrund des nicht mehr für die Bergauffahrt ausreichenden Radmomentes ausgelöst wird. Die VKM wurde jedoch nicht gestartet. Der Zielmodus nach diesem Manöver ist derselbe, wie der Anfangsmodus, nämlich „Creep EM“. Somit fand zwar eine Gangschaltung statt, deren Qualität zu bewerten und zu optimieren ist, jedoch kein Moduswechsel.

Als Beispiel für eines der violetten, also sehr unwahrscheinlichen Manöver, kann ein Moduswechsel von Static driving EM zu Launch ICE ausgelöst durch einen Tip in betrachtet werden. Static driving ist ein Modus, der im Allgemeinen bei höheren Geschwindigkeiten als Launch auftritt. Ein Wechsel von Static driving in Launch geschieht normalerweise nicht, ohne vorher zumindest kurz im Modus Coast zu gelangen. Jedoch könnte beim reinen EM-

Betrieb mit einer elektrischen Achse schon bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten der Modus Static driving vorkommen.

## 5.2 Fertigstellung der Manöverliste

Aufgrund der oben beschriebenen Herangehensweise ergab sich eine Reduktion der vorher erwähnten 4275 theoretisch auftretenden Manöver auf knapp 900 für HyHab<sup>TM</sup> relevante, wobei von diesen Manövern gut 750 einen Moduswechsel darstellen. Nachdem sichergestellt war, dass alle relevanten Manöver in der Matrix markiert waren, konnte diese per Makro in eine Listenform übergeführt werden. Nun bestand die Aufgabe darin, diese Manöver genauer zu spezifizieren. Abbildung 5-3 zeigt einen Ausschnitt der Liste nach der Überführung der Matrixeinträge. Hier wurden noch keine detaillierten Beschreibungen der Betriebszustände im Ausgangs- und Zielmodus durchgeführt. Dies wurde im nächsten Arbeitsschritt bewerkstelligt.

ID-DST	Initial Mode	Event	Target Mode	Mode Change (x = yes)
lav_lav_1	Launch ICE	tip in	Launch ICE	
lav_lav_2	Launch ICE	tip out	Launch ICE	
lav_lav_6	Launch ICE	accelerate	Launch ICE	
lav_lav_7	Launch ICE	decelerate	Launch ICE	
lav_lae_1	Launch ICE	tip in	Launch EM	x
lav_lae_2	Launch ICE	tip out	Launch EM	x
lav_lae_4	Launch ICE	driver changes from ECO to Sport	Launch EM	x
lav_lae_6	Launch ICE	accelerate	Launch EM	x
lav_lae_7	Launch ICE	decelerate	Launch EM	x
lav_lae_11	Launch ICE	from flat road into uphill	Launch EM	x

Abbildung 5-3: Grundstruktur der Manöverliste

Die Grundstruktur der Manöverliste wurde wie folgt aufgebaut: ein Makro führt die in der Moduswechselmatrix grün und hellblau gekennzeichneten Manöver (für die Bedeutung der farblichen Markierungen siehe Tabelle 5-2) in die Manöverliste über. Dabei werden alle in der



Matrix bereits festgelegten Informationen mitübertragen. Dies bedeutet, dass die für jedes Manöver eindeutige ID in die Spalte „ID-DST“ geschrieben wird, die Spalte „Initial Mode“ beinhaltet die Benennung des Anfangsmodus, Spalte „Target Mode“ die des Zielmodus, die Spalte „Event“ das Manöver auslösende Ereignis. Der Anfangs- und Zielmodus wird für jedes Manöver automatisch verglichen. Sind diese unterschiedlich, stellt dieses Manöver einen Moduswechsel dar und wird in der Spalte „Mode Change“ als ein solcher gekennzeichnet. Dies soll während der Verwendung der Liste zum Zusammenstellen des Testplans und nach der Optimierung beim Erstellen des Verifikationsplans das Sortieren der Manöver vereinfachen. Diese oben genannten Spalten werden automatisch vom Makro ausgefüllt und erzeugen dadurch die Grundstruktur der vollständigen Manöverliste (Abbildung 5-3).

ID-DST	Initial Mode	Initial Conditions										Event	Reaction								Target Mode	Mode Change (x = yes)
		road profile	vehicle	accelerator pedal position	brake pedal position	ICE-status	EM-status	SOC-status	SOH-status	Clutchbox status	decoupler status / (torque converter)		brake pedal position	vehicle	ICE-status	EM-status	SOC-status	SOH-status	Clutchbox status	decoupler status / (torque converter)		
lav_iv_2	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	tip out	0	driving	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	Launch ICE			
lav_iv_5	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	accelerate	0	driving	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	Launch ICE			
lav_iv_7	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	decelerate	0	driving	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	Launch ICE			
lav_iv_1	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	tip in	0	driving	off	positive torque	normal	D/S/M	open	Launch EM	x		
lav_iv_2	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	tip out	0	driving	off	positive torque	normal	D/S/M	open	Launch EM	x		
lav_iv_4	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	driver changes from ECO to Sport	0	driving	off	positive torque	normal	D/S/M	open	Launch EM	x		
lav_iv_6	Launch ICE	flat	driving	open	0	on	no torque	normal	D/S/M	slipping	accelerate	0	driving	off	positive torque	normal	D/S/M	open	Launch EM	x		

Abbildung 5-4: Manöverliste inkl. Status der Betriebszustände

Durch das genauere Spezifizieren der Anfangs- und Zielmodi wurde die Liste weiter vervollständigt (Abbildung 5-4). Dazu wurden die in Tabelle 5-3 aufgelisteten Punkte für jeden einzelnen Modus beschrieben. In der linken Spalte findet sich die deutsche Benennung der Bedingungen von Ausgangs- und Zielmodus während in der mittleren Spalte die englischen Bezeichnungen eingetragen sind. In der rechten Spalte sind die möglichen Status der in der Manöverliste definierten Zustände aufgelistet.

Tabelle 5-3: Auflistung Fahrzeug- bzw. Komponentenzustand

Straßenprofil	Road profile	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flat</li> <li>- Uphill</li> <li>- Downhill</li> </ul>
Fahrzeugzustand	Vehicle	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stand still</li> <li>- Driving</li> <li>- Rolling</li> </ul>
Fahrpedalposition	Accelerator pedal position	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Closed</li> <li>- Open</li> <li>- Wide open throttle</li> </ul>
Bremspedalposition	Brake pedal position	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pressed</li> <li>- Not pressed</li> </ul>
Status der Verbrennungskraftmaschine	ICE-status	<ul style="list-style-type: none"> <li>- On</li> <li>- Off</li> </ul>
Status des Elektromotors	EM-status	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Positive torque</li> <li>- No torque</li> <li>- Negative torque</li> </ul>
Ladezustand der Batterie	SOC-status	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Minimum</li> <li>- Low</li> <li>- Normal</li> <li>- High</li> <li>- Maximum</li> </ul>
Alterungszustand der Batterie	SOH-status	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Old</li> <li>- New</li> </ul>
Getriebestatus	Gearbox status	<ul style="list-style-type: none"> <li>- D: Drive</li> <li>- S: Sport</li> <li>- M: Manual</li> <li>- N: Neutral</li> <li>- P: Park</li> </ul>
Status der Trennkupplung / der Wandlerüberbrückungskupplung	Decoupler status / torque converter	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Open</li> <li>- (Controlled) Slip</li> <li>- Closed</li> </ul>

Unterschieden wurde, ob sich das Fahrzeug im Stillstand befindet (stand still), mit positivem Summenmoment des Antriebsstranges angetrieben wird (driving) oder im Schubetrieb rollt (rolling). Weiters war die Fahrpedalstellung von Interesse. Diese wurde in „closed“, „open“ bzw. „wide open throttle“ unterteilt, um in Anlehnung an die AVL DRIVE™ Nomenklatur

eine durchgängige Bezeichnung beizubehalten. Während „closed pedal“ bedeutet, dass das Fahrpedal nicht betätigt ist (Fahrpedalstellung 0%), bezeichnet „open pedal“ eine Fahrpedalstellung größer als 0%. Ein vollständig getretenes Fahrpedal (Volllast, 100%) wird hier, wie auch in AVL DRIVE<sup>TM</sup> mit „wide open throttle“ (WOT) bezeichnet. Auch die Bremspedalstellung wurde in der Manöverliste definiert, ist dieses vom Fahrer bzw. am Prüfstand vom Bremsaktuator betätigt (pressed) oder nicht betätigt (not pressed). Wird ein Testlauf bzw. Testzyklus aus einer Abfolge von Manövern zusammengestellt, bei denen eine Betätigung des Bremspedals nie erforderlich ist, kann am Prüfstand auf den Einbau Bremsaktuators verzichtet werden.

Die folgenden beiden Punkte beschreiben den Zustand der Antriebsmaschinen (Verbrennungsmotor und Elektromotor(en)). Während für die Verbrennungskraftmaschine die beiden Zustände „on“ für Motor läuft und „off“ für einen abgestellten Motor ausreichend waren, müssen beim parallelen Hybrid drei unterschiedliche mögliche Zustände für den Elektromotor beachtet werden. „No torque“ bezeichnet eine frei mitdrehende E-Maschine, was darauf zurückzuführen ist, dass diese meist nicht, wie es beim Verbrennungsmotor der Fall ist, durch eine Trennkupplung vom Antriebsstrang getrennt werden kann. Der Zustand „positive torque“ sagt aus, dass der Elektromotor mit seinem abgegebenen Moment zum Antreiben bzw. zur Beschleunigung des Fahrzeuges beiträgt. „Negative torque“ beschreibt eine E-Maschine, welche als Generator Moment aufnimmt und so zur Stromerzeugung zum Laden der Hochvolt-Batterie betrieben wird. Dies kann im Schubbetrieb beim Rekuperieren von Verzögerungsenergie der Fall sein (im Fahrzustand „Coast“) bzw. bei Bremsungen sofern das vom Fahrer angeforderte Bremsmoment durch den Elektromotor aufgenommen werden kann, wie auch bei der Lastpunktverschiebung, wenn das von der Verbrennungskraftmaschine überflüssige Moment generatorisch von der E-Maschine aufgenommen und zum Laden der Hochvolt-Batterie verwendet wird.

Weiters wird zum Beschreiben der Zustände des „System Fahrzeug“ auch jeweils eine Spalte für den Ladezustand (SOC = State of Charge) und den Alterungszustand (SOH = State of Health) der Hochvoltbatterie verwendet. Der SOC kann dabei abgesehen von den Extremwerten „minimum“ und „maximum“ auch die Zwischenzustände „low“, „normal“ und „high“ annehmen. Ein Status „normal“ beschreibt, dass der Ladezustand der Hochvoltbatterie sich im mittleren Bereich des Arbeitsfensters der Batterie befindet. Dies bedeutet, dass beim Abfahren dieser Manöver der SOC durch den Batterieemulator konstant gehalten wird, um beim mehrmaligen Anfahren eines Betriebspunktes ein reproduzierbares Verhalten darstellen zu können. Messfahrten mit einem Porsche Cayenne S Hybrid haben gezeigt, dass ein Absinken des Ladezustandes von knapp 10% einen Motorstart bei einer Beschleunigungsfahrt schon bei einer um 5 km/h niedrigeren Geschwindigkeit auslösen kann, obwohl die Fahrpedalstellung dieselbe war. Deshalb reicht es bei einem hybriden Antriebsstrang nicht mehr aus, einen Betriebspunkt nur mittels Drehmoment und Drehzahl (beim Motor) bzw.

Pedalstellung und Fahrgeschwindigkeit (bei der Betrachtung des gesamten Systems Fahrzeug) zu beschreiben. Vielmehr muss auch der Einfluss des Ladezustandes der Hochvoltbatterie auf die Betriebsstrategie beachtet und damit auch bedacht werden, dass ein Moduswechsel trotz konstantem Pedal und konstanten Umgebungsbedingungen (selber Beladungszustand des Fahrzeuges, die selbe Steigung der Fahrbahn etc.) bei unterschiedlichen Fahrzeuggeschwindigkeiten ausgelöst werden kann. Bei der Optimierung eines Moduswechsels und insbesondere der Bildung der Responsemodelle (Auswirkung der Parametervariationen in den Steuergeräten auf den Moduswechsel) durch AVL CAMEO™ muss ein Betriebspunkt immer wieder reproduzierbar angefahren werden. Hier sind zwei Möglichkeiten zu betrachten. Einerseits kann der SOC durch den Batterieemulator konstant gehalten werden, damit ein Moduswechsel, der durch die vorhandene Betriebsstrategie ausgelöst wird, immer bei denselben Randbedingungen (Drehzahl, Fahrzeuggeschwindigkeit, Pedalposition...) stattfindet. Andererseits kann der Batterieemulator auch verwendet werden, um durch einen emulierten SOC-Abfall einen Motorstart im fahrbaren Bereich auszulösen.

Ein Beispiel aus der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe (vergleiche dazu Kapitel 3) soll obiges verdeutlichen: Man nehme an, es soll eine 2-3 Hochschaltung optimiert werden. Während einem Prüflauf von ACT™ wird wiederholt derselbe Betriebspunkt angefahren, was bedeutet, dass bei einer bestimmten Drehzahl ein gewisses Drehmoment eingestellt wird. Im Getriebesteuergerät (TCU) werden zwischen dem wiederholten Anfahren dieser Betriebspunkte Verstellparameter (Kupplungsdrücke, Motormomenteingriff, Druckrampen...) variiert, welche Einfluss auf die Schaltqualität haben. Anschließend kann mittels Modellbildung und Optimierung derjenige Parametersatz erstellt werden, mit dem die gewünschte (optimale) Schaltqualität erreicht werden kann (schnelle Schaltungen bei sportlichen Fahrzeugen, komfortable Schaltungen bei Limousinen etc.).

Die Ladezustände „low“ und „high“ weisen darauf hin, dass der SOC vor dem Manöver durch den Batterieemulator auf einen Wert nur knapp über einer unteren Grenze bzw. knapp unter einem oberen Grenzwert eingestellt wird, damit durch eine leichte Verringerung bzw. Erhöhung des SOC durch den Batterieemulator ein gewünschter Moduswechsel ausgelöst wird. Mögliche Manöver dafür wären zum Beispiel ein rein elektrisches Fahren des Hybridfahrzeuges, wobei die Hochvoltbatterie entleert wird und ein unterschreiten eines unteren Grenzwertes des Ladezustandes ein Zustarten der Verbrennungskraftmaschine erforderlich macht. Es soll darauf hingewiesen werden, dass diese Grenzen in der Manöverliste absichtlich allgemein gehalten wurden und nicht durch Prozentwerte charakterisiert werden, da sich diese Werte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Fahrzeugen (verbauten Komponenten: Leistung der elektrischen Maschine bzw. des elektrischen Systems, Verbrennungskraftmaschine etc.), Batterieart und Strategiewahl (Sport, ECO etc.) deutlich unterscheiden können. Die Ladezustände „minimum“ und „maximum“

lösen durch ihre Einstellung mittels Batterieemulator einen Moduswechsel aus. Soll ein Abfall des SOC unter den unteren Grenzwert dargestellt werden, so wird vor dem Manöver ein vorher in der Testplanung festgelegter Prozentwert des Ladezustandes eingestellt, welcher der oben erwähnten „low“ Kategorie zuzuordnen ist. Wenn sich dieser Betriebspunkt stabilisiert hat, wird ein abfallender Ladezustand emuliert, welcher einen Moduswechsel (Zustart der Verbrennungskraftmaschine) nach sich zieht. Der neue, vom Batteriesimulator eingestellte Ladezustand wird, wie oben erwähnt, durch den Eintrag „minimum“ in der Manöverliste angezeigt.

In der Spalte Getriebestatus werden die möglichen Stellungen des Wählhebels eingetragen. Stellung D steht für den oft auch als ECO-Modus bezeichneten Modus. Hier wird eine verbrauchsoptimierte Betriebsstrategie gewählt. Im Sport-Modus will man dem Fahrer ein möglichst hohes Maß an Performance zur Verfügung stellen. Weniger wichtig ist hier der Verbrauch des Verbrennungsmotors bzw. die elektrische Reichweite. Möglich ist auch eine Auslegung der Betriebsstrategie, welche im Sport-Modus zum maximalen Motormoment der VKM zusätzlich ein Moment der E-Maschine als Boost erlaubt, während im D-Modus das maximal abgegebene Summenmoment gleich dem maximalen Moment des Verbrennungsmotors ist, um auch im Falle einer leeren Batterie ein reproduzierbares Verhalten des Fahrzeuges gewährleisten zu können.

Ebenfalls in der Liste vermerkt ist der Betrieb des Fahrzeuges im manuellen Modus. Hier kann der Fahrer per Wählhebel oder Schaltwippen unabhängig von der Betriebsstrategie in einem weiten Bereich Gangschaltungen manuell auslösen. Zusätzlich können die Wahlhebelstellungen N (Neutral) und P (Parken) definiert werden. Während die Betriebsart Neutral auch beim sich bewegenden Fahrzeug vorkommen kann und deshalb eine möglichst komfortable Umschaltung in das sogenannte „Segeln“, bei dem das Fahrzeug ohne Motorbremswirkung oder anderen bremsenden Einflüssen (Reibungsverluste, Luft-, Roll- und Steigungswiderstände kommen sehr wohl vor) so weit wie möglich rollen soll, kalibriert werden muss, soll auch dem Modus Parken Beachtung geschenkt werden. Bei den sogenannten Garage Shifts, bei denen der Fahrer am Stand vom Parken in die Wahlhebelstellung für den Rückwärtsgang wechselt, soll ein für den Fahrer spürbares Ruckeln o.ä. vermieden werden. Auch der Zustand der Trennkupplung bzw. Wandlerüberbrückungskupplung musste grob spezifiziert werden. Hier wurden die drei Zustände „open“ für eine geöffnete, „slipping“ für eine schlupfende bzw. sich im kontrollierten Schlupf befindliche und „closed“ für eine geschlossene Kupplung definiert.

## 6 Qualitätskriterien für AVL DRIVE™

Dieses Kapitel befasst sich mit der objektiven Qualitätsbewertung der Moduswechsel eines Hybridfahrzeuges mittels AVL DRIVE™. Objektive Qualitätsbewertung bedeutet hier, dass die, wie im Kapitel 3.3 bei der Vorstellung von AVL DRIVE™ schon erklärt, subjektiven Eindrücke und Empfindungen eines Fahrzeuglenkers objektive messbar und bewertbar gemacht werden sollen. Um in AVL CAMEO™ ein mathematisches Modell der Auswirkungen einer Variation der Parameter in den Steuergeräten auf den Moduswechsel, welches anschließend zur Optimierung herangezogen wird, bilden zu können, muss dieser Moduswechsel dahingehend bewertet werden, inwieweit eine von AVL CAMEO™ durchgeführte Änderung von Verstellgrößen in den Steuergeräten eine Auswirkung auf die Fahrbarkeit hat. Jedoch reicht es nicht aus, nur eine Aussage zu treffen, ob eine Auswirkung für den Fahrer spürbar ist oder nicht, sondern es muss vielmehr auch eine Aussage über eine Tendenz getroffen werden können, ob sich eine Änderung von Steuergeräteparametern positiv oder negativ, sowie auch in welcher Stärke sich diese Änderung auswirkt. Bei der späteren Optimierung soll die Möglichkeit bestehen, Labels in den Steuergeräten mit großem Einfluss auf die Fahrbarkeit mehr Aufmerksamkeit bzw. eine höhere Priorität zukommen zu lassen.

Abbildung 6-1 zeigt ein Beispiel für eine Modellbildung nach einem Testlauf, welcher mit der Methodik ACT™ während der Abarbeitung eines Projektes zur Verbesserung der Schaltqualität durchgeführt wurde. Deutlich zu sehen ist, dass vor allem eine Verstellung des Parameters „Druck\_Kupplung2\_zu“ einen sehr großen Einfluss auf die Fahrbarkeit hat. Auch die Auswirkungen von Parameter „Druck\_Kupplung1\_auf“ auf die AVL DRIVE™-Bewertungen für Gangschaltung und Schaltdauer sind nicht zu vernachlässigen, während Parameter „Gradient\_Motormomenteingriff\_Start“ und „Motormomenteingriff\_Absolutwert“ sich wenig darauf auswirken. Anzumerken ist hier, dass die Einflüsse der Verstellung der TCU-Parameter auf jede beliebige Größe darstellbar sind. Es kann sich um die Bewertung der Fahrbarkeit, wie in

Abbildung 6-1 handeln, jedoch sehr wohl auch der Einfluss auf ein einzelnes Rating (zB. für den positiven Lastwechsel) oder einen Parameter (zB. ein Lastschlag nach einem positiven Lastwechsel) dargestellt werden.

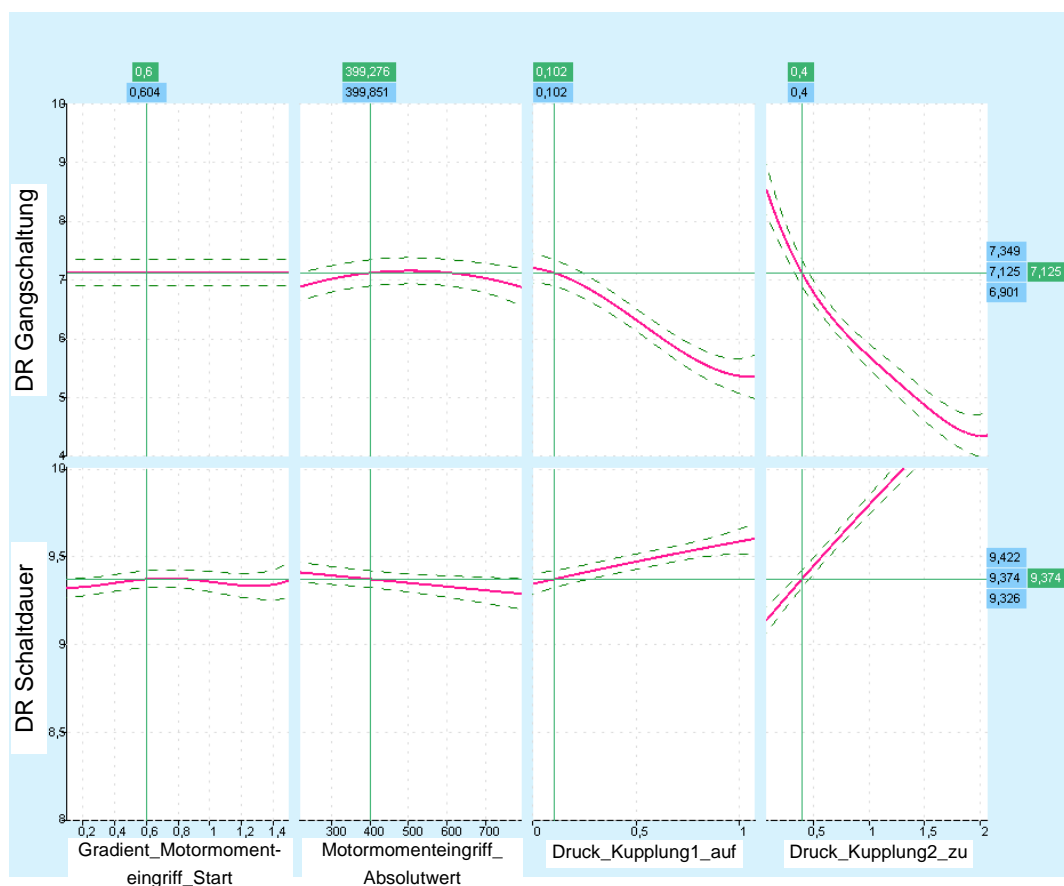


Abbildung 6-1: Einfluss von TCU-Parametern auf die Fahrbarkeit

Wichtigste Größe zur Feststellung der Auswirkung von Änderungen der Parameter in den Steuergeräten auf die Fahrbarkeit ist, wie später noch gezeigt wird, die Fahrzeuglängsbeschleunigung bzw. deren Änderung, welche auf das Fahrzeug und damit auch auf den Fahrer wirkt. Starke, für den Fahrer unangenehm spürbare Schläge, welche unter anderem durch eine nicht optimale Applikation der Trennkupplung bzw. deren Schließ- und Öffnungsverhalten hervorgerufen werden können, oder Antriebsstrangschwingungen, welche aufgrund von Verspannungen bei nicht korrekt aufeinander abgestimmten Teilsystemen entstehen können, spiegeln sich genauso im Beschleunigungssignal wieder wie ein ruckeliger Motorstart oder –stop. Der Vorteil bei Verwendung von AVL DRIVE™ ist nun jener, dass dieses Tool schon in der aktuellen Version (3.4.0) eine Vielzahl an unterschiedlichen Haupt- und Unterbetriebszuständen (die Bedeutung dieser Bezeichnungen in diesem Kontext wird in Kapitel 6.2.2 näher beschrieben) detektieren kann. Innerhalb dieser bzw. zum Bewerten dieser Zustände werden Parameter und Kriterien berechnet, welche für die Optimierung mittels HyHab™ herangezogen werden können.

In diesem Kapitel soll nun erarbeitet werden, welche dieser Qualitätskriterien zur Modellbildung und Optimierung in AVL CAMEO™ im Zuge der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen verwendet werden können. Weiters soll abgeklärt werden, ob diese ausreichend sind oder ob aus Kalibrationssicht noch weitere eingeführt werden müssen. Diese Vorschläge sollen an die Abteilung DVD (Fahrbarkeit und Simulation) zur Umsetzung und

Implementation in das Tool AVL DRIVE™ übergeben werden. Die in diesem Werk ausgearbeiteten Vorschläge für Qualitätskriterien in AVL DRIVE™ wurden in Zusammenarbeit mit Experten aus den Fachteams Fahrbarkeit und Simulation (DVD), Antriebsstrang und Hybrid Systeme (DSS) und Getriebe- und Hybridkalibration (DST) erarbeitet. Die aus den Ergebnissen dieser fachlichen Diskussionen erarbeiteten Vorschläge zur Einpflegung neuer Bewertungskriterien und -parametern in AVL DRIVE™ wurden zum größten Teil mittels diverser Messungen an einem Porsche Cayenne S Hybrid entwickelt und verifiziert.

Folgend soll dem Leser kurz der Aufbau dieses Fahrzeuges gezeigt werden, vor allem der Aufbau des Antriebsstranges (siehe Abbildung 4-1) ist von Interesse, da sich, wie vorne in diesem Werk schon erwähnt, die Ausarbeitung der Manöverliste, auf diese Hybridtopologie gestützt hat.

- Daten des Porsche Cayenne S Hybrid:
  - Verbrennungskraftmaschine:
    - Art: V6 Ottomotor
    - Hubraum: 2.995cm<sup>3</sup>
    - Leistung: 244/333 kW/PS bei 5.500 – 6.500 U/min
    - Maximales Drehmoment: 440 Nm bei 3000 U/min
  - Elektromotor:
    - Art: Permanent erregte Synchronmaschine
    - 34/47 kW/PS bei 1.150 Umdrehungen pro Minute
    - Maximales Drehmoment: 300Nm
  - Getriebe:
    - 8-Gang Automatikgetriebe mit hydraulischem Wandler
  - Energiespeicher:
    - Nickel-Metallhydrid
    - 2,4 kWh Energieinhalt



Abbildung 6-2: Antriebsstrang des Porsche Cayenne S Hybrid (Porsche, 2010)



Kapitel 6.1 soll zeigen, wie die in den Fachteams (DVD und DST) teilweise unterschiedlichen Benennungen von Betriebszuständen und moduswechselauslösenden Ereignissen zusammengefasst und vereint wurden. Dazu wurde die Manöverliste mit bestehenden Haupt- und Unterbetriebszuständen des Tools AVL DRIVE™ zusammengeführt. Das nächste Unterkapitel 6.2 befasst sich mit der Ausarbeitung der Qualitätskriterien.

## 6.1 Überführung der Manöverliste in bestehende AVL DRIVE™ Betriebszustände

Die in der Manöverliste ausgearbeiteten Hybridfahrmodi und Ereignisse (Events), welche ein Manöver auslösen können, sollen bestehenden AVL DRIVE™ Hauptoperationsmodi zugeordnet werden. Ein Grund dafür ist, dass das Tool AVL DRIVE™ über Jahre gewachsen ist und immer wieder weiterentwickelt und verbessert wurde. Somit stieg die Anzahl von Haupt- und Unterbetriebszuständen, welche AVL DRIVE™ detektieren kann, kontinuierlich. Um diese große Anzahl nicht unnötigerweise noch weiter zu erhöhen, war die Anforderung, dass so wenig wie möglich neue Zustände eingeführt werden sollen. Zusätzlich sollte auch ein Versionsunterschied für AVL DRIVE™, welches als Benchmark-Tool entstanden ist und einem AVL DRIVE™, welches in der Kalibrationsumgebung von HyHab™ als Applikationstool verwendet wird, möglichst vermieden werden. Tabelle 6-1 zeigt in der linken Spalte die Fahrzustände, welche in der Manöverliste (siehe Kapitel 5, hier genannt DST-modes) festgelegt wurden, auf der rechten Seite sind die Ereignisse (DST-Events) eingetragen, welche ein Manöver bzw. gegebenenfalls einen Moduswechsel auslösen können. In den mittleren, blauen Spalten sind die zugehörigen Haupt- (Main operation modes) und Unterbetriebszustände (Sub operation modes), welche von AVL-DRIVE™ bereits in der aktuellen Version (Version 3.4) detektiert werden, enthalten. Eine Änderung des Straßenprofils (wie Fahrten von flacher Straße in eine Aufwärtspassage, etc) und Temperaturänderungen des elektrischen Systems bzw. der Verbrennungskraftmaschine können von AVL DRIVE™ detektiert werden. Diese Werte werden von AVL DRIVE™ zwar beim jeweiligen Betriebszustand als Informationsparameter ausgegeben, gehen aber nicht in eine Bewertung bzw. ein Rating ein.

Um ein Verständnis für die AVL DRIVE™ Hauptbetriebszustände, welchen die Fahrmodi und Events der Manöverliste zugeordnet wurden, zu vermitteln, sollen diese hier etwas ausführlicher erläutert werden. Die folgenden Erklärungen wurden im Grunde aus der Funktionsbeschreibung von AVL DRIVE™ (AVL, 2011) entnommen.

- **Drive away:** bezeichnet ein losfahren des Fahrzeuges vom Stillstand. Dabei unterscheidet AVL DRIVE™ zwischen den folgenden Unterbetriebszuständen des „Drive away“:
  - o **Normal:** beschreibt ein Anfahren, bei dem die Fahrpedalstellung und Beschleunigung eine vom Benutzer einstellbare Schwelle nicht überschreiten.

- **Launch:** beschreibt ein sportliches Anfahren, bei dem die Fahrpedalstellung und Beschleunigung eine vom Benutzer einstellbare Schwelle überschreiten
  - **Creep:** beschreibt das sogenannte Kriechen. Das Fahrpedal wird nicht betätigt (closed pedal). Als ein Bereich typischer maximaler Kriechgeschwindigkeit kann 5 – 8 km/h genannt werden.
  - **Vehicle stop:** ein Stehenbleiben des Fahrzeuges wird unter dem Hauptbetriebszustand „Drive away“ geführt und dann detektiert, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit den Wert Null erreicht (bzw. eine vom Benutzer einstellbare sogenannte „Null-Schwelle der Fahrzeuggeschwindigkeit“, meist 1 km/h unterschreitet).
- **Tip In:** ein positiver Lastwechsel wird von AVL DRIVE<sup>TM</sup> erkannt, wenn eine Pedaländerung von mindestens 6% auftritt und der Gradient der Pedalbetätigung einen vom Benutzer einstellbaren Wert (in %/sec) überschreitet. Ein typischer Wert hierfür wäre 140%/sec. Zusätzlich unterscheidet AVL DRIVE<sup>TM</sup> zwischen einem positiven Lastwechsel während einer Beschleunigung, nach einem nicht betätigten und nach einem konstanten Pedal, sowie sehr kurzen Lastwechseln (short Tip in).
  - **Tip Out:** der negative Lastwechsel wird ähnlich einem positiven detektiert. Auch hier muss die Pedaländerung einen Wert von 6% und der Gradient für das Verringern der Fahrpedalstellung einen Wert von 100 %/sec überschreiten, damit ein Tip out detektiert wird. Auch hier unterscheidet AVL DRIVE<sup>TM</sup> zwischen einem negativen Lastwechsel während einem Beschleunigungsvorgang, nach einer Fahrt mit konstanter Geschwindigkeit und während dem Verzögern.
  - **Acceleration:** Ein Beschleunigen wird von AVL DRIVE<sup>TM</sup> erkannt, wenn das Fahrpedal betätigt ist und konstant gehalten wird (Unterbetriebszustand „part load constant pedal“) bzw. der Gradient der Pedaländerung einen einstellbaren Wert nicht überschreitet („part load rising pedal). Bei einem überschreiten dieses Wertes wird ein positiver Lastwechsel erkannt (siehe oben). Ein Beschleunigen bei Volllast wird mit dem Unterbetriebszustand „Full load“ detektiert. Zusätzlich muss die Beschleunigung des Fahrzeuges positiv sein.
  - **Constant speed:** eine Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit wird in AVL DRIVE<sup>TM</sup> detektiert, wenn die Fahrzeuggeschwindigkeit und die Fahrpedalposition für mindestens 5,12 Sekunden konstant innerhalb eines vom Benutzer einstellbaren Intervalls (meist 3 km/h Fahrzeuggeschwindigkeit und 4 % der Pedalstellung) sind. AVL DRIVE<sup>TM</sup> unterscheidet zusätzlich, ob mit betätigten (open) oder nicht betätigten (closed) Fahrpedal gefahren wird.
  - **Deceleration:** AVL DRIVE<sup>TM</sup> erkennt den Hauptbetriebszustand Verzögerung, wenn das Fahrpedal nicht betätigt wird und sich das Fahrzeug in Bewegung befindet. Eine Unterscheidung erfolgt, ob zusätzlich das Bremspedal betätigt (constant brake) wird oder nicht (without brake).

Tabelle 6-1: Zusammenhang Manöverliste und AVL DRIVE™ Betriebszustände

DST-Modes	AVL DRIVE™-Mode		DST-Events
	Main operation modes	Sub operation modes	
Launch ICE	Drive away	Launch	
Launch EM		Normal	
Launch both (boost)		Hill Climbing	
Launch both (LPS)			
Creep ICE	Drive away	Creep	
Creep EM			
Creep both			
Static driving ICE	Tip in	After closed pedal	Tip In
Static driving EM		After constant pedal	
Static driving both (boost)		During acceleration	
Static driving both (LPS)		Short tip in after closed pedal	
		Short tip in after constant pedal	
		Short tip in during acceleration	
	Tip out	After acceleration	Tip Out
		After constant speed	
		During deceleration	
	Acceleration	Full load	Accelerate
		Part load rising pedal	driver activates Cruise Control
		Part load constant pedal	from flat road into uphill
		Part load falling pedal	from flat road into downhill
			from uphill into flat road
			from downhill into flat road
			turns: downshift possible (ESP, ABS...)
			power electronics temp. rises above threshold
			HV battery temperature rises above / drops below threshold
			EM temperature rises above threshold
			Engine temperature rises above threshold
	Constant speed	Closed pedal	driver changes from ECO to Sport
		Open pedal	driver activates Cruise Control
			SOC drops below threshold
			SOC rises above threshold
			SOH
			from flat road into uphill
			from flat road into downhill
			from uphill into flat road
			from downhill into flat road
			turns: downshift possible (ESP, ABS...)
			power electronics temp. rises above threshold
			HV battery temperature rises above / drops below threshold
			EM temperature rises above threshold
			Engine temperature rises above threshold
Coast ICE	Deceleration	Without brake	Decelerate
Coast EM		Constant brake	braking

Coast both			driver activates Cruise Control
Stand still	Drive away	Vehicle stop	braking
		Rolling stop	decelerate
			from flat road into uphill
			from flat road into downhill
			from uphill into flat road
			from downhill into flat road
			turns: downshift possible (ESP, ABS...)
			power electronics temp. rises above threshold
			HV battery temperature rises above / drops below threshold
			EM temperature rises above threshold
			Engine temperature rises above threshold

## 6.2 Objektive Bewertung von Moduswechseln für die modellbasierte Kalibration von Hybridfahrzeugen

Zu Beginn dieses Kapitels sollen unterschiedliche Filter zur Signalverarbeitung erklärt werden, mit welchen AVL DRIVE<sup>TM</sup> operiert, da diese wichtig für die Berechnung von Parametern und Kriterien von AVL DRIVE<sup>TM</sup> sind. Anschließend soll in Kapitel 6.2.2 am Beispiel eines positiven Lastwechsels gezeigt werden, wie das AVL DRIVE<sup>TM</sup> Rating (DR) ermittelt wird. Hier ist anzumerken, dass im Rahmen dieser Diplomarbeit alle relevanten Hauptbetriebszustände, welche von AVL DRIVE<sup>TM</sup> detektiert werden (vergleiche dazu die Spalte „Main operation modes“ in Tabelle 6-1), betrachtet und analysiert wurden. Somit konnten Verbesserungsvorschläge hinsichtlich der Bewertung von Hybridfahrzeugen, vor allem für die Moduswechsel, erstellt werden. Im Zuge der hier vorliegenden schriftlichen Ausarbeitung wird repräsentativ für alle untersuchten Hauptbetriebszustände ein positiver Lastwechsel gezeigt.

Der Start der Umsetzung bzw. der Ausarbeitung von objektiven Qualitätskriterien für AVL DRIVE<sup>TM</sup> wurde durch zwei Fragestellungen begleitet. Die erste befasste sich damit, ob AVL DRIVE<sup>TM</sup>, welches die subjektive Wahrnehmung der Fahrbarkeit eines Fahrzeuges durch den jeweiligen Fahrer objektiv bewerten soll, überhaupt eine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Fahrmodi bei Hybridfahrzeugen machen sollte bzw. ob dies Vorteile bringen würde. Dazu wird in Kapitel 6.2.3 erklärt, wie eine Moduserkennung im Bezug auf die unterschiedlichen Fahrmodi von Hybridfahrzeugen, welche in der Manöverliste (Kapitel 5) definiert wurden, in AVL DRIVE<sup>TM</sup> realisiert werden könnte. Weiters zeigt Kapitel 6.2.4 prinzipiell, wie eine Bewertung der selben Hauptbetriebszustände, welche jedoch in unterschiedlichen Hybridmodi gefahren werden, durch AVL DRIVE<sup>TM</sup> dargestellt werden könnte und liefert eine Erklärung, warum diese Herangehensweise nicht weiterverfolgt wurde. Die zweite, aus Kalibrationssicht nicht weniger wichtige Frage, welche in dieser Diplomarbeit beantwortet werden sollte, war jene nach der Art der Qualitätskriterien. Sollen die Qualitätskriterien, welche die Güte eines Moduswechsels bewerten, Noten sein, also das AVL DRIVE<sup>TM</sup> Rating, welches aus unterschiedlichen Kriterien und deren jeweiliger Gewichtung

ermittelt wird, oder sollen physikalische Parameter für diese Bewertung herangezogen werden. Kapitel 6.2.5 zeigt eine Herangehensweise, bei der nicht das AVL DRIVE<sup>TM</sup> Rating, sondern die interessierenden Kriterien (physikalische Parameter) betrachtet werden, um damit eine Modellbildung der Auswirkungen von Labelvariationen auf die Qualität der Moduswechsel und anschließender Optimierung durchführen zu können.

Zum Abschluss von Kapitel 6.2 soll eine bereits in die Betaversion der nächsten AVL DRIVE<sup>TM</sup> Version implementierte Variante zur Moduserkennung gezeigt werden und dem Leser erklärt werden, warum eine solche Erkennung Vorteile bei der Modellbildung mit sich bringt.

### 6.2.1 Signalverarbeitung in AVL DRIVE<sup>TM</sup>

Die Informationen aus diesem Unterkapitel wurden im Grunde aus der Funktionsbeschreibung von AVL DRIVE<sup>TM</sup> (AVL, 2011) entnommen. AVL DRIVE<sup>TM</sup> arbeitet mit einer Anzahl an Filtern, welche selektiv bestimmte Teile eines Signales verstärken oder unterdrücken.

- Glättungsfilter (Smooth Filter): mittels diesem Filter wird das Signal geglättet, indem der Durchschnitt über ein definiertes Intervall gebildet wird. Im Beispiel von Abbildung 6-3 wäre dies ein Intervall von 20 Samples (erkennbar am Wert in der Klammer bei SMO(20)). Je größer das Intervall ist, umso ausgeprägter ist der Effekt.

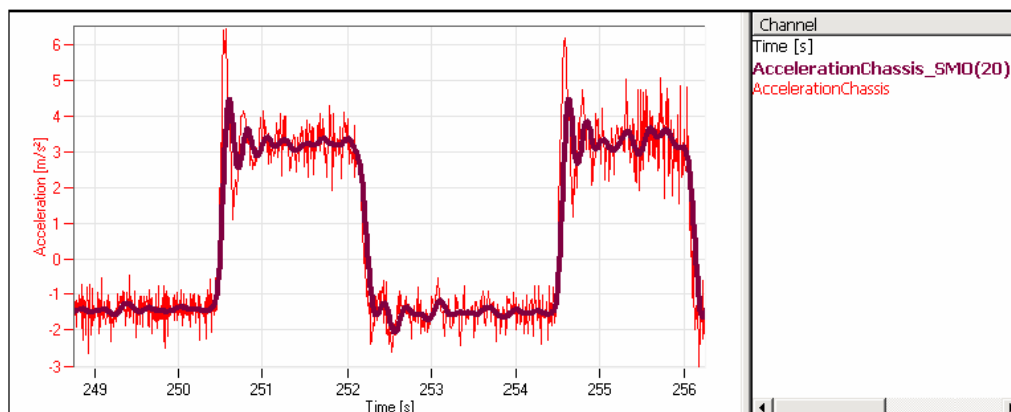


Abbildung 6-3: geglättetes Beschleunigungssignal (AVL, 2011)

- Tiefpassfilter (Lowpass Filter): dieser Filter lässt tiefe Frequenzen durch, schwächt jedoch höhere Frequenzen ab. In Abbildung 6-4 werden alle Frequenzen unter 4Hz durchgelassen (erkennbar am Wert in der Klammer bei LP(4)).

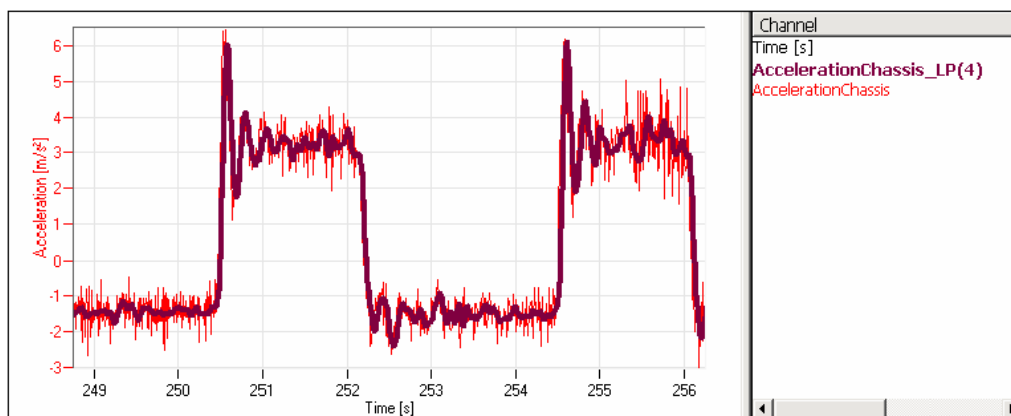


Abbildung 6-4: tiefpassgefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011)

Sehr oft verwendet werden bei der Auswertung mittels AVL DRIVE™ ein Tiefpassfilter mit der Grenzfrequenz von 10Hz, sowie einer mit gangabhängiger Grenzfrequenz. Ein mit gangabhängiger Grenzfrequenz tiefpassgefiltertes Signal wird in AVL DRIVE™ mit LP(x) gekennzeichnet, wobei für x die Grenzfrequenz des jeweiligen Ganges eingesetzt wird (bspw. LP(G3) für ein tiefpassgefiltertes Signal mit der Grenzfrequenz des dritten Ganges). Die gangabhängigen Grenzfrequenzen können per vorgegebener Prozedur mittels AVL DRIVE™ sehr einfach herausgefahren werden und sind die Eigenfrequenzen des Antriebstranges im jeweiligen Gang.

- Hochpassfilter (Highpass Filter): ist das Gegenstück zum Tiefpassfilter. Der Hochpassfilter lässt alle hohen Frequenzen durch und schwächt niedrige ab. Im Beispiel aus Abbildung 6-5 werden alle Frequenzen über 5Hz durchgelassen (fett gezeichneter Verlauf, HP(5)), niedrigere Frequenzen werden abgeschwächt.

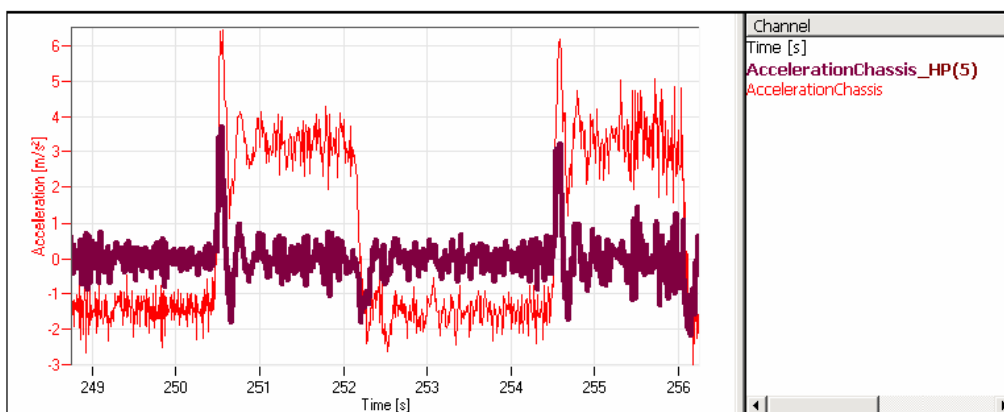


Abbildung 6-5: hochpassgefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011)

- Quadratischer Mittelwert (root mean square, RMS): der quadratische Mittelwert ist ein Maß für eine variierende Größe, bei der größere Werte einen stärkeren Einfluss haben als kleinere. Der quadratische Mittelwert einer Folge aus n Werten ist durch folgende Formel definiert:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}}$$

Abbildung 6-6 zeigt das hochpassgefilterte Signal (Grenzfrequenz 5Hz) und dessen RMS-Wert über ein definiertes Intervall.

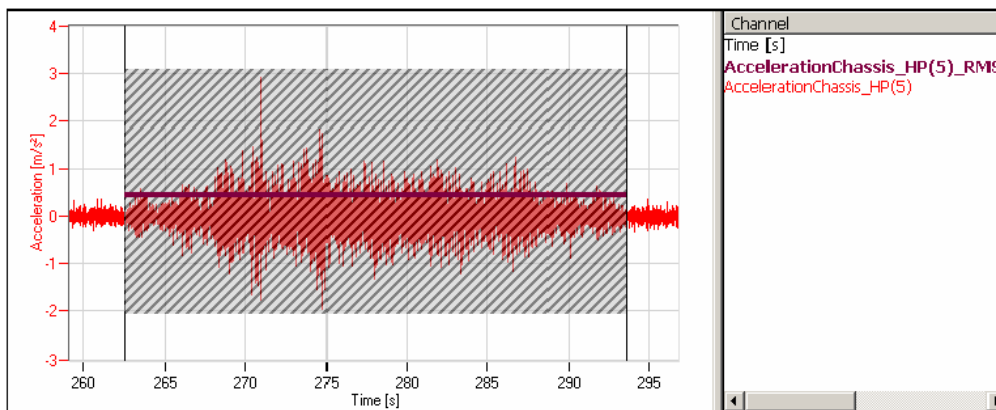


Abbildung 6-6: RMS-gesättigtes Beschleunigungssignal (AVL, 2011)

- Vibration dose value (VDV): dieser Wert ist ein Maß für eine variierende Größe, bei der einzelne hohe Amplituden einen sehr viel stärkeren Einfluss auf den VDV-Wert haben als bei der quadratischen Mittelwertbildung. Der VDV-Wert einer Folge aus n Werten ist durch folgende Formel definiert:

$$x_{VDV} = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^n x_i^4} = \sqrt[4]{x_1^4 + x_2^4 + \dots + x_n^4}$$

Abbildung 6-7 zeigt wieder das hochpassgefilterte Signal (Grenzfrequenz 5Hz) und dessen VDV-Wert über ein definiertes Intervall. Zu sehen ist hier der höhere Wert des VDV-Signales im Vergleich zum RMS-Wert in Abbildung 6-6.

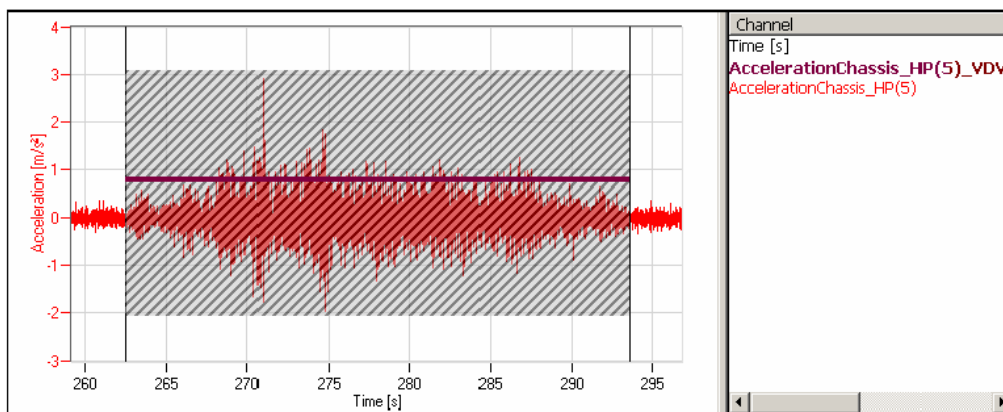


Abbildung 6-7: VDV-geschnittenes Beschleunigungssignal (AVL, 2011)

- Bandpassfilter: dieser Filter lässt ein Band von Frequenzen (obere und untere Grenzfrequenz wird festgelegt) durch und schwächt höhere und niedrigere Frequenzen ab. Abbildung 6-8 zeigt ein bandpassgefiltertes Signal, dessen obere Grenzfrequenz 75Hz und untere Grenzfrequenz 2Hz ist.

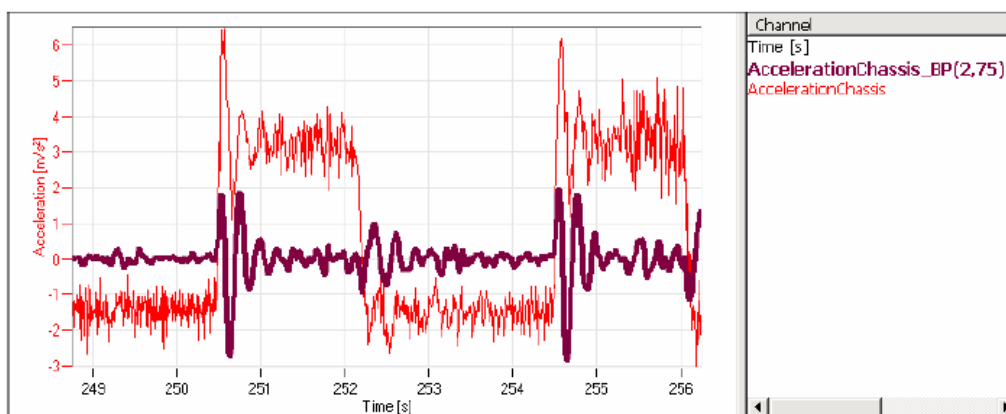


Abbildung 6-8: Bandpassgefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011)

Die Vorstellung dieser Filter soll helfen, die in den nächsten Kapiteln gezeigten Kurzbezeichnungen der Filter sowie deren Filterart zu verstehen. Auch sollen Parameter, welche für die Bewertung der Kalibrierungsaufgaben verwendet werden, diesen Filtern zugeordnet werden. Zu erwähnen ist noch, dass die Art und Weise der Benützung der Filter, sprich warum ein Parameter aus einem Signal der jeweiligen Filterart berechnet wird, aus langjähriger Erfahrung des AVL DRIVE<sup>TM</sup> Entwicklungsteams und Rückmeldung aus Kundenprojekten entstanden ist.



## 6.2.2 Bewertung durch AVL DRIVE™ Rating

Wie eine Bewertung eines Betriebszustandes in AVL DRIVE™, das sogenannte AVL DRIVE™ Rating, zu Stande kommt, soll hier gezeigt werden. Abbildung 6-9 zeigt einen möglichen Verlauf des tiefpassgefilterten Beschleunigungssignales (rot) und den Verlauf der Pedalposition (schwarz) bei einem positiven Lastwechsel (zügiges Erhöhen der Fahrpedalstellung).

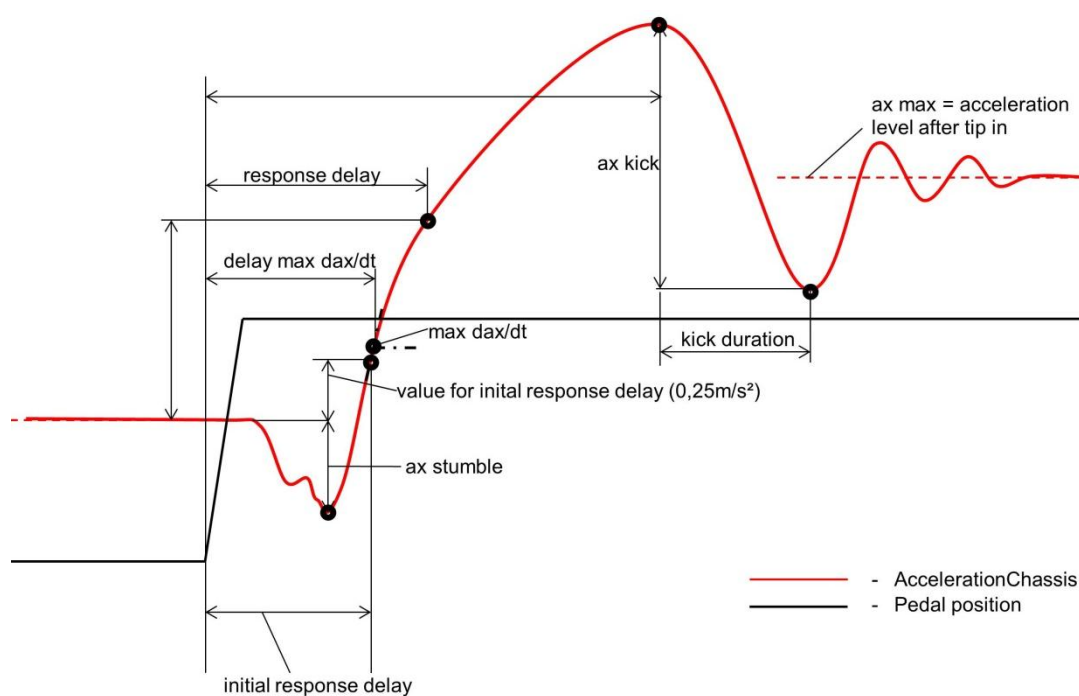


Abbildung 6-9: möglicher Verlauf des Beschleunigungssignales beim positiven Lastwechsel

Eingetragen in der Abbildung 6-9 sind neben dem zeitlichen Verlauf des Beschleunigungssignals und der Pedalposition auch markante Amplituden sowie zeitliche Dauern (zeitliche Abstände zwischen markanten Punkten) des Beschleunigungssignales, welche von AVL DRIVE™ zur Bewertung dieses Betriebszustandes herangezogen werden. Mit der größten Gewichtung in das Rating des positiven Lastwechsels geht der Einzelschlag (ax kick) ein. Je größer dieser ist, umso schlechter fällt die Note für diesen Betriebszustand aus. Mit einer etwas kleineren Gewichtung werden Mehrfachschwingungen (Jerks), welche nach dem ersten Lastschlag auftreten können, benotet. Die Anzahl und Größe der Amplitude dieser Schwingungen bestimmen das Rating für dieses Kriterium, wobei viele Mehrfachschwingungen und große Amplituden ein schlechtes Rating nach sich ziehen. Weiters werden, mit hohen Gewichtungen, der Lastschlag (maximale positive Amplitude des Beschleunigungssignales nach dem Lastwechsel, Initial bump), die Ansprechverzögerung (Response delay), Drehzahlüberschwingen (Flare), Drehmomentaufbau (Torque build up) und Absolutes Moment (Absolute torque) berücksichtigt. Weiters wirken sich, jedoch weniger stark, ein möglicher Drehmomenteinbruch (Stumble), die Gleichförmigkeit des Momentaufbaus (Torque smoothness), Vibrationen (Vibrations) und Geräusche (Noise) aus. Weiters fließen in die einzelnen Ratings noch Abhängigkeiten bzw. Korrekturen für die

Drehzahl, den eingelegten Gang etc. ein, sowie Modellvorstellungen für eine Abhängigkeit des Drehmomentes von Drehzahl und Fahrpedalstellung.

Folgend soll dafür ein Beispiel gezeigt werden. Da ein Fahrzeughersteller in seinen Datenblättern oft nur das maximale vom Motor lieferbare Moment angibt, welches für Vollast in einem bestimmten Drehzahlbereich gilt, musste in AVL DRIVE<sup>TM</sup> die Überlegung einfließen, wie man das Moment, welches der Motor bei jeder beliebigen Drehzahl und Pedalstellung liefert, ermitteln kann. Diese Informationen würde man aus dem zugehörigen Pedalkennfeld des Fahrzeugherstellers gewinnen können, welches jedoch nicht immer zur Verfügung steht.

Aus einer Gegenüberstellung eines von AVL DRIVE<sup>TM</sup> „erwarteten Moments“ und dem tatsächlichen Moment, welches AVL DRIVE<sup>TM</sup> aus der aktuellen Fahrzeuglängsbeschleunigung berechnet, wird ein Kriterium „Absolutes Moment“ ermittelt. Dazu wird die Fläche unter dem Verlauf des „erwarteten Moments“ von Triggerstart bis Triggerende in Relation zur Fläche unter dem Verlauf des durch die Fahrzeuglängsbeschleunigung berechneten tatsächlichen Moments im selben Zeitbereich bewertet.

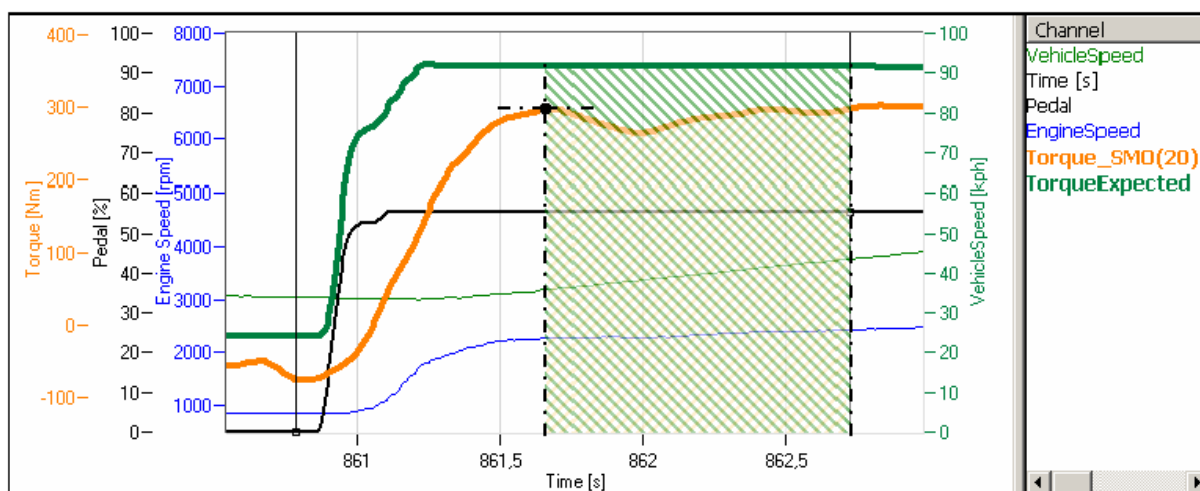


Abbildung 6-10: Bewertung des „absoluten Moments“ (AVL, 2011)

Der Einfluss der Motordrehzahl auf das zu „erwartende Moment“ wird durch einen Graphen wie in Abbildung 6-11 dargestellt, berücksichtigt. Die Form dieses Graphen hängt vom Typ des Verbrennungsmotors ab und ist in AVL DRIVE<sup>TM</sup> hinterlegt.

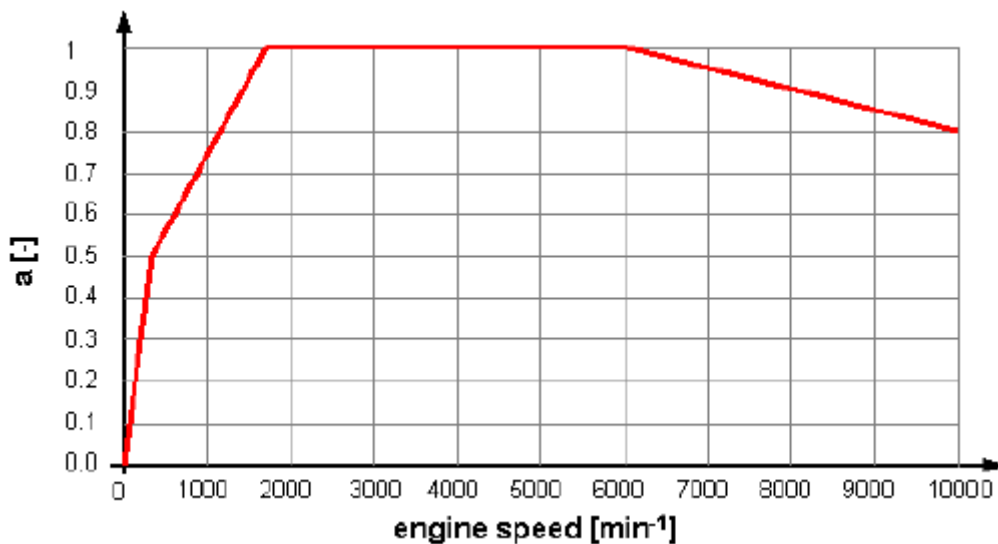


Abbildung 6-11: Korrekturfaktor zur Berechnung des Motormoments in Abhängigkeit von der Drehzahl (AVL, 2011)

Somit ergibt sich ein „erwartetes Moment“ für unterschiedliche Drehzahlen durch

$$\text{Erwartetes Moment} = \text{Nennmoment} * a$$

mit  $a$  als Funktion der Motordrehzahl. Ähnlich wird der Einfluss der Pedalposition abgebildet.



Abbildung 6-12: Korrekturfaktor zur Berechnung des Motormoments in Abhängigkeit von der Fahrpedalposition (AVL, 2011)

Für verschiedene Fahrpedalpositionen wird das „erwartete Moment“ gemäß der Formel

$$\text{Erwartetes Moment} = \text{Nennmoment} * b$$

berechnet, wobei  $b$  eine Funktion der Fahrpedalposition ist. Die Form dieses Graphen (Abbildung 6-12) ist abhängig von der Fahrzeugklasse (Compact, Large, Luxus, Medium, Micro, Pickup Truck, Small, Sportive, SUV...). Somit ergibt sich ein „erwartete Moment“ abhängig von Motordrehzahl und Fahrpedalposition durch

$$\text{Erwartetes Moment} = \text{Nennmoment} * a * b$$

Das tatsächliche Drehmoment wird von AVL DRIVE<sup>TM</sup> laut folgender Formel berechnet:

$$\text{tatsächliches Moment [Nm]} = \frac{r_{dyn}}{i} * (F_W + a_x [m/s^2] * k_m * m)$$

$r_{dyn}$ ...dynamischer Raddurchmesser [m]

$i$ ...Gesamtübersetzung (Getriebe und Differential)

$F_W$ ...Fahrwiderstandskräfte (Roll-, Luft- und Steigungswiderstand)

$k_m$ ...Drehmassenzuschlagsfaktor

$m$ ...Fahrzeugmasse [kg]

Zusätzlich fließen in die Berechnung des „erwarteten Momentes“ noch Faktoren wie Leistungsreduktion durch Lufttemperatur und Umgebungsdruck ein.

### 6.2.3 Möglichkeiten der Moduserkennung

Um, wie oben schon erwähnt, die Änderungen in AVL DRIVE<sup>TM</sup> so klein wie möglich ausfallen zu lassen, bestand die Aufgabe darin, möglichst vorhandene Kanäle, Trigger etc. zur Unterscheidung zwischen den verschiedenen Hybridfahrmodi zu verwenden. Dem ging die Überlegung voraus, wie ein Betriebszustand (Modus) eines Fahrzeuges eindeutig erkannt werden kann. Meist genügt eine festgelegte Grenze eines Drehzahlwertes oder des Drehmomentes etc., mittels derer man zwischen den Modi unterscheiden kann. Folgend sind die Trigger aufgeführt, welche für eine eindeutige Unterscheidung der Hybridmodi unentbehrlich sind:

- Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine: damit kann bestimmt werden, ob der Verbrennungsmotor zum aktuellen Zeitpunkt läuft oder abgestellt ist
- Drehmoment des E-Motors: beim Parallelhybrid kann die E-Maschine neben dem Betrieb mit positivem oder negativem Drehmoment auch nur leer (ohne Moment) mitlaufend betrieben werden
- Status der Trennkupplung: bei geöffneter Trennkupplung ist nur ein rein elektrischer Betrieb des Hybridfahrzeuges möglich
- Fahrzeuggeschwindigkeit: mittels der Fahrgeschwindigkeit kann zwischen stehendem (Stand still) und fahrendem Fahrzeug unterschieden werden
- Stellung des Wahlhebels: die eingelegte Fahrstufe (P, R, N, D, S, M) kann mittels der Wahlhebelstellung eindeutig und einfach identifiziert werden

- Fahrpedalstellung: mittels Fahrpedalstellung kann zwischen den Modi, bei denen der Lenker per Fahrpedal Moment anfordert (Launch und Static driving) sowie Schubetrieb (Coast) und Kriechen (Creep), den Modi, bei denen das Fahrpedal nicht betätigt wird, unterschieden werden.
- Fahrzeugbeschleunigung: mittels Fahrzeugbeschleunigung kann unterschieden werden, ob das Fahrzeug gerade beschleunigt, verzögert oder sich mit konstanter Geschwindigkeit vorbewegt. Zusätzlich kann gegebenenfalls zwischen einer normalen und sportlichen Fahrweise (höhere Beschleunigung) unterschieden werden.
- Bremspedalstellung: um beim Modus Coast zwischen Bremsungen und Schubetrieb zu unterscheiden.
- Gang: hiermit ist nicht der eingelegte Gang (1, 2, 3, etc.) des Getriebes gemeint, sondern der Status ob ein Gang eingelegt ist oder nicht (Neutral). Zur Unterscheidung zwischen Schubetrieb und dem sogenannten Segeln

Tabelle 6-2 stellt die Triggerbedingungen für eine Moduserkennung für alle 15 Fahrzustände, welche in Kapitel 5 beim Erstellen der Moduswechselmatrix eingeführt wurden, dar.

Tabelle 6-2: Triggerbedingungen zur Erkennung des Betriebsmodus

	$n_{VKM}$	$M_{EM}$	Start-up element	$v_{Fzg}$	Lever position	Gear	pp	$a_x$	bp
Launch ICE	> idle	= 0	Slipping	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Launch EM	= 0	> 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Launch both (boost)	> idle	> 0	Slipping	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Launch both (LPS)	> idle	< 0	Slipping	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Creep ICE	> idle	= 0	Slipping	> 0	Not P/N	Engaged	= 0		= 0
Creep EM	= 0	> 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	= 0		= 0
Creep both	> idle	< 0	Slipping	> 0	Not P/N	Engaged	= 0		= 0
Static driving ICE	> idle	= 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Static driving EM	= 0	> 0	Open	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Static driving both (boost)	> idle	> 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Static driving both (LPS)	> idle	< 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	> 0		= 0
Coast ICE	> idle	= 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	= 0		$\neq 0$
Coast EM	= 0	< 0	Open	> 0	Not P/N	Engaged	= 0		$\neq 0$
Coast both	> idle	< 0	Closed	> 0	Not P/N	Engaged	= 0		$\neq 0$
Stand still			Open	= 0				= 0	

#### 6.2.4 Unterscheidung in unterschiedliche Hybrid-Fahrmodi

Ein erster Ansatz für die Unterscheidung von unterschiedlichen Betriebsmodi für Hybridfahrzeuge bestand darin, die vorhandenen AVL DRIVE<sup>TM</sup> Hauptbetriebszustände in weitere zu unterteilen und zu detektieren, ob dieser Betriebszustand rein elektrisch oder konventionell gefahren wurde bzw. ob ein Motorstart oder Motorstop während dessen aufgetreten ist. Beispielhaft soll hier wieder ein positiver Lastwechsel betrachtet werden. Wie in Kapitel 6.2.2 genauer beschrieben, bewertet AVL DRIVE<sup>TM</sup> gegenwärtig einen positiven Lastwechsel mittels Kriterien, welche in Tabelle 6-3 aufgelistet sind (vergleiche dazu auch Abbildung 6-9, die englischen Bezeichnung wurden aus der AVL DRIVE<sup>TM</sup>-Nomenklatur übernommen):

Tabelle 6-3: Kriterien eines Tip In

Englische Bezeichnung:	Deutsche Bezeichnung:	Gebildet aus Signal:
Kick	Einzelschlag	Beschleunigung
Initial bump	Lastschlag	
Jerks	Mehrfachschwingungen	
Response delay	Ansprechverzögerung	
Stumble	Drehmomenteinbruch	
Torque build up	Drehmomentaufbau	
Torque smoothness	Gleichförmigkeit des Momentaufbaus	Drehmoment
Absolute torque	Absolutes Moment	
Flare	Drehzahlüberschwingen	Drehzahl
Vibrations	Vibrationen	Vibrationssensor
Noise	Geräusch	Geräuschsensor

Eine neu eingeführte Definition eines Tip In, bei dem ein Zustart der Verbrennungskraftmaschine auftritt, müsste demnach mit Kriterien aus dem positiven Lastwechsel und dem Motorstart bewertet werden. Tabelle 6-4 zeigt die AVL DRIVE™ Kriterien, die demnach für die Bewertung dieses neuen Hauptbetriebszustandes herangezogen werden müssten. Die Kriterien Vibrationen (vibrations) und Geräusch (noise) kommen sowohl im Rating des positiven Lastwechsels und des Motorstarts vor. Ein „stumble“ wird auch in beiden Hauptbetriebszuständen detektiert und zu dessen Bewertung herangezogen, bedeutet aber nicht bei beiden Operationsmodi dasselbe. Beim positiven Lastwechsel bedeutet dieser einen (kurzen) Beschleunigungseinbruch, beim Motorstart ist damit ein (kurzer) Drehzahleinbruch vorm Erreichen der maximalen Drehzahl während dieses Motorstarts gemeint.

Tabelle 6-4: Beispiel Kriterien für Tip In mit Motorstart

Neuer Hauptbetriebszustand	Original Hauptbetriebszustand	AVL DRIVE™ Kriterium	Gebildet aus Signal für:
Tip In with Motor start	Tip In	Kick	Beschleunigung
		Initial bump	
		Jerks	
		Response delay	
		Stumble	
		Torque build up	
		Flare	Drehzahl
		Torque smoothness	Moment
		Absolute torque	
		Vibrations	Vibrationssensor
		Noise	Geräuschsensor
	Engine Start	Surge	Beschleunigung
		Surge start	Drehzahl
		Surge stop	
		Start duration	
		Starter speed	
		Speed pickup duration	
		Engine speed smoothness	
		Stumble	
		Overshoot speed	
		Undershoot speed	
		Idle stabilization duration	
		Restart response duration	
(Noise)	Vibrationssensor		
(Vibrations)	Geräuschsensor		

Ein Nachteil dieser Herangehensweise ist, dass man theoretisch von mindestens drei unterschiedlichen Bewertungen für einen vom Fahrer jeweils als gleich empfundenen



Betriebszustandes ausgehen muss. Ein „allgemeiner“ Fahrer, welcher durch einen Tritt auf das Fahrpedal einen positiven Lastwechsel auslöst, damit sein Fahrzeug beschleunigt, wird sich im Normalfall nicht dafür interessieren, welche der Antriebsmaschinen das nötige Moment für die Beschleunigung zur Verfügung stellt. Er entscheidet auch nicht, ob das nötige Moment an den Rädern durch zuboosten von Drehmoment der elektrischen Maschine zum gelieferten Moment der Verbrennungskraftmaschine oder durch ein überschüssiges Moment der VKM, bei dem die E-Maschine als Generator betrieben wird und das Mehrmoment zum Laden der Hochvolt-Batterie genutzt wird, (Lastpunktverschiebung) zu Stande kommt. Hier müsste in der Bewertung durch AVL DRIVE<sup>TM</sup> jedoch eine Unterscheidung getroffen werden, ob der positive Lastwechsel und die damit verbundene Erhöhung des Drehmomentes nur durch die E-Maschine, nur die Verbrennungskraftmaschine oder beiden zusammen bewerkstelligt wird. Somit würde für diese Bewertung jeweils eine unterschiedliche Anzahl an Kriterien für den Lastwechsel eine unterschiedliche Gewichtung dieser Kriterien voraussetzen, damit in Summe eine Gewichtung von 100% vorhanden ist.

Eine immer gleiche Änderung des Fahrpedalwertes (bspw. fährt der Fahrer mit 5 % Pedalstellung und erhöht diese auf 20%) könnte unter Umständen große Änderungen in der Bewertung des Tip ins haben. Ein Szenario wäre, dass der rein elektrisch durchgeführte Lastwechsel eine gute Note bekommt, da der Verlauf des Beschleunigungssignales für den Fahrer komfortabel ist und mit einer guten Ansprechdauer einhergeht. Derselbe positive Lastwechsel, bei dem jedoch die Verbrennungskraftmaschine zugestartet wird, könnte denselben Beschleunigungsverlauf haben. Jedoch wurde der Motorstart vom Hersteller träge appliziert, dauert deshalb lange und wird dadurch von AVL DRIVE<sup>TM</sup> schlecht bewertet. Die subjektive Wahrnehmung des Fahrers in Bezug auf den Beschleunigungsverlauf, der bei beiden Lastwechseln dieselbe wäre, würde ein gleiches Rating für beide nahelegen. Jedoch muss AVL DRIVE<sup>TM</sup> als Benchmarktool darauf hinweisen, dass der Motorstart nicht optimal, da träge, ist. Würde dies aber im selben Rating des Hauptbetriebszustandes Einfluss nehmen, würde dies die Gesamtnote verschlechtern und somit die Bewertung verfälschen bzw. aus Sicht eines Fahrers schlecht bzw. nicht nachvollziehbar machen.

### **6.2.5 Bewertung der Moduswechsel durch physikalische Parameter aus AVL DRIVE<sup>TM</sup>**

Die Idee, die Bewertung bzw. Optimierung der Kalibration durch physikalische Parameter zu bewerkstelligen, entstand während dem Einsatz der automatisierten Kalibration für Doppelkupplungs- und Automatikgetriebe ACT<sup>TM</sup>. Bei der Entwicklung der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen wurde diese Idee wieder aufgegriffen und weiterverfolgt. Abbildung 6-13 zeigt denselben Betriebszustand wie Abbildung 6-9 aus Abschnitt 6.2.2. Die Idee hinter der Bewertung und Optimierung der Kalibration mittels physikalischer Größen ist nun jene, dass ein Kunde einen gewünschten Beschleunigungsverlauf qualitativ definieren

kann. Ihm stehen dafür am Beispiel des positiven Lastwechsels sechs Punkte zur Verfügung (die schwarzen Kreise im Verlauf des Beschleunigungssignales in Abbildung 6-13). Zusätzlich kann der Kunde auch bis zu zwei Optimierungsziele und 22 Beschränkungen angeben, um so nach der Optimierung eine gewünschte Fahrbarkeit für sein Hybridfahrzeug zu erhalten.

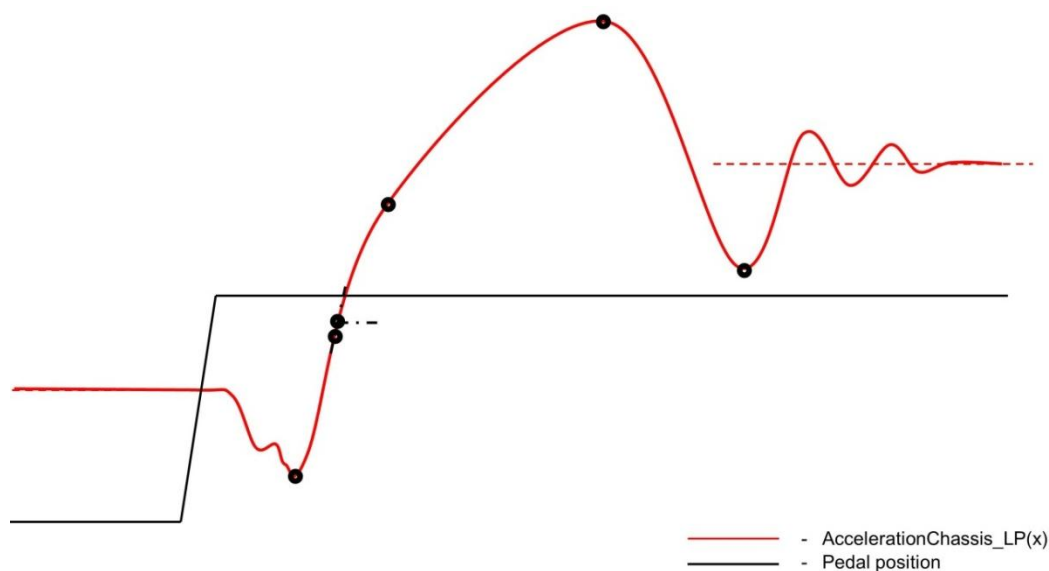


Abbildung 6-13: qualitativer Beschleunigungsverlauf

Ein Optimierungsziel bedeutet hier, dass diese physikalische Größe maximiert bzw. minimiert werden kann. Abbildung 6-14 zeigt die zusätzlich definierten Punkte des Beschleunigungssignales und die Benennungen der Beschleunigungsamplituden und zeitlichen Dauern, welche für die Optimierung der Kalibration von Interesse sind.

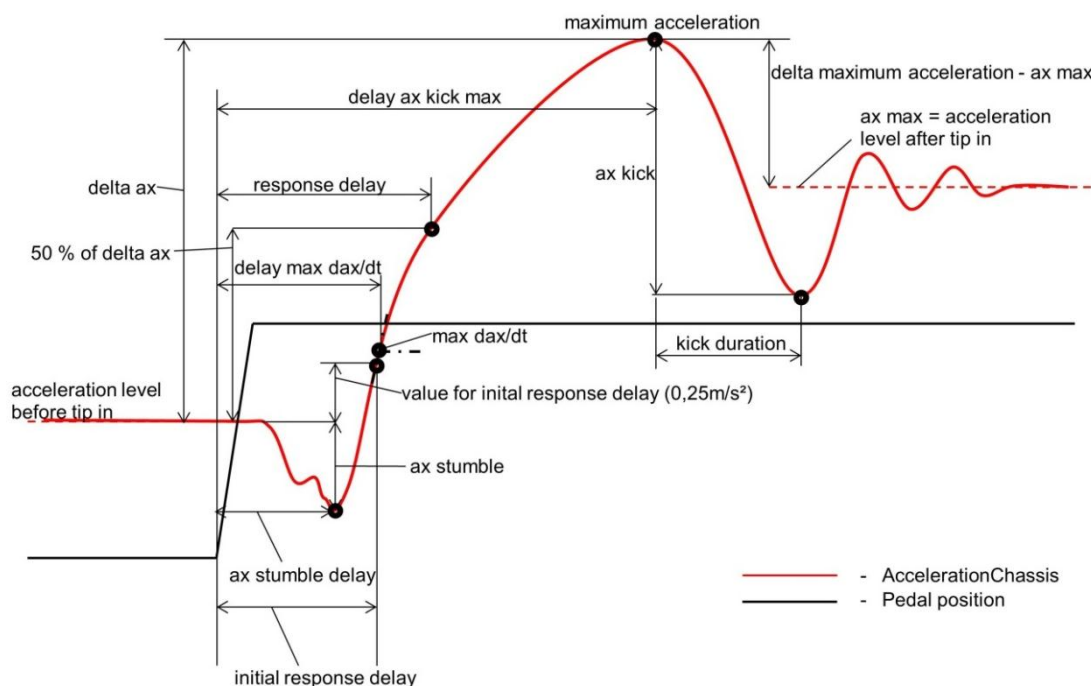


Abbildung 6-14: Benennung der markanten Punkte im Beschleunigungssignal

Der Kunde kann somit beispielsweise definieren, dass der Einzelschlag (ax kick) möglichst minimiert werden soll und als zweites Optimierungsziel eine möglichst kurze Ansprechverzögerung (Response delay) angeben. Als Beschränkungen kann er angeben, dass zum Beispiel der Lastschlag (maximaler Gradient des Beschleunigungsverlaufes) einen bestimmten Wert nicht überschreiten soll (aufgrund einer für den Fahrer unangenehm wahrnehmbaren ruckartigen Beschleunigung) und auch nicht unter einen bestimmten Wert fallen soll, da ein zu flacher Gradient des Beschleunigungsverlaufes einem Kunden das Gefühl geben kann, ein träges, unsportliches Fahrzeug zu bewegen.

Wie oben angedeutet, ist diese Betrachtung bzw. Bewertung jedoch nur für Kalibrationszwecke und deren Optimierung zielführend, da dabei wiederholt der selbe Betriebszustand bzw. dieselbe Betriebszustandsänderung im selben Betriebspunkt verglichen und optimiert wird. Ein objektiver Vergleich eines Betriebszustandes bei unterschiedlichen Betriebspunkten, wie es das AVL DRIVE<sup>TM</sup> Rating ermöglicht, ist hierdurch nicht mehr bzw. nur mit hohem Aufwand möglich, da keine Korrekturen für unterschiedliche Drehzahlen etc. verwendet werden. Auch ein Vergleich unterschiedlicher Fahrzeuge bzw. Fahrzeugklassen kann durch die reine Betrachtung von physikalischen Parametern nur schwer bewerkstelligt werden, da ein Sportwagen im Vergleich zu einer Luxuslimousine deutliche Unterschiede beim Beschleunigungsverhalten bzw. der Charakteristik des Beschleunigungsverlaufes aufweisen wird. Für objektive Vergleiche (Benchmarks) unterschiedlicher Fahrzeugklassen oder unterschiedlicher Modi eines Fahrzeuges (Sport, Comfort, Eco...) bietet sich das AVL DRIVE<sup>TM</sup> Rating natürlich an.

#### **6.2.6 Beispiel der implementierten Variante zur Moduserkennung in einem Betriebszustand**

Da im Zuge der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen während dem Prüflauf am Prüfstand nicht nur dieselben Manöver abgefahren werden, sprich wiederholt derselbe positive Lastwechsel, sondern eine Mischung aus zum Beispiel unterschiedlichen Lastwechseln, negativ sowie positiv, längere Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit, bei denen Motorstarts und –stops auftreten, Verzögerungen mit und ohne betätigten Bremspedal, ein Segeln, Kriechen sowie Anhalten des Fahrzeuges etc. bei unterschiedlichen Betriebspunkten auftreten wird, jedoch für eine Optimierung, wie in diesem Werk schon häufiger erwähnt, jeweils derselbe Betriebszustand, welcher im selben Betriebspunkt gefahren wurde, herangezogen werden muss, musste eine nötige Filterung sowie Sortierung nach dem Prüflauf in AVL CAMEO<sup>TM</sup> ebenfalls bedacht werden, welche nur mit Informationen, welche von AVL DRIVE<sup>TM</sup> an AVL CAMEO<sup>TM</sup> gesendet werden, bewerkstelligt werden kann.

Abbildung 6-15 zeigt den oben beschriebenen Sachverhalt anhand eines Beispiels aus der automatisierten Kalibration für Automatik- und Doppelkupplungsgetriebe. In diesem Ausschnitt eines Testplans von 2-3 Hochschaltungen ist deutlich zu sehen, dass diese

Schaltungsart in unterschiedlichen Betriebspunkten wiederholt durchgeführt wurde. Obwohl es sich nur um die ein und dieselbe Schaltungsart (2-3 Hochschaltung) handelt, welche zu optimieren war, sieht man deutlich, dass es sich um eine sehr große Anzahl von ausgelösten Schaltungen in unterschiedlichen Betriebspunkten (Drehzahl und Drehmoment bzw. Fahrzeuggeschwindigkeit und Fahrpedalstellung) während des Testlaufs handelt (die auftretenden, weil nötigen Rückschaltungen vom dritten in den zweiten Gang müssen ebenfalls im Testplan aufscheinen, da diese sonst nicht von AVL DRICON<sup>TM</sup> ausgeführt werden können).

Run List:		Testrun information		Number			
	Operating point short name	Global number	Group number	Operating point run number	Shift type run number	Effective number	Runtime
1	0% 0kmh, 01	0	0	0	0	0	00:00:00
2	0% 20,3kmh, 12	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
3	43,6% 51,6kmh, 23	241	23	7	241	0	00:00:13.2890000
4	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:13.1280000
5	37,8% 36,4kmh, 23	82	8	8	82	0	00:00:10.9000000
6	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
7	38,1% 44,2kmh, 23	155	15	8	155	0	00:00:10.9000000
8	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:10.4680000
9	33,4% 51,3kmh, 23	231	22	8	231	0	00:00:10.9000000
10	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:10.4870000
11	32,3% 37,1kmh, 23	98	10	2	98	0	00:00:10.9000000
12	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
13	0% 20,3kmh, 21	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
14	0% 20,3kmh, 12	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
15	44,5% 43,5kmh, 23	135	13	5	135	0	00:00:11.6270000
16	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:11.7030000
17	51,5% 44,5kmh, 23	175	17	6	175	0	00:00:10.9000000
18	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:13.1090000
19	36,6% 29,7kmh, 23	13	2	3	13	0	00:00:10.9000000
20	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
21	48,6% 29,7kmh, 23	30	3	9	30	0	00:00:10.9000000
22	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:10.1970000
23	49,2% 52kmh, 23	252	24	3	252	0	00:00:10.9000000
24	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:14.4170000
25	0% 20,3kmh, 21	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
26	0% 20,3kmh, 12	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
27	29,2% 58,7kmh, 23	318	29	3	318	0	00:00:15.5540000
28	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:10.6400000
29	38,9% 51kmh, 23	218	21	9	218	0	00:00:10.9000000
30	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:11.7190000
31	28,1% 51kmh, 23	206	20	3	206	0	00:00:10.9000000
32	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
33	0% 41,7kmh, 23	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
34	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
35	44,5% 43,5kmh, 23	138	13	8	138	0	00:00:10.9000000
36	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:11.7030000
37	0% 20,3kmh, 21	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
38	0% 20,3kmh, 12	0	0	0	0	0	00:00:09.9000000
39	51,1% 58,7kmh, 23	331	30	9	331	0	00:00:14.4200000
40	0% 41,7kmh, 32	0	0	0	0	0	00:00:15.8860000

Abbildung 6-15: Testplan von AVL CAMEO TRANSMISSION<sup>TM</sup> für die Kalibration einer 2-3 Hochschaltung

Eine Sortierung erfolgt bei ACT<sup>TM</sup> so, dass es möglich ist, nur bspw. alle 2-3 Hochschaltungen bei einer bestimmten Fahrzeuggeschwindigkeit und einer festgelegten Fahrpedalstellung anzuzeigen. Bei dieser einen Schaltungsart und dem festgelegten Betriebspunkt kann somit eine Modellbildung der Auswirkungen der Labelvariationen in der TCU erfolgen.

Ähnlich muss auch in der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen vorgegangen werden. Hier kann es bspw. von Interesse sein, ähnlich der oben erwähnten Schaltungsart, alle

---

positiven Lastwechsel während einer bestimmten Fahrzeuggeschwindigkeit, bei denen eine Steigerung der Fahrpedalposition von 10% auf 30% und ein Motorstart erfolgte, anzuzeigen und damit eine Modellbildung zu realisieren, um zB. den Motorstart während diesem Hauptbetriebszustandes zu optimieren. Weiters ist eine Sortierung auch bei der Verwendung von AVL DRIVE™ als Benchmarktool (auch abseits des Prüfstandes, zB. auf der Teststrecke...) von Interesse, da es somit vereinfacht wird, nur diese Hauptbetriebszustände anzuzeigen, bei denen ein Motorstart oder Motorstop aufgetreten ist bzw. welche Hauptbetriebszustände rein elektrisch durchfahren wurden. Dazu zeigt Abbildung 6-16 drei neu in AVL DRIVE™ eingeführte Parameter. Auch in älteren AVL DRIVE™ Versionen (zB. Version 3.3) war es möglich, nur bestimmte Hauptbetriebszustände anzuzeigen. Ab der kommenden Version 3.5 wird es nun möglich sein, diese Hauptbetriebszustände auch nach aufgetretenen Motorstart, -stop oder einem rein elektrisch durchgeführten Betriebszustand zu sortieren.

Ist der Parameter „pure electric“ 1, so bedeutet dies, dass der gerade betrachtete Betriebszustand im rein elektrischen Betrieb durchgeführt wurde. Ist der Parameter „autostart“ gleich 1, weist dieser darauf hin, dass im Bereich, in dem der jeweilige Hauptbetriebszustand erkannt worden ist, ein Motorstart aufgetreten ist, ein „autostart“ mit einem Wert von 0 bedeutet, dass kein Motorstart vorkam. Sehrwohl kann dies aber bedeuten, das schon vor dem Tip in die Verbrennungskraftmaschine im Einsatz war. Beim „autostop“ bedeutet der Wert 1, dass ein Motorstop während des betrachteten Betriebszustandes erkannt worden ist, eine 0 hat die Bedeutung, dass kein Motorstop vorgekommen ist. Sind alle drei Parameterwerte gleich 0, weiß der Anwender, dass dieser Hauptbetriebszustand mit laufender Verbrennungskraftmaschine gefahren wurde.

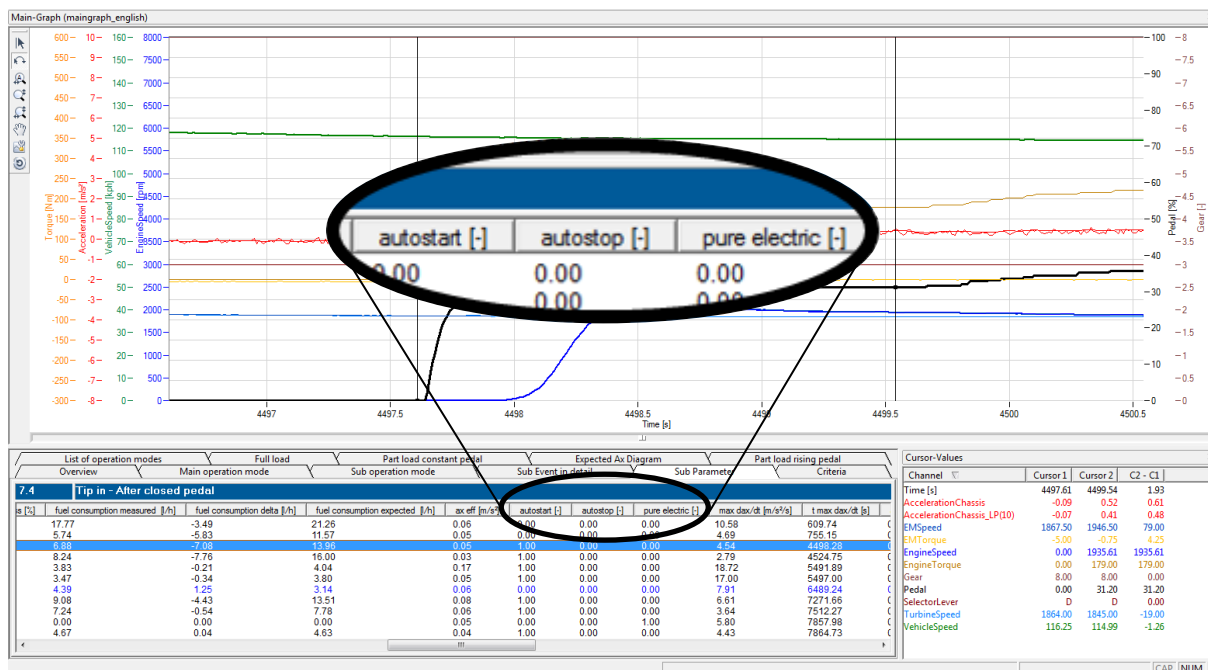


Abbildung 6-16: Parameter zur Kennzeichnung von Motorstart, -stop und rein elektrischen Betrieb

### 6.3 Beispiel der Bewertung eines Motorzustarts während einer Konstantfahrt

In diesem Kapitel soll erklärt werden, warum sich Kapitel 6 nur mit der Bewertung eines positiven Lastwechsels, während dem ein Motorstart auftritt, auseinandersetzt, obwohl im realen Fahrbetrieb doch noch einige andere Betriebszustände vorkommen können und auch werden. Folgend sollen die betrachteten Fahrzustände noch einmal aufgezählt werden (vergleiche dazu Kapitel 6.1):

- **Drive away**
  - o **Normal**
  - o **Launch**
  - o **Creep**
  - o **Vehicle stop**
- **Tip In**
- **Tip Out**
- **Acceleration**
- **Constant speed**
- **Deceleration**

Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass alle für die modellbasierte Kalibration von Hybridfahrzeugen relevanten Betriebszustände (siehe Auflistung oben), welche durch das Tool AVL DRIVE™ detektiert werden (die Zuordnung der in der Manöverliste definierten Hybridmodi und auslösenden Events zu bestehenden AVL DRIVE™ Hauptbetriebszuständen wurde in Tabelle 6-1 gezeigt), betrachtet und analysiert wurden. Eine Beschreibung aller dieser für die modellbasierte Kalibration von Hybridfahrzeugen relevanten Betriebszustände

und der infrage kommenden Parameter würde den Rahmen dieses Werkes sprengen. Außerdem sieht man bei der Bewertung von einigen Betriebszuständen große Ähnlichkeiten. Ein positiver und negativer Lastwechsel unterscheiden sich bei der Bewertung durch AVL DRIVE™ Kriterien wenig. Auch der Betriebszustand Beschleunigen ist dem des Verzögerns in der Erstellung des AVL DRIVE™ Ratings sehr ähnlich.

Weiters wurden Betriebszustände, welche von AVL DRIVE™ zwar detektiert werden, jedoch nicht für eine Optimierung mittels HyHab™ infrage kommen, nicht beachtet. Beispielsweise wurde auf eine Betrachtung und Bewertung des Laufens der Verbrennungskraftmaschine am Stand (AVL DRIVE™ Betriebszustand Idle), wie es beim konventionellen Fahrzeug vorkommen kann (zB. beim Stehen vor einer roten Ampel) und von AVL DRIVE™ auch detektiert wird, verzichtet, da einerseits davon auszugehen ist, dass ein Hybridfahrzeug den Motor in einem solchen Fall abstellen würde und andererseits dies ein Thema der Motorapplikation wäre, welche nicht Teil von HyHab™ sein wird. HyHab™ wird, wie schon erwähnt, für die Optimierung von Betriebsmoduswechseln beim Hybridfahrzeug verwendet. Ebenso wurden Gangschaltungen nicht berücksichtigt, da eine Applikation und Optimierung dieser schon durch die bereits vorhandene Methodik ACT™ abgedeckt wird.

Beispielhaft für einen Betriebszustand, bei dem es sich nicht um einen positiven Lastwechsel handelt, soll hier eine Fahrt bei konstanter Geschwindigkeit betrachtet werden (Constant speed), während der ein Motorstart auftritt. Im Unterschied zu dem in den vorigen Kapiteln behandelten positiven Lastwechsel gibt es beim Betriebszustand „Constant speed“ keine Änderung des Antriebsmomentes, welche durch den Fahrer per Fahrpedal angefordert wird. Somit werden auch keine raschen Radmoment- und damit Beschleunigungsänderungen auftreten, welche zum Beispiel die schon erwähnten Mehrfachschwingungen, wie sie beim Lastwechsel auftreten können, vorkommen.

Hauptaugenmerk wird hier auf ein hochfrequentes (Start-)Ruckeln während des Motorstarts gelegt. Dieses würde sich im (hochpassgefilterten) Beschleunigungssignal widerspiegeln. Auch ein nicht optimales Schließen oder Öffnen der Trennkupplung zwischen Verbrennungskraftmaschine und Elektromotor kann für den Fahrer negativ empfundene Auswirkungen haben. Aufgrund der Trennung der in AVL DRIVE™ detektierten Hauptbetriebszustände (Tip in, constant speed, Motorstart etc.; siehe dazu auch Kapitel 6.2.4) sollte bzw. muss es für die Modellbildung in AVL CAMEO™ möglich sein zu unterscheiden, welcher dieser Betriebszustände der Auslöser der gegebenenfalls negativen Auswirkungen auf die empfundene Fahrbarkeit des Fahrers während eines Manövers war. Abbildung 6-17 und Abbildung 6-18 zeigen dies anschaulich an einer Messung mittels AVL DRIVE™ am Porsche Cayenne S Hybrid.

In Abbildung 6-17 ist derjenige Bereich zu sehen, in welchem AVL DRIVE™ einen Hauptbetriebszustand „Constant speed“ detektiert. Der Beginn dieses Bereiches wird jeweils

mit einer schwarzen senkrechten Linie gekennzeichnet. Die rote Linie zeigt das hochpassgefilterte Beschleunigungssignal (Grenzfrequenz 5Hz), die dunkelblaue Linie stellt den Verlauf der Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine über der Zeit dar. Eine Bewertung mittels Parametern, welche aus dem Verlauf des tiefpassgefilterten Beschleunigungssignal gebildet wurden, würde in diesem Betriebszustand wenig Sinn ergeben, da bei einer konstanten Fahrzeuggeschwindigkeit dieses Signal den Wert Null annehmen würde.

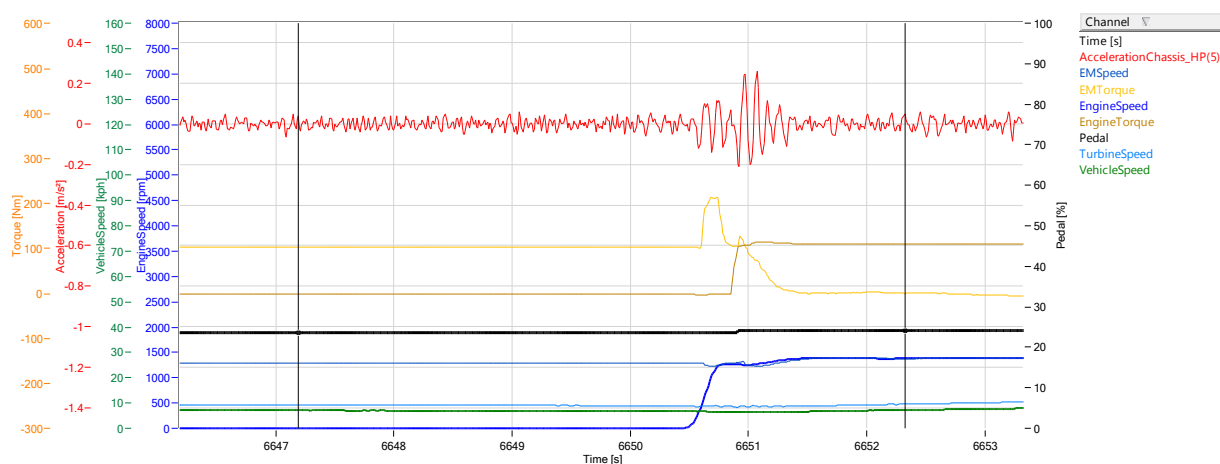


Abbildung 6-17: Triggerbereich für Constant speed

AVL DRIVE™ erkennt nicht nur den Bereich der konstanten Geschwindigkeit (Abbildung 6-17) sondern auch den Bereich, in dem die VKM gestartet wird (Abbildung 6-18), welcher sich in diesem Fall innerhalb des detektierten Hauptbetriebszustandes (Constant speed) befindet. Ein Motorstart wird von AVL DRIVE™ dann detektiert, wenn die Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine auf einen Wert von 30 U/min ansteigt und anschließend die Schwelle der Ansprindrehzahl übersteigt (einstellbare Wert in der AVL DRIVE™ Konfiguration). Ein Motorstart bei einem (Einwellen-)Parallelhybrid gilt als abgeschlossen, wenn die Drehzahl der Verbrennungskraftmaschine zur (gangabhängigen) Synchrondrehzahl konvergiert. Start und Ende der Detektion des Motorstarts durch AVL DRIVE™ werden in Abbildung 6-18 wieder durch die beiden senkrechte Linien dargestellt.

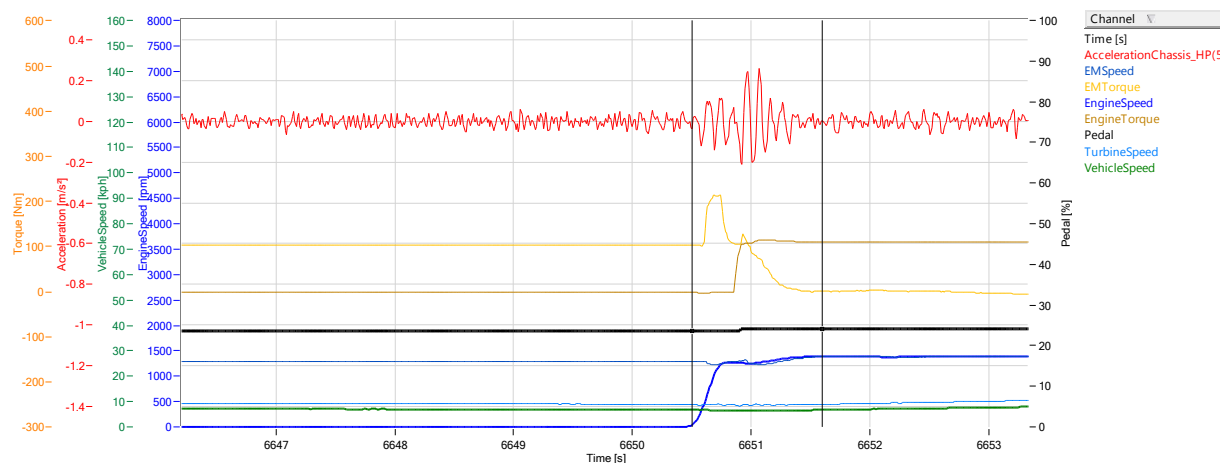


Abbildung 6-18: Triggerbereich für Motorstart



Aus dem Verlauf des hochpassgefilterten Beschleunigungssignales ist optisch sofort ersichtlich, dass für eine schlechtere Bewertung durch AVL DRIVE™ der Motorstart verantwortlich sein muss, da nur in diesem Bereich das Beschleunigungssignal starke Ausschläge zeigt. Jedoch reicht eine Darstellung als Graph, wie es in den oberen Abbildungen geschehen ist, für eine Modellbildung mittels AVL CAMEO™ nicht aus. AVL CAMEO™ müssen für eine Modellbildung physikalische Größen oder Ratings zur Verfügung stehen, damit das Tool eine Abhängigkeit zwischen einem schlecht applizierten Motorstart und den davon ausgehenden Auswirkungen auf das Beschleunigungssignal herstellen kann. Einen ersten Ansatz zur Lösung dieses Problems zeigt Abbildung 6-19. Ein VDV-Wert (siehe Kapitel 6.2.1) wird über den Bereich des Constant speed, in dem kein Motorstart auftritt (Bereich 1), und dem Bereich des Motorstarts (Bereich 2) gebildet. Zusätzlich kann ein dritter VDV-Wert für das Beschleunigungsverhalten nach dem Motorstart (Bereich 3) berechnet werden. Die in der Abbildung eingefügten roten Linien über dem Beschleunigungssignal sollen qualitativ den VDV-Wert der einzelnen Bereiche widerspiegeln.

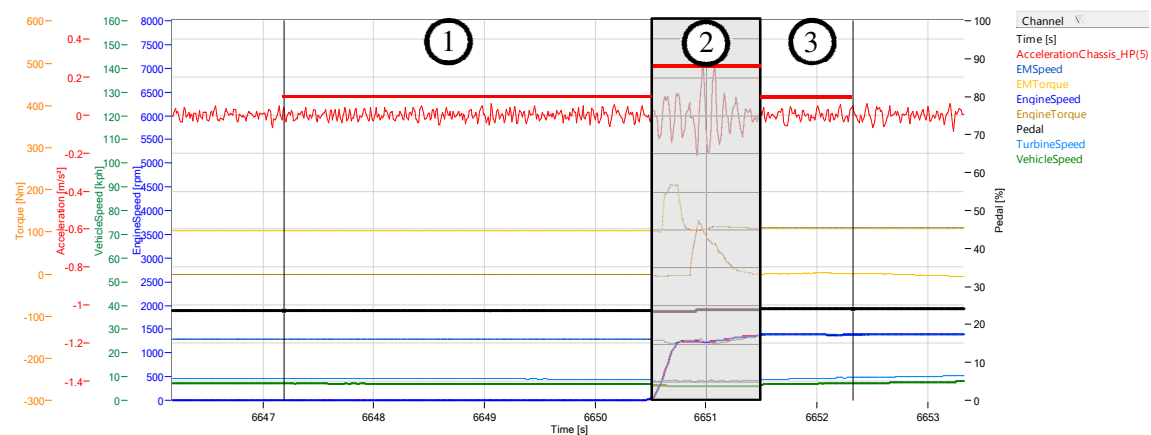


Abbildung 6-19: Vibration Dose Values der unterschiedlichen Bereiche

Eine Modellbildung und Optimierung kann nun dahingehend erfolgen, dass diese drei Werte möglichst ein Minimum darstellen, sowie auch die Unterschiede (delta VDV) der VDV-Werte der einzelnen Bereiche minimal werden sollen. Bei einem delta VDV von Null wäre der Motorstart für den Fahrer nicht spürbar bzw. würde im Vergleich zu Bereichen vor und nach dem Motorstart nicht auffallen. Ist der VDV-Wert vor dem Motorstart niedrig, nach dem Motorstart (Bereich 3) jedoch höher, ist dieses, vom Fahrer negativ empfindbare Verhalten dem laufenden Motor zuzuschreiben. Ist der VDV-Wert im Bereich 1 und Bereich 3 gleich, jedoch im Bereich des Motorstarts (Bereich 2) hoch, so weiß der Applikateur, dass der Motorstart noch weiter zu optimieren ist, bis dessen VDV-Wert an die VDV-Werte der Bereiche des Constant speed (1 und 3) angenähert werden können bzw. im Optimalfall gleich sind (delta VDV ist gleich Null).

Folgend soll eine zweite Herangehensweise an obiges Problem erklärt werden. Wie vorher erwähnt, kann ein Ruckeln (surge), welches nur vom Motorstart ausgelöst wird, detektiert

werden, wenn man zwei VDV-Werte vergleicht. Im gesamten Bereich des Motorstarts (Triggerbedingungen für Motorstart, siehe oben) wird ein VDV-Wert über das hochpassgefilterte Beschleunigungssignal (Grenzfrequenz 5Hz) gebildet. Zusätzlich wird eine Sekunde vor dem Anfangstrigger des Motorstarts diese Sekunde in vier Teile zu je 0,25sec geteilt, und in jedem dieser Teile der zugehörige VDV-Wert berechnet. Der niedrigste, dieser vier Werte wird als Grundrauschen des Manövers betrachtet. Nun wird ein Parameter, sogenannter delta VDV, berechnet, der den Unterschied zwischen dem VDV-Wert des Motorstarts sowie den VDV-Wert des Grundrauschens angibt. Mittels AVL CAMEO™ kann nun dieser Wert für eine Modellbildung herangezogen werden, indem AVL CAMEO™ einen Zusammenhang zwischen verstellten Parametern im Steuergerät und einer Verschlechterung oder Verbesserung des Wertes VDV während dem Motorstart bzw. dem delta VDV im Vergleich zum Grundrauschen herstellt. Für eine Optimierung kann etwa in AVL CAMEO™ als Zielfunktion angegeben werden, dass der delta VDV minimiert werden soll oder als Beschränkung, dass dieser Wert eine bestimmte Schwelle nicht übersteigen darf. Der Vorteil an der zweiten Herangehensweise (Abbildung 6-20) ist, dass der VDV-Wert über mehrere kurze Bereiche gebildet wird und der somit berechnete Wert des Grundrauschens weniger anfällig gegenüber kurzen Störungen (Unebenheiten der Straße o.ä.) ist. Etwaige Straßenunebenheiten treten am Rollenprüfstand zwar nicht auf, jedoch wird AVL DRIVE™ nach wie vor auch bei der Bewertung der Fahrbarkeit zu einem großen Teil auf der Teststrecke eingesetzt werden, wo solche Störungen sehr wohl eine Rolle spielen können.

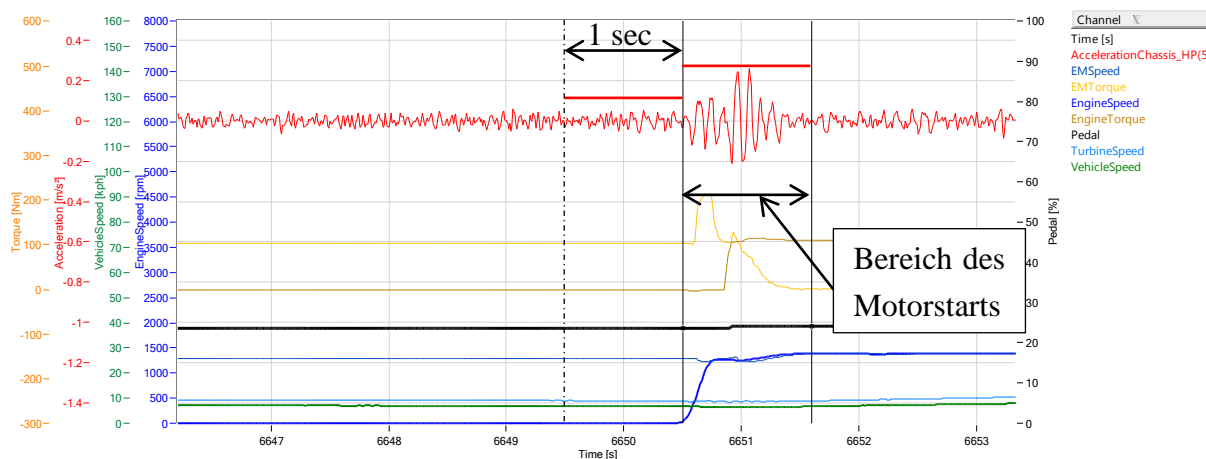


Abbildung 6-20: Bereich der Detektion des Grundrauschens vor dem Motorstart

## 7 Ergebnisse

Kapitel 5 zeigt die zu Beginn geforderte, weil zur Überprüfung der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen nötige, Manöverliste und deren Entstehung. Wie schon erwähnt sieht man den doch beträchtlichen Umfang von abzufahrenden und zu optimierenden Manövern, welche in Betracht gezogen werden sollen bzw. müssen, um ein Hybridfahrzeug zur serienreife zu bringen und dementsprechend zu kalibrieren. Die erarbeitete Manöverliste wird als Unterstützung, wie auch als Checkliste für die Erstellung eines Testplans in AVL CAMEO™ für HyHab™ verwendet und soll zusätzlich als Grundlage für die Erarbeitung einer Verifikationsroutine, welche am Ende des Kalibrationsprozesses (Abbildung 3-8 zeigt diesen für ACT™, dieser kann jedoch für HyHab™ übernommen werden) die serienreife des Fahrzeuges bestätigen soll.

Wie in Kapitel 6.2 erläutert, wurden mehrere Ansätze und Lösungsvorschläge zur Bewertung der Fahrbarkeit und deren Verbesserung mittels der modellbasierten Kalibration von Hybridfahrzeugen erarbeitet. Diese dienten als Grundlage für Diskussionen zwischen Experten der unterschiedlichen Fachteams, welche für die Kalibration von Hybridfahrzeugen in der AVL zuständig sind. Es wurden Vor- und Nachteile abgewogen und auch Erfahrungen aus dem HyHab™-Vorgänger ACT™ flossen mit ein, um schlussendlich eine Entscheidung zu treffen, welche Qualitätskriterien für HyHab™ zur Modellbildung und Optimierung herangezogen werden.

## 8 Schlussfolgerungen und Ausblick

Diese Diplomarbeit ist ein Teil der Entwicklung der modellbasierten Kalibration für Hybridfahrzeuge (HyHab<sup>TM</sup>). Die Manöverliste stellt die Grundlage für einen vollständigen Test- und Verifikationsplan während einer Kalibration eines parallelen Hybridfahrzeuges dar. Für die modellbasierte Kalibration von seriellen Hybridfahrzeugen sowie reinen Elektrofahrzeugen wird diese Manöverliste auf die geänderten Anforderungen adaptiert werden müssen. Für die Umsetzung des Prototypenlaufes von HyHab wurden aus dieser Liste relevante Manöver ausgewählt. In Zukunft wird diese Manöverliste noch dahingehend untersucht, bei welchen Manövern es sinnvoll ist, diese in die Methodik von HyHab<sup>TM</sup> aufzunehmen und bei welchen Manövern eine Kalibration auf der Teststrecke aufgrund von Zeit- und Kosteneinsparungen und v.a. Prüfstandsverfügbarkeit Vorteile bringt.

Da AVL CAMEO<sup>TM</sup> die Verstellgrößen in den Steuergeräten zwischen vorher festgelegten Grenzen mehr oder weniger „nach Belieben“ variieren kann, muss man beachten, dass dies mitunter auch zu sehr schlechten bzw. den schlimmstmöglichen Parameterkombinationen führen kann, welche negative Auswirkungen auf die Fahrbarkeit haben können. Von Notwendigkeit ist es deshalb, dass ein erfahrener Kalibrateur die Auswahl der Steuergeräteparameter, sowie die Grenzen innerhalb derer diese variiert werden können, vornimmt. Nur dadurch kann gewährleistet werden, dass der Testlauf so kurz wie möglich ausfällt, die Qualität der mathematischen Modelle auf einem hohen Stand ist und dadurch ein bestmögliches Ergebnis erzielt werden kann.

Somit wird AVL DRIVE<sup>TM</sup>, welches diese Auswirkungen detektieren und bewerten muss, auch nach der Umsetzung und Implementation der während dieser Diplomarbeit entwickelten Kriterien zur Bewertung der Fahrbarkeit bzw. Moduswechsel immer weiterentwickelt werden und somit auch auf geänderte und in Zukunft neu hinzukommende Anforderungen angepasst werden.

AVL DRIVE<sup>TM</sup> ist nur eines von fünf Hauptsystemen der HyHab<sup>TM</sup>-Methodik. Auch die Tools AVL CAMEO<sup>TM</sup> und AVL DRICON<sup>TM</sup> mussten auf hybride Antriebsstränge adaptiert werden. Der Batteriesimulator mit seinen unterschiedlichen Ausführungen (unterschiedliche elektrische Leistungsstufen...) wurde durch das Fachteam DSB (Global Battery Competence Team) entwickelt während der Bremsaktuator innerhalb des Fachteams DST konstruiert wurde. Weiters wird sichergestellt werden müssen, dass alle diese Systeme auch innerhalb des HyHab<sup>TM</sup>-Verbundes miteinander kommunizieren. Während für die Systeme, welche schon in der ACT<sup>TM</sup>-Umgebung Anwendung fanden, gegebenenfalls nur mehr Anpassungen der Schnittstellen erfolgen müssen und die Entwicklung des Batterieemulators speziell auf die Prüfstands Umgebung abgezielt hat, muss beim Bremsaktuator noch eine fehlerfreie Kommunikation mit AVL DRICON<sup>TM</sup> sichergestellt werden.

Aufgrund der Komplexität dieser Methodik kann zum aktuellen Zeitpunkt nur schwer eine Aussage darüber getroffen werden, ob beim ersten Prototypenversuch am Prüfstand das gewünschte Ergebnis erreicht werden kann. Unter Umständen sind in naher Zukunft noch Anpassungen nötig, um die Hauptvorteile dieser Methodik, welche neben der Kostenreduktion vor allem die Reduktion der Zeitdauer der Kalibration eines Hybridfahrzeuges sind, auch wirklich nutzen zu können.

## Literatur

- 1 (AVL, 2010): AVL CAMEO™ Transmission User's Guide, AVL List GmbH, Graz, 2009
- 2 (AVL, 2011): AVL DRIVE™ 3.4 Produkt-Guide
- 3 (Bagot B., 2008) Bagot, B.; Schmidt A.; Ebner Th.; Altenstrasser H.: Modellbasierte Methodik zur automatisierten Schaltqualitätsoptimierung von Automatikgetrieben. ATZ-Bericht, Mai 2008
- 4 (Fischer R., 2012) Fischer R.; Jürgens G.; Küçükay F.; Najork R.; Pollak B.: Das Getriebebuch. Springer Verlag Wien New York, ISBN 978-3-7091-0876-5
- 5 (Hofmann, 2010) Hybridfahrzeuge. Springer Verlag Wien New York, ISBN 978-3-211-89190, 2010
- 6 (Vögl, 2010) Vögl, R.: AVL DRICON™ & In vehicle application examples, Präsentation zur Mitarbeiterschulung. AVL List GmbH, Graz, 2010
- 7 (Porsche, 2010) Porsche: Produktkatalog Porsche Cayenne S Hybrid. Dr. Ing. h.c. F. Porsche AG, Stuttgart, 2010

## Abbildungen

Abbildung 2-1: Strukturen von Hybridantrieben (Hofmann, 2010).....	3
Abbildung 2-2: Serieller Hybrid mit Wirkungsgradkette (Hofmann, 2010).....	4
Abbildung 2-3: Einwellen- und Zweiwellen-Parallelhybrid (Hofmann, 2010) .....	5
Abbildung 2-4: Kombiniertes Hybridantriebsstrang (Hofmann, 2010) .....	5
Abbildung 3-1: Workflow von AVL CAMEO™ (AVL, 2010) .....	8
Abbildung 3-2: Schematische Verkabelung von AVL DRICON™ (Vögl, 2010).....	9
Abbildung 3-3: AVL DRIVE™ Messsystem und Sensorpositionierung (AVL, 2011).....	10
Abbildung 3-4: Gewichtungsfaktoren im Gewichtungsbaum (AVL, 2011).....	11
Abbildung 3-5: Darstellung des Parameters „Einzelschlag“ bei einer Zug-Hochschaltung (AVL, 2011).....	12
Abbildung 3-6: Aufbau von ACT™ am Rollenprüfstand.....	13
Abbildung 3-7: Aufbau von ACT™ am Antriebsstrangprüfstand.....	14
Abbildung 3-8: Kalibrationsprozess mit ACT™ .....	15
Abbildung 4-1: P2-Hybridtopologie eines Porsche Cayenne S Hybrid .....	17
Abbildung 4-2: Aufbau von HyHab™ am Rollenprüfstand .....	18
Abbildung 4-3: Aufbau von HyHab™ am Antriebsstrangprüfstand .....	18
Abbildung 4-4: Batterieemulator.....	19
Abbildung 4-5: Bremsaktuator .....	20
Abbildung 5-1: Lastpunktverschiebung (Fischer R., 2012) .....	24
Abbildung 5-2: Moduswechsellmatrix .....	26
Abbildung 5-3: Grundstruktur der Manöverliste.....	31
Abbildung 5-4: Manöverliste inkl. Status der Betriebszustände .....	32
Abbildung 6-1: Einfluß von TCU-Parametern auf die Fahrbarkeit .....	38

Abbildung 6-2: Antriebsstrang des Porsche Cayenne S Hybrid (Porsche, 2010) .....	39
Abbildung 6-3: geglättetes Beschleunigungssignal (AVL, 2011).....	44
Abbildung 6-4: tiefpassgefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011) .....	45
Abbildung 6-5: hochpassgefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011) .....	45
Abbildung 6-6: RMS-gefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011).....	46
Abbildung 6-7: VDV-gefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011).....	47
Abbildung 6-8: Bandpassgefiltertes Beschleunigungssignal (AVL, 2011) .....	47
Abbildung 6-9: möglicher Verlauf des Beschleunigungssignales beim positiven Lastwechsel .....	48
Abbildung 6-10: Bewertung des „absoluten Moments“ (AVL, 2011).....	49
Abbildung 6-11: Korrekturfaktor zur Berechnung des Motormoments in Abhängigkeit von der Drehzahl (AVL, 2011) .....	50
Abbildung 6-12: Korrekturfaktor zur Berechnung des Motormoments in Abhängigkeit von der Fahrpedalposition (AVL, 2011).....	50
Abbildung 6-13: qualitativer Beschleunigungsverlauf.....	57
Abbildung 6-14: Benennung der markanten Punkte im Beschleunigungssignal .....	57
Abbildung 6-15: Testplan von AVL CAMEO TRANSMISSION™ für die Kalibration einer 2-3 Hochschaltung .....	59
Abbildung 6-16: Parameter zur Kennzeichnung von Motorstart, -stop und rein elektrischen Betrieb.....	61
Abbildung 6-17: Triggerbereich für Constant speed.....	63
Abbildung 6-18: Triggerbereich für Motorstart .....	63
Abbildung 6-19: Vibration Dose Values der unterschiedlichen Bereiche .....	64
Abbildung 6-20: Bereich der Detektion des Grundrauschens vor dem Motorstart.....	65

## **Tabellen**

Tabelle 3-1: AVL DRIVE™ Rating (AVL, 2011).....	10
Tabelle 5-1: Manöverauslösende Events.....	27
Tabelle 5-2: Bedeutung der in der Moduswechsellmatrix verwendeten Farben .....	29
Tabelle 5-3: Auflistung Fahrzeug- bzw. Komponentenzustand.....	33
Tabelle 6-1: Zusammenhang Manöverliste und AVL DRIVE™ Betriebszustände .....	42
Tabelle 6-2: Triggerbedingungen zur Erkennung des Betriebsmodus .....	53
Tabelle 6-3: Kriterien eines Tip In .....	54
Tabelle 6-4: Beispiel Kriterien für Tip In mit Motorstart .....	55