



Emanuel Kerschbaumer, BSc

Schaltqualitätsdokumentation von Automatikgetrieben am Rollenprüfstand

MASTERARBEIT

Zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Ingenieur

Masterstudium Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technische Universität Graz

Institutsleiter: Univ.-Prof. DI Dr. Peter Fischer

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

Betreuer: Dipl.-Ing. Martin Ackerl

Institut für Fahrzeugtechnik

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Graz, Oktober 2015

Gesperrt bis 31.10.2019

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 wörtliche und inhaltlich entnommene 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

Der Abschluss meines Masterstudiums Wirtschaftsingenieurwesen/Maschinenbau an der Technischen Universität Graz wird durch diese Masterarbeit abgerundet. Im Zuge eines Kundenprojektes bei AVL List GmbH war es neben meiner studentischen Tätigkeit in der Abteilung DTC möglich, diese interessante Masterarbeit zu verfassen.

Danken möchte ich hierbei dem gesamten Team DTC für die gute Zusammenarbeit und Kooperation innerhalb der Abteilung! Besonders hervorheben möchte ich die gute Zusammenarbeit mit meinem Lead Engineer Dipl.-Ing (FH) Patrick Schatz und meinem Betreuer der Masterarbeit Dipl.-Ing. Wolfgang Greil, welche mir begleitend praktische und wertvolle Ansichten in verschiedensten Bereichen vermittelt haben, die ich für die erfolgreiche Durchführung der Masterarbeit gut nützen konnte. Weiters möchte ich mich bei meinem Betreuer der Masterarbeit Dipl.-Ing Martin Ackerl des Institutes für Fahrzeugtechnik für alle kreativen Einbringungen und Korrekturen bedanken.

Ein großer Dank geht am Ende meiner universitären Ausbildung an meine Familie und Freunde, welche mir in der herausfordernden Zeit immer zur Seite gestanden sind!

Kurzfassung

Da im Automobilssektor die Anforderungen an den Antriebsstrang immer höher werden, werden immer mehr Getriebe mit höherer Ganganzahl eingesetzt, um diese Anforderungen abzudecken. Dabei spielt Fahrbarkeit eine große Rolle, welche beim Getriebe des Antriebsstrangs durch die Schaltstrategie und die Schaltqualität maßgeblich beeinflusst wird. Aufgaben des Getriebekalibrators sind zum Beispiel verschiedene Schaltmanöver auf einer Teststrecke abzufahren, um die Schaltqualität des Getriebes ausreichend beurteilen zu können. Es gibt die Möglichkeit, solche meist aufwendigen Testfahrten von der Straße auf den Rollenprüfstand zu verlagern. Somit werden der Straßeneinfluss auf die Messung ausgeschlossen, standardisierte Umgebungsbedingungen erreicht und die Möglichkeit geschaffen, kundengeforderte Schaltmanöver reproduzierbar und kontrolliert abzufahren. Im Zuge dieser Masterarbeit soll die Methodik der Schaltqualitätsdokumentation von Automatikgetrieben mit Personenkraftwagen am Rollenprüfstand weiterentwickelt werden, vor allem in Manöverbereichen die derzeit zu Schwierigkeiten führen. Die Schaltmanöver werden in AVL-CAMEO™ in Testläufen parametrisiert, welche anschließend am Rollenprüfstand abgefahren werden. Zur objektiven, zeitgleichen (oder anschließenden) Bewertung der Schaltqualität des Getriebes wird AVL-DRIVE™ herangezogen.

Herausforderung der Arbeit ist die Erstellung der Testläufe mit Schaltmanövern in CAMEO, das Abfahren der Testläufe am Rollenprüfstand und die anschließende Auswertung und Dokumentation der Schaltvorgänge.

Ziel der Arbeit ist es Aussagen treffen zu können, ob und wie spezielle kundengeforderte Fahrmanöver am Rollenprüfstand abfahrbar sind und ob die relevanten Situationen richtig erkannt und bewertet werden können. Aus dieser Erkenntnis sind Verbesserungsvorschläge für die Toolkette, die Testerstellung und die Bewertung von Schaltmanövern am Rollenprüfstand aufzuzeigen.

Abstract

The requirements on the powertrain of vehicles in automobile industry are more and more complex. Therefore, transmissions are developed providing a larger number of gears, in order to satisfy these customer requirements. Drivability of the transmission is one key fact in this situation, which is most affected by shift-strategy and shift-quality. Calibration engineers execute shift maneuver on test tracks to assess shift quality for the transmission. The idea is to displace this on-road maneuvers onto the chassis dyno. With this methodology it is possible to compensate environmental conditions during the test and create controllable and reproducible customer defined shift maneuvers in terms of shift quality. With this master thesis the methodology of shift quality documentation on chassis dyno should be further developed, focusing on difficult maneuver areas of automatic transmission in passenger cars. The shift maneuvers are parameterized in AVL-CAMEO™ test runs, which are then executed on chassis dyno. To ensure objectivity, simultaneous evaluation of shift quality AVL-DRIVE™ is used.

The biggest challenge is on one hand to create and execute the test runs with AVL-CAMEO™ on the chassis dyno, and on the other hand the evaluation and documentation of the shift quality.

The target of the master thesis is to find out whether it's possible to create and execute special customer required maneuvers on chassis dyno, and whether the software is able to detect and assess all maneuvers correctly. As a result, improvement suggestions regarding the creation and assessment of special shift maneuvers on chassis dyno should be generated and demonstrated.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation.....	1
1.2	Zielsetzung.....	1
1.3	Gliederung der Arbeit	1
2	Stand der Technik	2
2.1	Getriebe in Personenkraftwagen	2
2.1.1	Konventionelle Automatikgetriebe	4
2.1.1.1	Drehmomentwandler	4
2.1.1.2	Planetengetriebe	5
2.1.2	Leistungsführende Schaltelemente in Automatikgetrieben	7
2.1.2.1	Kupplungen und Bremsen	7
2.1.2.2	Schaltungsarten.....	9
2.2	Fahrbarkeit.....	14
2.2.1	Definition Fahrbarkeit	14
2.2.2	Physikalische Einflussgrößen auf die Fahrbarkeit	15
2.2.3	Fahrkomfort.....	21
2.2.4	Fahrsicherheit	23
2.2.5	Fahrspaß.....	23
2.3	Objektive Beurteilung der Fahrbarkeit	24
2.4	AVL-DRIVE™	25
2.5	AVL-CAMEO™	28
2.6	AVL-DRIVE™ Report Generator	30
3	Methodik	32
3.1	Messaufbau.....	32
3.2	Anforderungen an das Prüfprogramm	35
3.3	Aufbau der Prüfprogramme	37
3.3.1	Erstellung Testablauf SHS/SRS mit CAMEO-Transmission	38
3.3.2	Erstellung Testablauf ZHS/ZRS mit CAMEO Standard.....	44
3.4	Testablauf ZHS/ZRS am vereinfachten Fahrzeugsimulator	49
3.5	Implementierung und Inbetriebnahme der Systeme	50
3.6	Abfahren der Prüfprogramme.....	53
4	Messauswertung	55

4.1	Messauswertung Testablauf SHS/SRS	55
4.2	Messauswertung Testablauf ZHS/ZRS.....	56
4.3	Allgemeine Messdokumentation.....	56
4.4	Messdokumentation Testablauf SHS/SRS	57
4.5	Messdokumentation Testablauf ZHS/ZRS.....	62
5	Fazit und Verbesserungsvorschläge.....	67
5.1	Fazit der Testabläufe am Rollenprüfstand	67
5.2	Verbesserungsvorschläge Testerstellung.....	68
5.3	Verbesserungsvorschläge Testabläufe am Rollenprüfstand	69
5.4	Verbesserungsvorschläge Dokumentation der Testabläufe.....	69
6	Ausblick in die Zukunft	70
	Literaturverzeichnis	71
	Abbildungsverzeichnis	73
	Tabellenverzeichnis	76
	Formelverzeichnis.....	77
	Abkürzungsverzeichnis	78
	Anhang.....	79

1 Einleitung

Der Antriebsstrang von Automobilen wird immer komplexer, zudem wird immer mehr Effizienz und Komfort seitens der Nutzer gefordert. Um dies zu gewährleisten müssen Komponenten des Antriebsstranges ständig optimiert werden.

1.1 Motivation

Ein wichtiges Element eines Antriebsstranges von Automobilen ist das Getriebe. Es hat nicht nur die Aufgabe das Drehmoment/die Drehzahl des Motors auf die Achsen zu wandeln und weiterzuleiten, sondern auch die Aufgabe den Antriebsstrang hinsichtlich Effizienz und Komfort zu verbessern. Es werden immer mehr Getriebe mit hohen Gangzahlen eingesetzt, um auf der einen Seite einen passenden Kraftstoffverbrauch zu gewährleisten und auf der anderen Seite ideale fahrdynamische Eigenschaften zu generieren. Das gesamte Fahrzeugsystem samt Getriebe wird von Kalibratoren auf Teststrecken getestet und kalibriert um z.Bsp. eine ideale Performance des Getriebes zu erhalten. Die Qualität der meist zeit- und kostenintensiven Tests auf der Straße kann negativ durch schlechte Umgebungsbedingungen, wie Temperatur, Witterungsbedingungen und Straßenzustand, beeinflusst werden. Um diesen negativen Einflussfaktoren zu entgehen wird versucht, die Tests von der Straße auf einen Rollenprüfstand zu verlagern, um so unter idealen Bedingungen arbeiten zu können. Es können mit Rollenprüfständen effiziente Tests automatisiert abgefahren werden, damit die Qualität des Antriebsstranges unter idealisierten Bedingungen und ohne störende Einwirkungen von außen überprüft werden kann.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, den aktuellen Stand der Technik hinsichtlich Automatikgetrieben und dessen Entwicklung aufzuzeigen. Ein großer Fokus liegt dabei auf dem Einflussfaktor des Getriebes, welcher sich auf den Fahrkomfort von Automobilen auswirkt. Weiteres Ziel der Arbeit ist es darzustellen, wie eine Schaltqualitätsdokumentation am Rollenprüfstand automatisiert und effizient durchgeführt werden kann und welche Ergebnisse und Herausforderungen eine solche Qualitätsüberprüfung des Automatikgetriebes mit sich bringt.

1.3 Gliederung der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit wird auf den theoretischen Hintergrund von Automatikgetrieben eingegangen. Der weitere theoretische Fokus liegt auf dem Begriff Fahrkomfort und dem Einfluss des Getriebes auf diesen. Nachfolgend werden zwei Softwaretools der Firma AVL List GmbH erklärt, welche im anschließenden praktischen Teil zur Testerstellung am Rollenprüfstand und zur Auswertung der Messungen verwendet werden.

2 Stand der Technik

Das Getriebe ist ein wichtiges Element im Antriebsstrang eines Kraftfahrzeuges. Die Anforderungen an die Elemente eines Antriebsstrangs sind, neben guten dynamischen Eigenschaften, insbesondere hoher Wirkungsgrad und Komfort. In einem Antriebsstrang können verschiedene Getriebevarianten verbaut sein, zum Beispiel Hauptgetriebe, Achsgetriebe, Verteilergetriebe, wobei in dieser Arbeit nur auf das Hauptgetriebe des Antriebsstranges, welches den Motor mit dem restlichen Antriebsstrang verbindet, eingegangen wird.

2.1 Getriebe in Personenkraftwagen

Die Hauptaufgabe von Getrieben in Fahrzeugen ist, die Wandlung der verfügbaren Motorleistung (dargestellt durch Drehmoment und Drehzahl) in eine Zugkraft zu gewährleisten (dargestellt durch entsprechendes Drehmoment am Rad bei gegebener Raddrehzahl), welche sich den gegebenen Anforderungen des Fahrzeuges anpasst. Zudem wird eine veränderliche Übersetzung gefordert, um in jeder Fahrsituation die benötigte Antriebsleistung in einer passenden Form zur Verfügung zu stellen. Dies gilt im Speziellen für die Fahrmanöver Konstantfahrt, Beschleunigungs- und Verzögerungsfahrt. Eine weitere Aufgabe des Getriebes ist die Abkopplung der Motorschwingung vom restlichen Antriebsstrang, wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt wird. Dies hat eine bedeutende Rolle für Komfortaspekte und die Geräuschausbildung eines Getriebes. [ECK1]

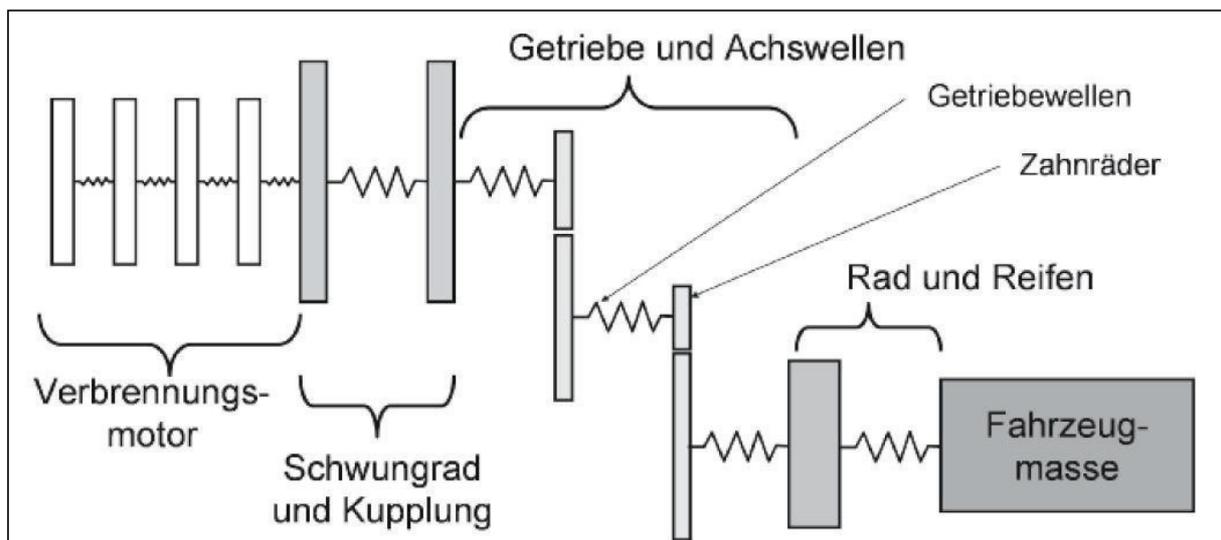


Abbildung 1: Drehschwingungsmodell des Antriebsstrangs [ECK-A]

Die in Kraftfahrzeugen verbauten Getriebe können in Stufen- und Stufenlosgetriebe unterschieden werden. Stufengetriebevarianten besitzen eine endliche Anzahl an definierten Übersetzungen (=Gängen), bei welchen die Leistungsübertragung durch lagebestimmte Zahnräder realisiert wird. Die möglichen Übersetzungskombinationen sind somit begrenzt. Die stufenlosen Getriebe haben im Unterschied zu Stufengetrieben Variatoren verbaut, welche eine variable Einstellung der Übersetzung ermöglichen. Folgend werden die verschiedenen Getriebevarianten in einer Übersichtsgrafik aufgelistet. [FIS1]

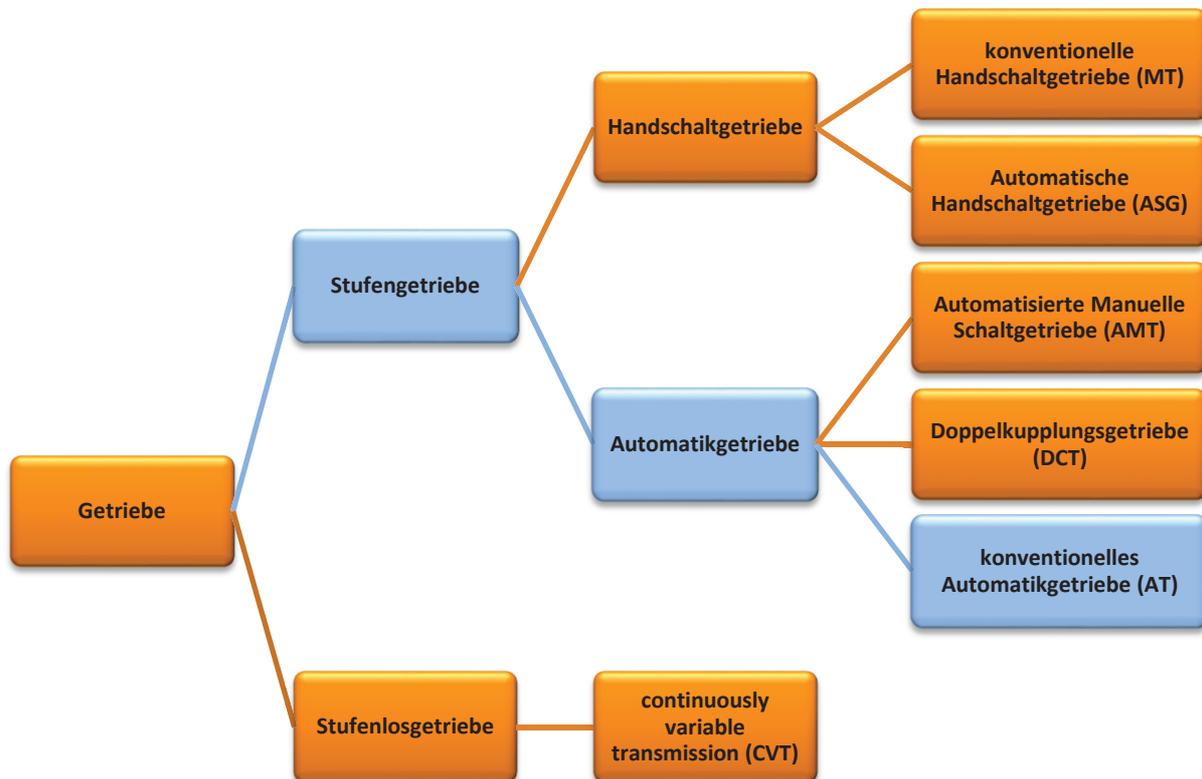


Abbildung 2: Getriebevarianten eines Hauptgetriebes im Überblick

Bei Automatikgetrieben werden dem Fahrer des Fahrzeuges die Gangwahl, das Schalten und das Anfahren abgenommen. Automatikgetriebe sind meist mit einem Drehmomentwandler als Anfahelement ausgestattet, welcher einen hohen Anfahrkomfort gewährleisten soll. Durch den Drehmomentenwandler kommt es beim Lösen der Bremse funktionsbedingt zu einem Kriechen des Fahrzeuges bei eingelegtem Gang. Generell sind diese Getriebevarianten Lastschaltgetriebe. Dies bedeutet, dass durch die verschiedenen kraftschlüssig arbeitenden Schaltelemente die Schaltung ohne Zugkraftunterbrechung ausgeführt werden kann. Die einzelnen Gangstufen werden mit Planetenradsätzen realisiert, welche eine hohe Leistungsdichte ermöglichen. Im Kapitel 2.2 wird näher auf das konventionelle Automatikgetriebe eingegangen, da diese Getriebevariante im Kapitel 3 praktisch zum Einsatz kommt. [FIS2]

2.1.1 Konventionelle Automatikgetriebe

Das konventionelle Automatikgetriebe ist ein Stufenautomatikgetriebe mit hydrodynamischem Drehmomentwandler und Wandlerüberbrückungskupplung als Anfahrlement. Weitere Baugruppen des Getriebes sind: Radsatz, Schaltelemente, Parksperre und elektrohydraulisches Getriebesteuergerät. [FIS2]

2.1.1.1 Drehmomentwandler

Der Drehmomentwandler ist eine erweiterte hydraulische Kupplung und hat die Aufgabe, Eingangsdrehmoment und –drehzahl des Motors in eine Getriebeeingangsdrehzahl mit entsprechendem Drehmoment zu wandeln. Die Rede ist hier von einem komfortablen Anfahren. Das Anfahren eines stillstehenden Fahrzeuges über einen Wandler hat gegenüber einer Reibkupplung den Vorteil, dass ein höheres Anfahrmoment zur Verfügung steht (Drehmomentwandlung oder –überhöhung) und dass der Wandler ruck- und stoß-frei arbeitet, sogar praktisch verschleißfrei ist. In Abbildung 3 sind die Hauptbestandteile eines Wandlers, das Pumpenrad (1), Turbinenrad (3) und das Leitrad (2) sowie der Freilauf, welcher baulich bedingt nur in eine Richtung eine Relativdrehbewegung zwischen zwei Bauteilen zulässt, dargestellt. Es erfolgt eine Energieumwandlung der mechanischen Drehenergie in eine hydraulisch kinetische Energie, welche wieder in mechanische Energie anderer Form rückgewandelt wird. Das Leitrad dient als Stütze des Drehmomentes, ohne das keine Drehmomentwandlung erfolgen kann und die Funktion einer Kupplung erreicht werden würde (normale hydraulische Kupplung). Zusätzlich leitet das Leitrad das Öl zurück zum Pumpenrad, der Ölkreislauf ist geschlossen. Das Pumpendrehmoment wird durch das Drehzahlverhältnis von Pumpe zu Turbine bestimmt, wobei das restliche Differenzdrehmoment vom Leitrad im Wandlungsbereich abgestützt wird. Bei geringen Geschwindigkeiten kommt es durch konstruktive Eigenschaften des Wandlers beim Lösen der Bremse zu einem sogenannten Kriechen des Fahrzeuges. [FIS3]

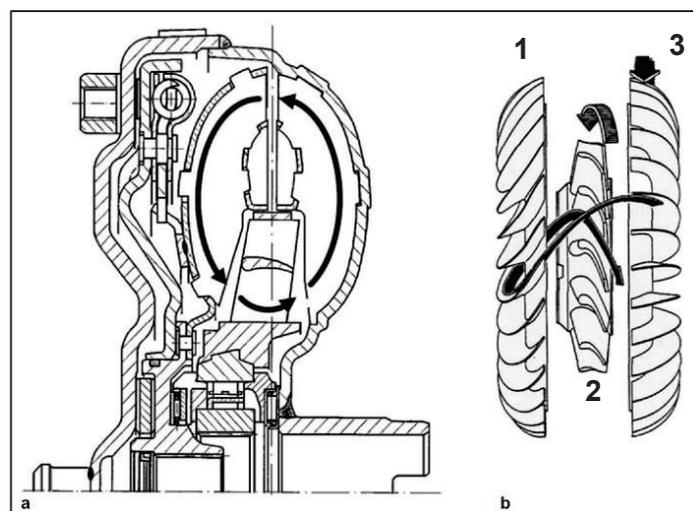


Abbildung 3: Querschnitt (a) und Wirkprinzip (b) eines Wandlers [FIS-A]

In Abbildung 4 wird schematisch die Leistungsübertragung eines Wandlers gezeigt. Wichtige Größen eines Wandlers sind die Leistungszahl und die Übertragbarkeit eines Wandlers. Die Leistungszahl definiert das aufgenommene Eingangsdrehmoment in Abhängigkeit vom Drehzahlverhältnis. Die Übertragbarkeit des Drehmomentes eines Wandlers wird generell durch die Leistungszahl und den Wandlerdurchmesser bestimmt. [FIS3]

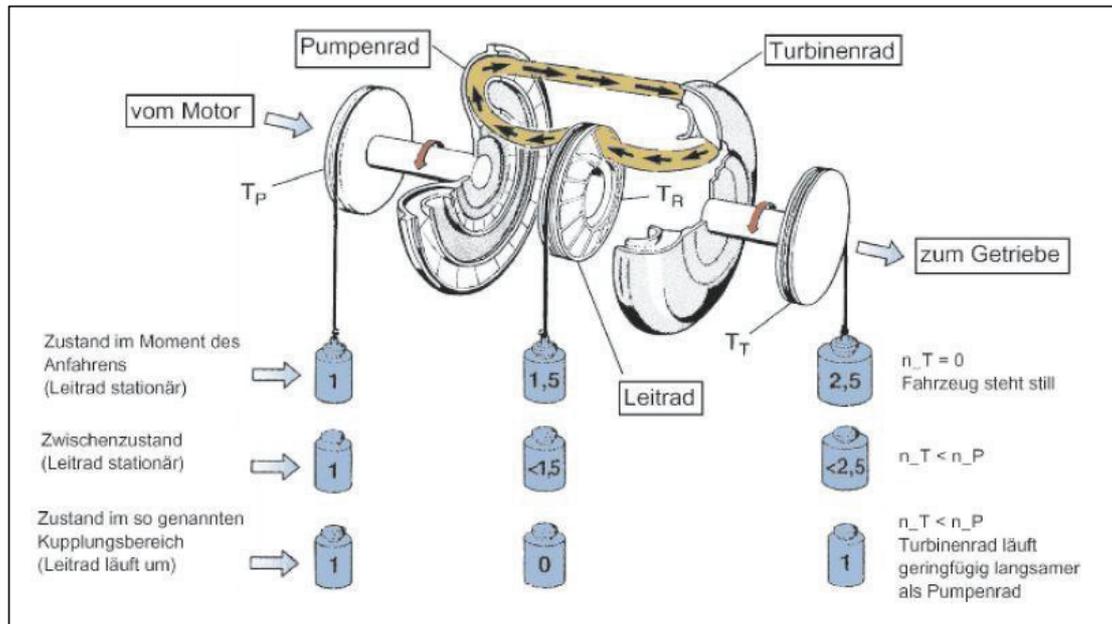


Abbildung 4: Funktionsweise des hydrodynamischen Wandlers [ECK-B]

Aus Wirkungsgradgründen und aufgrund des Temperatureintrages bei auftretendem Schlupf, wird der Wandler in vielen Betriebszuständen, zum Beispiel ab einer bestimmten Geschwindigkeit, durch eine Kupplung, die sogenannte Wandlerüberbrückungskupplung, aus dem Wandlungsbereich geführt, indem Eingang zu Ausgang gekoppelt werden. Die Wandlerüberbrückungskupplung wird geschlossen, es entsteht eine formschlüssige Verbindung zwischen Pumpenseite und Turbinenseite, der Drehmomentwandler läuft als komplettes Paket um. [FIS2]

2.1.1.2 Planetengetriebe

Der Radsatz eines Automatikgetriebes besteht aus einfachen oder verschachtelten Planetengetrieben. Über diese Planetengetriebe wird mittels angeschlossener Schaltelemente (Kupplungen und Bremsen) die Leistung zwischen der Turbinenseite des Wandlers und dem Getriebeausgang gewandelt und übertragen. Um eine hohe Leistungsdichte zu gewährleisten werden die Verzahnungsstufen der Planetengetriebe optimal ausgenutzt. Offene Planetenradsätze haben mehrere Freiheitsgrade, welche je nach Radsatzkonzept so von Schaltelementen geschlossen werden müssen, dass wiederum ein Freiheitsgrad von 1 (sprich eine definierte Übersetzung) erzielt wird. In Abbildung 5 wird exemplarisch der Aufbau einer Planetenstufe mit Hohlrads (H), Sonnenrad (S), Planetenräder (P) und Planetenträger (T) dargestellt. [FIS4]

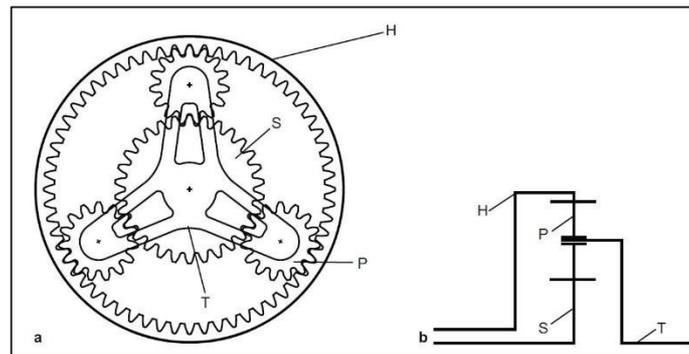


Abbildung 5: Schnittdarstellung und Funktionsbild Planetenstufe [FIS-B]

Die zuvor erwähnten Schaltelemente im Automatikgetriebe haben die Aufgabe den Leistungsfluss im Radsatz zu steuern. Im Durchschnitt sind in einem Automatikgetriebe zwischen fünf und acht Schaltelemente verbaut, wobei zwei oder mehrere Schaltelemente geschlossen sind um den Gang zu definieren. Um Schleppverluste zu minimieren sollten im Fahrbetrieb so wenige Schaltelemente wie möglich geöffnet sein. Als Schaltelemente werden in konventionellen Automatikgetrieben meist nasslaufende Lamellenkupplungen und -bremsen eingesetzt. Auf die verschiedenen Arten der Schaltelemente wird im Kapitel 2.1.2 näher eingegangen. [FIS5]

In Abbildung 6 wird ein 8 Gang Automatikgetriebe mit nasslaufenden Lamellenkupplungen und -bremsen (1) sowie Drehmomentenwandler (2) als Anfahrerelement dargestellt. Im Bild ersichtlich sind auch wie zuvor erklärt Radsatz (3), sowie Elemente der Parksperre (4) und das elektrohydraulische Getriebesteuergerät (5).

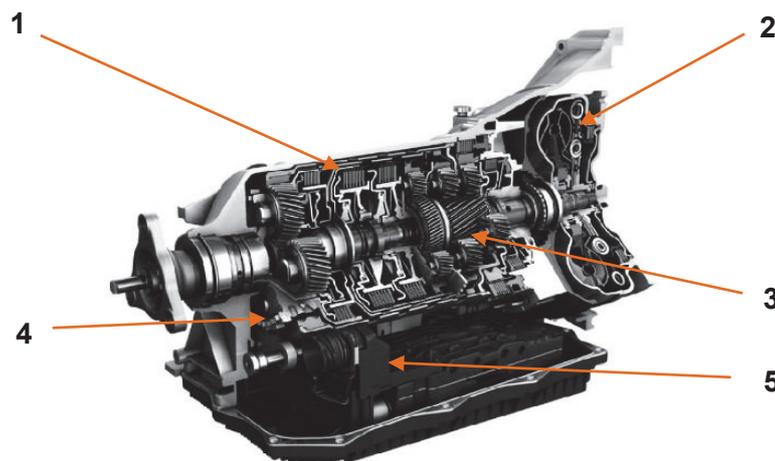


Abbildung 6: 8-Gang Automatikgetriebe ZF Friedrichshafen AG [FIS-C]

2.1.2 Leistungsführende Schaltelemente in Automatikgetrieben

Die Anforderung an leistungsführende Schaltelemente in Stufenautomatikgetrieben ist, einen zugkraftunterbrechungsfreien Wechsel der mechanischen Übersetzung durch regelbares Kuppeln von Wellen mit Wellen oder drehfesten Gehäuseteilen zu gewährleisten. Dies erfolgt in der Regel durch Kupplungen und Bremsen. [ECK2]

2.1.2.1 Kupplungen und Bremsen

Eine Kupplung ist ein gängiges Bauteil, welches in nahezu allen Formen von schaltbaren Getrieben Einsatz findet. Die Grundaufgabe einer Kupplung ist es ein Drehmoment zwischen zwei drehbaren Wellen zu übertragen, wobei Ein- und Ausgangsdrehmoment betragsmäßig gleich groß sind (dies entspricht dann dem zu übertragenen Kupplungsmoment). Eine Sonderform von Kupplungen sind Bremsen. Sie gewährleisten eine kraftschlüssige Verbindung drehender Bauteile mit dem Gehäuse, wobei drehbare Elemente relativ zum Gehäuse im Stillstand gehalten werden. [ECK3]

Die Kupplungen werden unterteilt in schaltbare und nichtschaltbare Kupplungen, wobei in Automatikgetrieben schaltbare Kupplungen eingesetzt werden. Unterteilt werden diese in Reibkupplungen, Klauenkupplungen und elastische Kupplungen. Eine grundsätzliche Aufgabe der Kupplung im Automatikgetriebe ist es den Momentenfluss bei Übersetzungswechsel festzulegen. [FIS6]

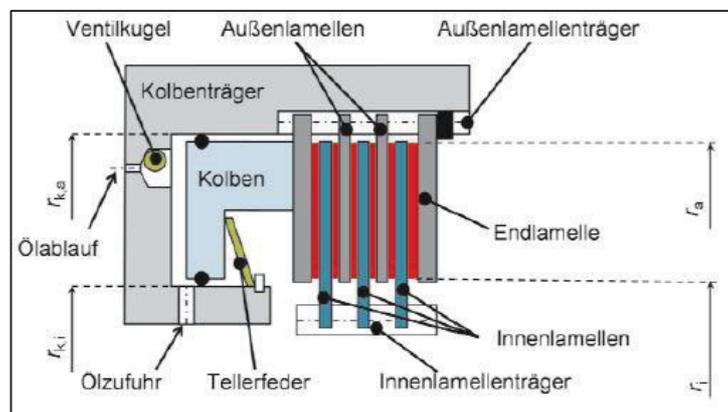


Abbildung 7: Aufbau einer Lamellenkupplung [ECK-C]

In Abbildung 7 wird der Aufbau einer Reibkupplung, im speziellen Fall einer Lamellenkupplung dargestellt. Mittels eines Öldruckes presst der Kolben gegen die Lamellenpakete, wobei Außenlamellen gegen Innenlamellen gepresst werden. Es entsteht eine reibschlüssige Verbindung zwischen den Lamellen, wodurch ein übertragbares Drehmoment entsteht, welches sich ohne Veränderung der Systemkräfte durch die Anzahl der Lamellen z_c stufenweise verändern lässt. Wenn die Verbindung wieder gelöst werden soll, wird der Öldruck auf den Kolben verringert; durch die Federkraft der Tellerfeder wird der Kolben wieder in die Ausgangsposition gebracht. Der Ölabfluss kann bei Lamellenkupplungen über ein

Kugelventil ermöglicht werden, wobei die Druckkammer nie komplett entleert wird. Das übertragbare Moment einer Lamellenkupplung ist bestimmt durch die Kolbenkraft (die Reibung in den Führungen wird hier vernachlässigt). [ECK4]

$$F_k = p_{\dot{o}l} * A_k - F_f \quad (1)$$

Eine Erhöhung der Kolbenkraft kann einerseits durch Erhöhung des Öldruckes $p_{\dot{o}l}$, andererseits durch Erhöhung der Kolbenfläche bei gleichem Druck erreicht werden. Die Kolbenfläche wird durch den Außenradius r_{ka} und Innenradius r_{ki} der Reiblamellen definiert. Die Kraft F_f wirkt der Kolbenkraft entgegen und dient als Federrückstellkraft des Kolbens. Aufgrund hydraulischer Verluste bei hohen Öldrücken kann die Kolbenfläche zusätzlich durch Steigerung der Lamellenanzahl erhöht werden. Das übertragbare Kupplungsmoment ergibt sich näherungsweise mit dem Reibkoeffizient μ_c . [ECK4]

$$T_k = (p_{\dot{o}l} * A_k - F_f) * \mu_c * z_c * \frac{r_a + r_i}{2} \quad (2)$$

Kupplungen werden auch in trockene und nasslaufende Kupplungen unterschieden. Trockene Kupplungen werden meist als Einscheibenkupplung in manuellen Schaltgetrieben oder hydraulisch/elektromechanisch aktuierten Doppelkupplungen in DCTs eingesetzt. Vorteile der trockenen Kupplung sind ein hoher Wirkungsgrad und keine hydraulischen Schleppverluste. Allerdings wird das übertragbare Moment bei der trockenen Einscheibenkupplung durch den Scheibendurchmesser begrenzt, wobei trockene Kupplungen auch hinsichtlich thermischer Stabilität (Wärme-Abtransport) anspruchsvoller sind. Nasslaufende Kupplungen sind meist als Lamellenansatz aufgebaut, wobei es möglich ist, mit den ölbenetzten Lamellenoberflächen mehr Reibmoment aufzubauen und mehr Reibenergie abzuführen als bei trockenen Systemen. Die Drehmomentkapazität kann im Gegensatz zur trockenen Einscheibenkupplung einfach durch Hinzugeben von Lamellen erhöht werden, was wiederum den Vorteil generiert, dass die nasslaufende Lamellenkupplung kompakter gebaut werden kann. [ECK5]

Der Verschleiß von trockenlaufenden Kupplungen ist im Vergleich zu nasslaufenden Kupplungen bei gleichem Belastungsprofil höher. Grund dafür sind hohe Belagstemperaturen aufgrund der fehlenden aktiven Kühlung, welche bei nasslaufenden Kupplungen durch das ölgetränkte Lamellenpaket gewährleistet ist. Somit arbeiten nasslaufende Kupplungen deutlich weniger verschleißbehaftet und können aufgrund der aktiven Öl-Kühlung kurzzeitig hohe Reibleistungen aufnehmen. Bei Überhitzen der trockenen Kupplung durch spezielle Fahrzustände, zum Beispiel mehrmaliges Anfahren in der Steigung, wird der Reibkoeffizient des Belagwerkstoffes mit steigender Temperatur verringert. Es kommt zu einem Durchrutschen der Kupplung und erneutem starken Wärmeeintrag. Im schlimmsten Fall kommt es zu Materialschäden und Zerstörung der Kupplung. Um die Wärmekapazität einer trockenen Kupplung zu erhöhen, müssen die Massen und Baugrößen der Kupplung erhöht werden. Die Wärmekapazität der nasslaufenden Kupplung hängt vom Massenstrom des Kühllöls über die Kupplung, also von der abführbaren Ölwärmeleistung ab. [ECK6]

2.1.2.2 Schaltungsarten

Für das Wechseln der Gänge/Übersetzungen bei Automatikgetrieben gibt es in Abhängigkeit der Fahrsituation verschiedene Schaltungstypen. Wird der Leistungsfluss durch das Getriebesystem bei der Schaltung aufrecht erhalten, das heißt der Antriebsstrang ist während der Schaltung geschlossen obwohl ein Übersetzungswechsel stattfindet, so wird dies als Lastschaltung bezeichnet. Diese Schaltungen sind bei konventionellen Automatikgetrieben (AT) und Doppelkupplungsgetrieben (DCT) typisch. Wird der Kraftfluss des Antriebsstranges während der Schaltung unterbrochen, so spricht man von unterbrochenen Schaltungen (Zugkraftunterbrechung). Handschaltgetriebe (MT) und automatisierte Schaltgetriebe (AMT) können baubedingt nur unterbrochene Schaltungen ausführen. Weiteres werden Schaltungstypen in Hochschaltung (Schalten in höheren Gang mit kleinerer Übersetzung) und Rückschaltung (Schalten in niedrigeren Gang mit größerer Übersetzung) unterschieden. Eine weitere Einteilung bezüglich des Momentenflusses wird durchgeführt. Abhängig vom ankommenden Moment M_{An} am Getriebeeingang handelt es sich um eine Zugschaltung ($M_{An} > 0$) oder eine Schubschaltung ($M_{An} < 0$). In Abbildung 8 werden noch einmal alle möglichen Kombinationen von Grundsaltungen tabellarisch zusammengefasst. [FIS6]

Übersetzung	$M_{An} > 0$	$M_{An} \leq 0$
$i_{neu} < i_{alt}$	Zughochschaltung Power Upshift	Schubhochschaltung Coast Upshift
$i_{neu} > i_{alt}$	Zugrückschaltung Power Downshift	Schubrückschaltung Coast Downshift

Abbildung 8: Grundsaltungstypen in Automatikgetrieben [FIS-D]

In Abbildung 9 wird ein vereinfachtes Antriebsstrangmodell eines lastschaltenden Getriebes dargestellt. Bei der Lastschaltung sind beide Kupplungen beteiligt, wobei eine Zugkraftunterbrechung, wie zuvor erwähnt, vermieden wird. Es findet ein Kupplungswechsel der geschlossenen und offenen Kupplung bei Übersetzungswechsel statt. Es öffnet die vorher übertragende Kupplung während die vorher offene Kupplung schließt. Der Übergang zwischen den Kupplungen, genannt Kupplungskreuz, ist sehr ausschlaggebend für den Schaltkomfort bei Übersetzungswechsel. [FIS7]

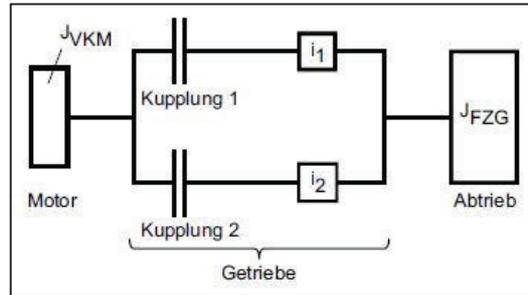


Abbildung 9: Antriebstrangmodell eines lastschaltenden Automatikgetriebes [FIS-E]

Da der Schaltkomfort bei Übersetzungswechsel in dieser Arbeit eine hohe Priorität hat, wird folgend, um ein besseres Verständnis für alle Abläufe zu erhalten, näher auf die fünf Phasen des Übersetzungswechsels und anschließend auf die 4 Grundschalttypen eines Automatikgetriebes eingegangen.

Phasen der Schaltung am Beispiel Zughochschaltung:

Schließende Kupplung ist offen (oncoming clutch open):

Die schließende Kupplung (Kupplung oder Bremse ist im vorherigen Gang nicht beteiligt, im nachfolgendem Gang aber geschlossen) ist ganz geöffnet und überträgt kein Drehmoment. Die geschlossene Kupplung (Kupplung oder Bremse ist im vorherigen Gang geschlossen, wird aber im nachfolgenden Gang nicht aktiviert) ist vollständig geschlossen und überträgt das gesamte Eingangsdrehmoment.

Schließende Kupplung Vorbefüllung (oncoming clutch prefill):

Es erfolgt eine Vorbefüllung der schließenden Kupplung (Befüllung Ölraum, Anstellen des Kupplungskolbens bis zum Kontaktpunkt mit dem Kupplungslamellenpaket). In kurzer Zeit wird bis unter den Kisspoint die Kupplung vorbegefüllt.

Momentenübergabe (torque handover):

In dieser Phase wird das Moment von der öffnenden Kupplung auf die schließende Kupplung übergeben. Dieser Vorgang wird so durchgeführt, dass die Summe des gesamten Drehmomentes der schließenden und öffnenden Kupplung immer konstant ist und betragsmäßig dem Moment der schließenden Kupplung am Anfang der Momentenübergabephase entspricht. Am Ende der Momentenübergabephase überträgt die schließende Kupplung das ganze Moment.

Drehzahlanpassung (ratio change):

In dieser Phase wird die aktuelle Motordrehzahl der öffnenden Kupplung an die neue Übersetzung der schließenden Kupplung angepasst. Dazu wird das Motormoment kurzzeitig reduziert (engine torque reduction), um eine Momentenüberhöhung bei Übersetzungswechsel zu vermeiden und somit eine bestmögliche komfortable Drehzahlanpassung zu gewährleisten.

Fortsetzung (driving/reinstatement):

Nach der Drehzahlanpassung ist der gewünschte Gang eingelegt, die schließende Kupplung vollständig geschlossen und die öffnende Kupplung vollständig geöffnet. Der Übersetzungswechsel ist abgeschlossen.

Die fünf Phasen der des Übersetzungswechsels werden abhängig vom Schaltungstyp entweder von der schließenden Kupplung oder von der öffnenden Kupplung gesteuert. Weiteres kann sich die Abfolge der Phasen je nach Schaltungstyp unterscheiden (z.Bsp. Torque handover vor/nach Übersetzungswechsel). In Abbildung 10 sind vier farblich gekennzeichnete Quadranten gezeigt. Je nach Richtung des Übersetzungswechsels und dem am Getriebeeingang anliegenden positiven oder negativen Leistungsfluss des Motormomentes, sind vier Grundschaltungstypen definiert: Zughochschaltung (US_PO), Zugrückschaltung (DS_PO), Schubhochschaltung (US_PF) und Schubrückschaltung (DS_PF).

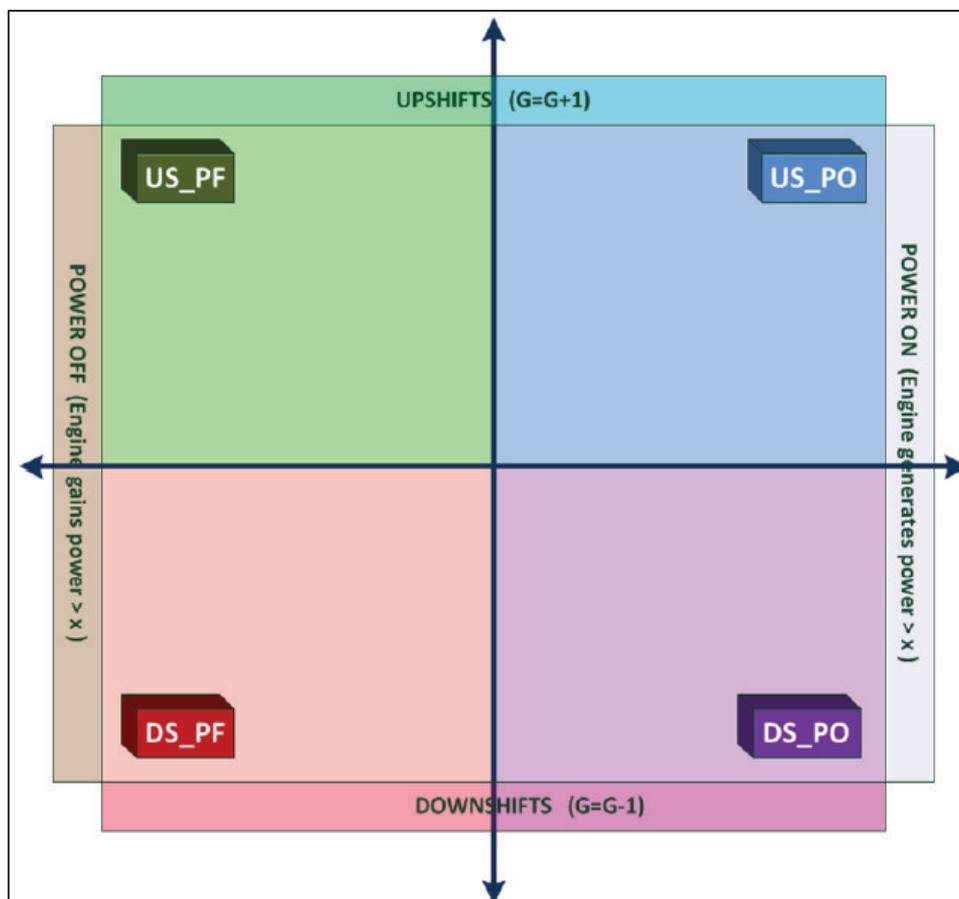


Abbildung 10: Grundschaltungstypen in Quadranten Ansicht [AVL-A]

Eine Zughochschaltung, wie in Abbildung 11 dargestellt, findet statt, wenn am Getriebeeingang ein positives Drehmoment anliegt (Leistungsfluss in das Getriebe) und der nächst höhere Gang eingelegt wird. Der Übersetzungswechsel wird hierbei von der schließenden Kupplung gesteuert.

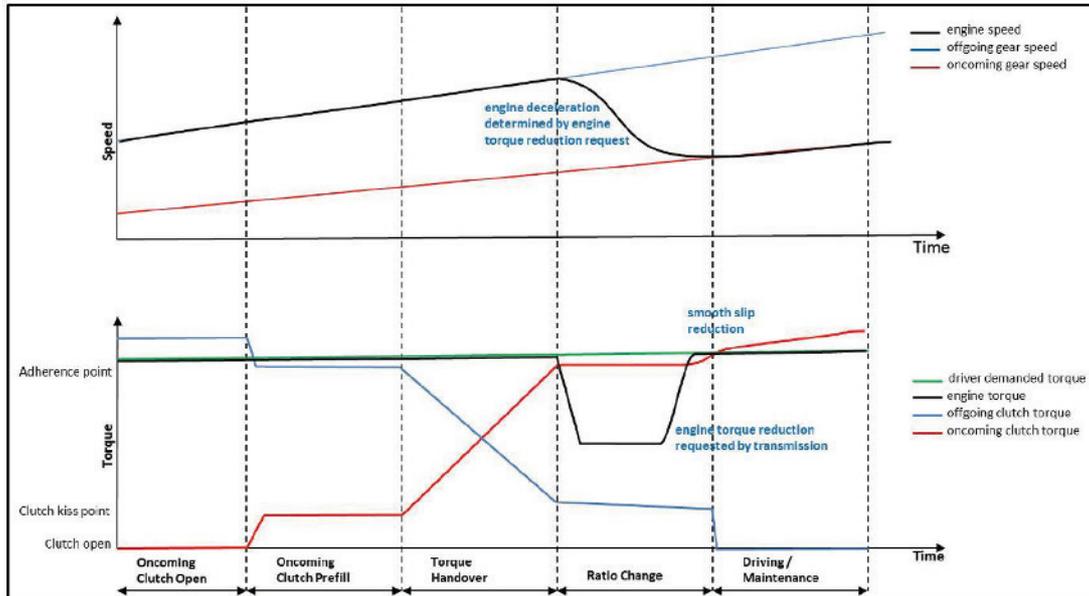


Abbildung 11: Zughochschaltung [AVL-A]

Eine Zugrückschaltung, wie in Abbildung 12 dargestellt, findet statt, wenn am Getriebeeingang ein positives Drehmoment anliegt (Leistungsfluss in das Getriebe) und der nächst niedrigere Gang eingelegt wird. Der Übersetzungswechsel wird hierbei von der öffnenden Kupplung gesteuert.

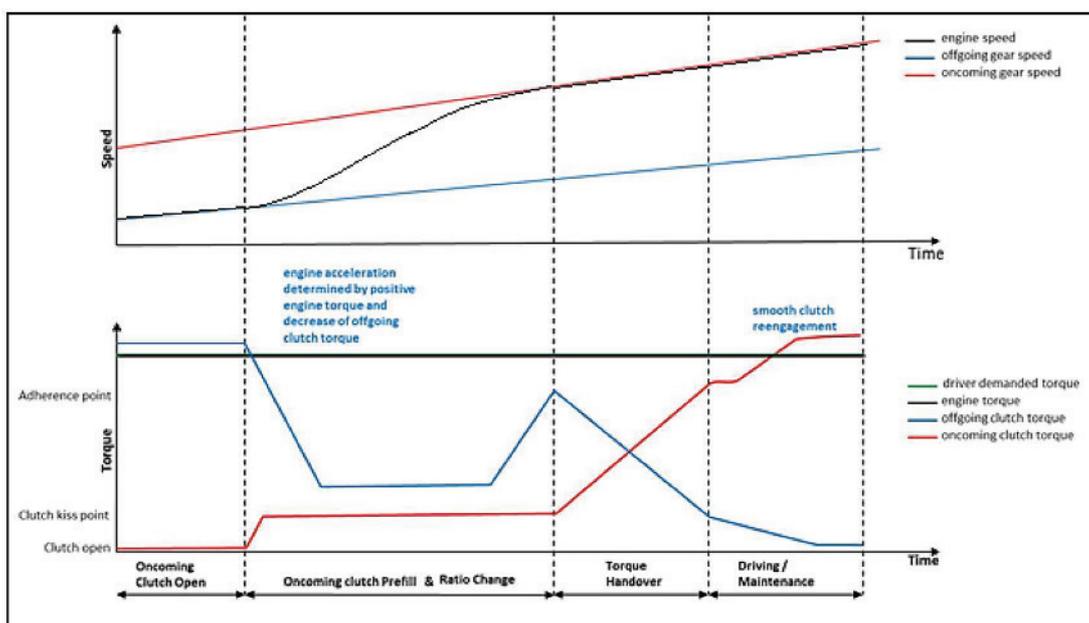


Abbildung 12: Zugrückschaltung [AVL-B]

Eine Schubhochschaltung, siehe Abbildung 13, findet statt, wenn ein negatives Moment am Getriebe anliegt (Leistungsfluss aus dem Getriebe zum Motor) und der nächst höhere Gang eingelegt wird. Der Übersetzungswechsel wird hierbei von der öffnenden Kupplung gesteuert.

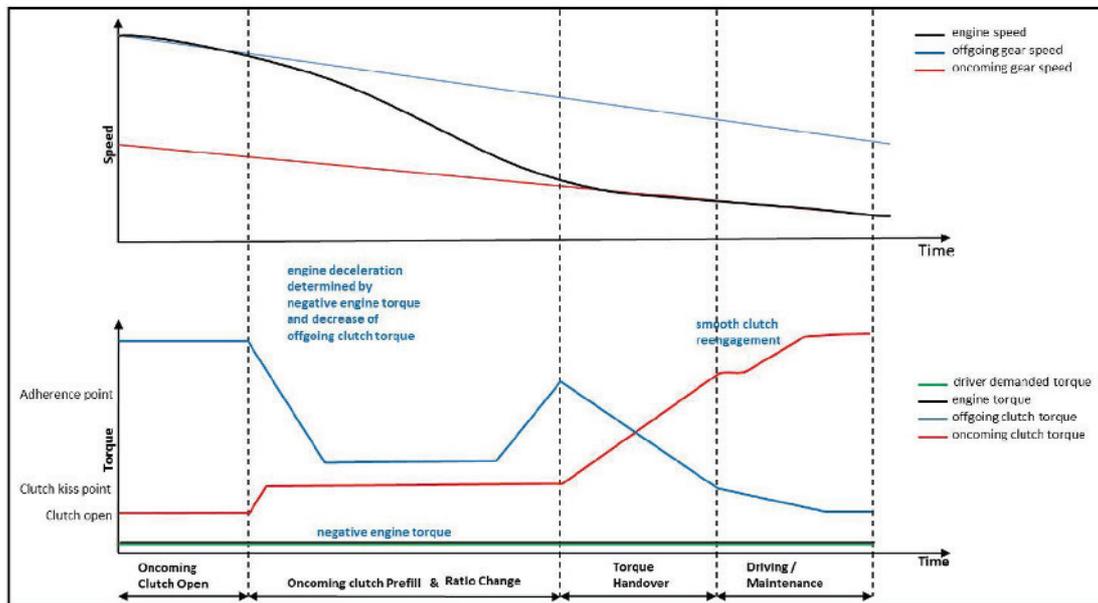


Abbildung 13: Schubhochschaltung [AVL-C]

Eine Schubrückschaltung, siehe Abbildung 14, findet statt, wenn ein negatives Moment am Getriebe anliegt und der nächst niedrigere Gang eingelegt wird. Der Übersetzungswechsel wird hierbei von der schließenden Kupplung gesteuert. Darüber hinaus sind noch andere Abläufe für Schubrückschaltungen möglich, die hier nicht explizit erwähnt werden.

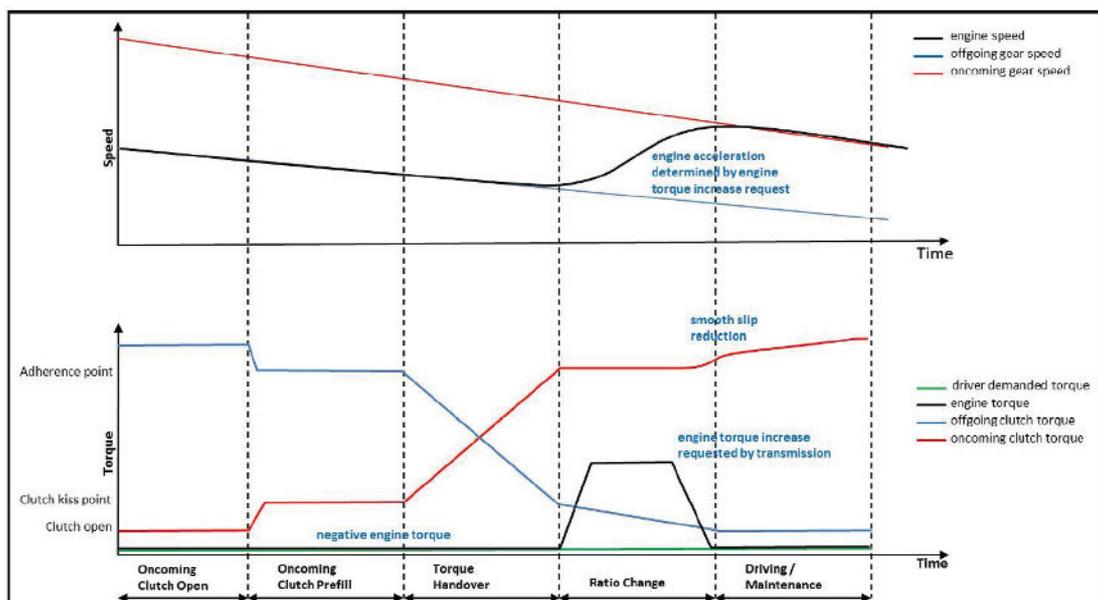


Abbildung 14: Schubrückschaltung [AVL-D]

2.2 Fahrbarkeit

Kraftfahrzeuge sind nicht nur dazu da, um als Transportmittel zu dienen, sie sollen dies auch sicher und möglichst angenehm für die Insassen ermöglichen. Es gibt diverse weitere Anforderungen an das Fahrzeug mit Komfort-Bezug, wodurch ein allgemeiner Begriff „Fahrbarkeit“ der Kraftfahrzeuge entsteht.

2.2.1 Definition Fahrbarkeit

Streng genommen gibt es keine eindeutige Definition von Fahrbarkeit, da es, aufgrund verschiedener internationaler Märkte, zu verschiedenen Kundenerwartungen und Anforderungen an die Automobilhersteller kommt. So kann der Begriff Fahrbarkeit z.Bsp. von einem Kunden mit Spontanität und Ansprechverhalten des Fahrzeuges, von einem anderen Kunden mit fahrdynamischen Eigenschaften und Lastwechselverhalten interpretiert werden. Grundlegend kann der Begriff Fahrbarkeit so zusammengefasst werden, dass er die Gesamtheit der Fahreigenschaften von Kraftfahrzeugen ausdrückt. Um eine bessere Transparenz zu erhalten wird der Begriff in drei große Hauptgruppen eingeteilt. [FIS8]

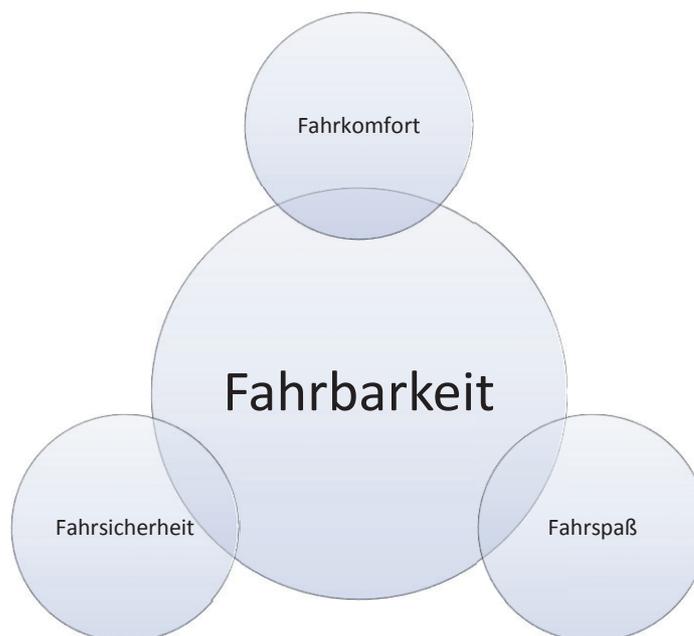


Abbildung 15: Hauptgruppen der Fahrbarkeit von Kraftfahrzeugen

Im Kraftfahrzeugsektor gibt es zur Beurteilung der Fahrbarkeit und deren Kriterien eine Unterteilung in längsdynamischer (in Fahrtrichtung), querdynamischer (quer zur Fahrtrichtung), und vertikaldynamischer Betrachtungsweise, wobei sich in dieser Arbeit die Betrachtung der Fahrbarkeit und deren Einflüsse ausschließlich auf die Längsdynamik des Kraftfahrzeuges bezieht.

2.2.2 Physikalische Einflussgrößen auf die Fahrbarkeit

Die Fahrbarkeit von Kraftfahrzeugen wird von vielen physikalischen Gegebenheiten beeinflusst. In längsdynamischer Betrachtung sind z.Bsp. sämtliche auftretende Fahrwiderstände zu erwähnen, welche neben Brems- und Traktionseigenschaften die Fahrbarkeit von Kraftfahrzeugen maßgeblich beeinflussen. [HEI1]

Einflussgrößen durch längsdynamische Fahrwiderstände: [HEI2]

Man unterscheidet Fahrwiderstände bei stationärer- und instationärer Fahrt. Erstere sind Betrachtungen bei einer Fahrt mit konstanter Fahrzeuggeschwindigkeit. Die dabei auftretenden Fahrwiderstände sind Rad-, Steigungs-, und Luftwiderstände, welche in beiden Fahrzuständen zu betrachten sind. Bei instationärer Fahrt tritt aufgrund von Massenträgheitsmomenten ein zusätzlicher Fahrwiderstand auf (bzw. eine positive Drehmomentkomponente bei Verzögerung), welcher als Beschleunigungswiderstand zusammengefasst wird. Der Antrieb des Fahrzeuges muss also dem gesamten Fahrwiderstand F entgegenwirken.

$$F = F_L + 4 * F_R + F_{ST} + F_C \quad (3)$$

$F_L...$	Luftwiderstand
$F_R...$	Radwiderstand
$F_{ST}...$	Steigungswiderstand
$F_C...$	Beschleunigungswiderstand

Der Luftwiderstand F_L berechnet sich aus Staudruck p_∞ , Widerstandsbeiwert c_w und der Stirnfläche A_L des Fahrzeuges, wobei ρ_L die Dichte der Luft und v_∞^2 die quadratische Anströmgeschwindigkeit der Luft ist, dies die Summe aus Fahrzeuggeschwindigkeit und Geschwindigkeit der Luft in Fahrtrichtung, welche bei Gegenwind zur Fahrgeschwindigkeit addiert und bei Rückenwind subtrahiert wird.

$$F_{L,\infty} = p_\infty * c_w * A_L = \frac{\rho_L}{2} * v_\infty^2 * c_w * A_L \quad (4)$$

Der Rollwiderstand ist die Summe der am rollenden Rad entstehenden Widerstandskräfte und setzt sich aus den Anteilen des Reifens $F_{R,T}$, der Fahrbahn $F_{R,Tr}$, des Schräglaufes $F_{R,\alpha}$ und der Lagerreibung $F_{R,fr}$ zusammen.

$$F_R = F_{R,T} + F_{R,Tr} + F_{R,\alpha} + F_{R,fr} \quad (5)$$

Der Reifen erfährt während der Fahrt in längsdynamischer Betrachtung drei Belastungsarten. Hierbei handelt es sich um freies Rollen, vertikale Kraftübertragung und Bremsen bzw. Antreiben. Beim freien Rollen wirken auf den Reifen Rollwiderstände, welche durch den konstruktiven Aufbau und die Werkstoffeigenschaften des Reifens definiert sind. Die vertikale Kraftübertragung tritt durch die vertikale Gewichtsbelastung des Reifens auf. Der Reifen deformiert sich elastisch und kann vereinfacht als Federmodell betrachtet werden. Die Federsteifigkeit ist hierbei sehr oft vom Fülldruck und dem konstruktiven Aufbau des Reifens als auch von der Rollgeschwindigkeit und der Radlast abhängig. Durch die Reifenelastizität und dem Reibwert zwischen Reifen und Straße kommt es beim Bremsen und Antreiben zu einem so genannten Schlupf, welcher sich aus Formschlupf und Gleitschlupf zusammensetzt. Der Formschlupf tritt bei haftendem Rad durch Profilstollendeformation auf. Der Gleitschlupf ist definiert als Relativbewegung zwischen Reifen und Straße. In der Kurvenfahrt kann die Kraftübertragung des Reifens nur in Kombination mit elastischer Verformung des Reifens erfolgen, es tritt auch hier ein Schlupf auf, der sogenannte Querschlupf. [HEI3]

Die Straßensteigung einer Fahrbahn ist der Quotient der vertikalen und horizontalen Fahrprojektion, dies ist der Tangens des Steigungswinkels α_{ST} .

$$p = \tan(\alpha_{ST}) \quad (6)$$

Es ergibt sich ein Steigungswiderstand F_{St} durch die Fahrzeuggewichtskraft $F_{Z,V,t}$ und der um α_{ST} geneigten Straße von:

$$F_{St} = F_{Z,V,t} * \sin(\alpha_{ST}) \quad (7)$$

Um ein Kraftfahrzeug von einer Geschwindigkeit auf eine andere mit einer Beschleunigung von a_x zu beschleunigen (instationärer Fahrtzustand), muss der Trägheits- oder Beschleunigungswiderstand F_C überwunden werden, welcher sich aus einem translatorischen und einem rotatorischen Anteil zusammensetzt. Hierbei ist der translatorische Anteil die träge Masse $m_{V,t}$ des Fahrzeuges und der rotatorische Anteil, der auf das Rad reduzierten Massenträgheitsmomente $\theta_{red,i}$ des gesamten Antriebstranges im aktuellen Gang i .

$$F_C = F_{C,trans} + F_{C,rot} = \left(m_{V,t} + \frac{\theta_{red,i}}{r_{dyn}^2} \right) * a_x \quad (8)$$

Einflussgrößen durch den Antriebsstrang:

Neben den längsdynamischen Fahrwiderständen wird die Fahrbarkeit von Kraftfahrzeugen unter anderem maßgeblich durch Komponenten des Antriebsstranges beeinflusst. Der Fokus liegt in dieser Arbeit auf dem Einfluss des Getriebes auf die Fahrbarkeit. Bei Übersetzungswechsel im Getriebe tritt, wie in Kapitel 2.1.2 erwähnt, ein Kupplungswechsel auf, bei welchem verschiedene physikalische Größen auftreten, die sich wiederum auf die Fahrbarkeit positiv oder negativ auswirken.

Seitens AVL List GmbH wird die Fahrbarkeit von Fahrzeugen mit Fokus auf das Getriebe, wie in Abbildung 16 gezeigt, interpretiert durch das Zusammenwirken von Anfahren, Beschleunigen, positivem Lastwechsel, negativem Lastwechsel, Verzögern, Schalten und Konstantfahrt des Fahrzeuges. Vertiefend wird nachfolgend auf den Einfluss des Schaltens auf die Fahrbarkeit eingegangen.

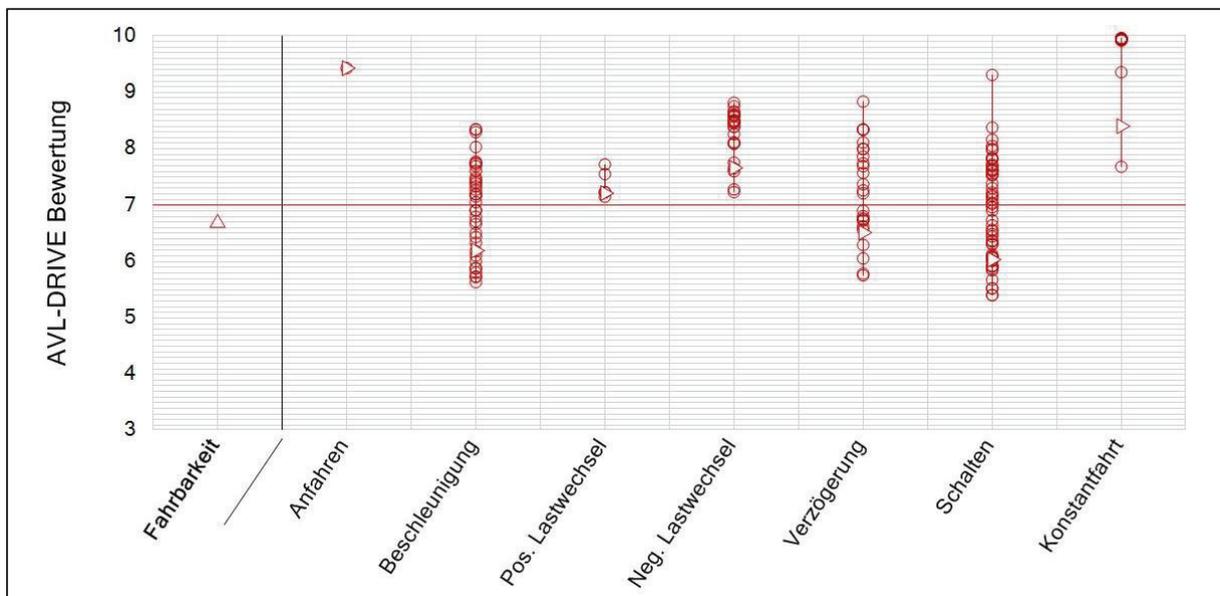


Abbildung 16: Hauptunterteilung der Fahrbarkeit in AVL-DRIVE™ [AVL-E]

Wie im Kapitel 2.1.2 erwähnt, treten bei Übersetzungswechsel vier mögliche Grundschaltungen auf, welche sich in Abbildung 17 neben nicht aufgelisteten spezielleren Schaltungstypen zu einem Betriebszustand „Schalten“ zusammenfassen lassen. Nachfolgend wird detailliert auf die Zughochschaltung eingegangen und es werden physikalische Einflusskriterien dieses Schaltungstyps aufgelistet.

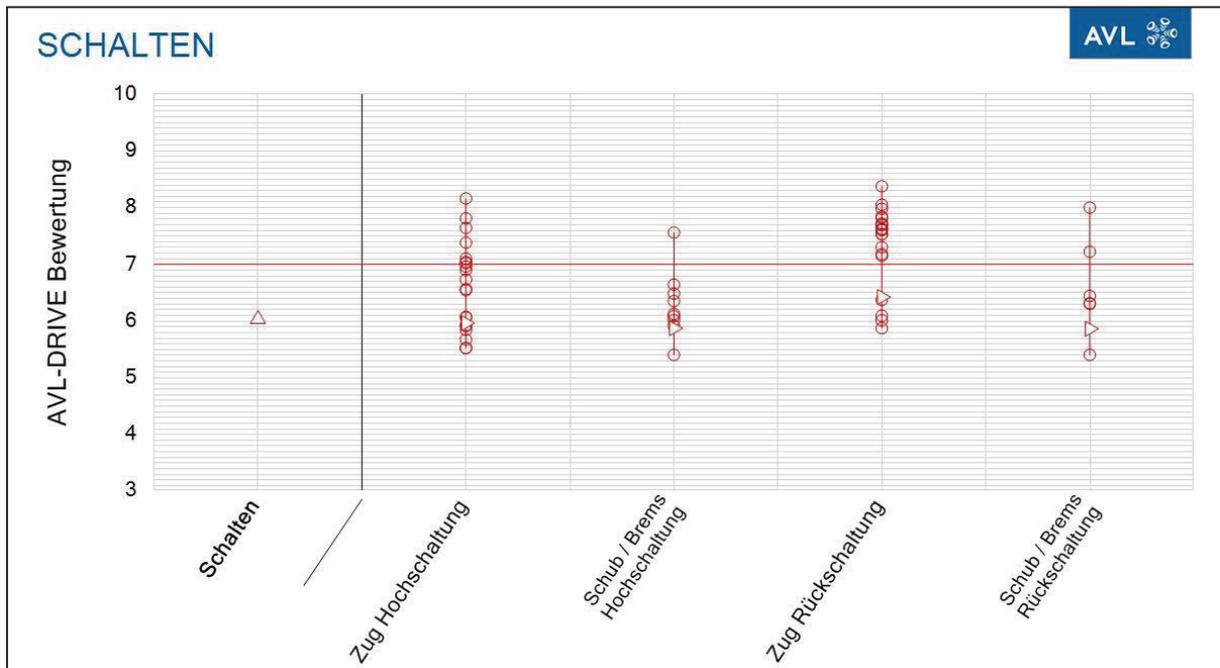


Abbildung 17: Vier Grundschaltungen im Betriebszustand Schalten [AVL-F]

Bei Zughochschaltungen lassen sich diverse physikalische Größen aufzeichnen, welche den Komfort der Schaltung und die Schaltqualität beschreiben können. Basierend auf physikalischen Größen, treten bei Übersetzungswechsel Beschleunigungen, Schaltzeiten, und Geschwindigkeitsveränderungen auf, welche sich auf die Charakteristik von Schaltungen auswirken. In Abbildung 18 werden zunächst alle physikalischen Kriterien aufgelistet, welche bei einer Zughochschaltung in AVL-DRIVE™ beurteilt werden. Diese Kriterien werden nachfolgend in Tabelle 1 überblicksmäßig aufgelistet und grafisch dargestellt.

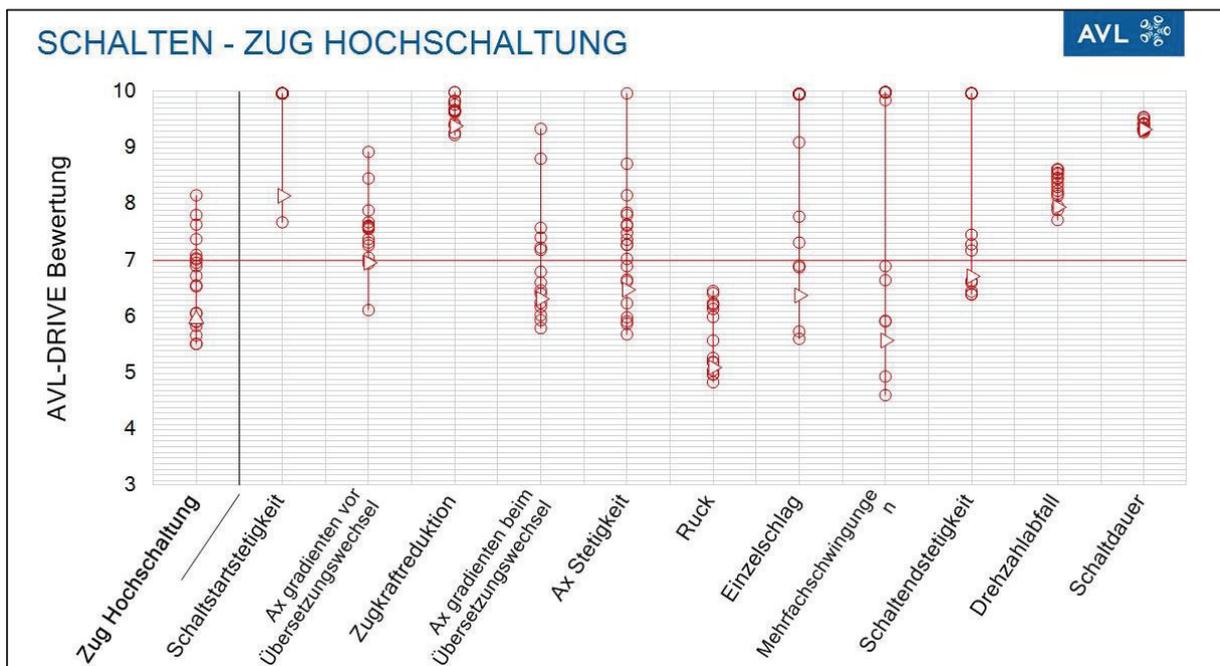
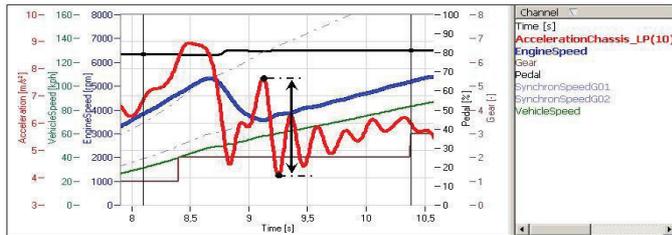
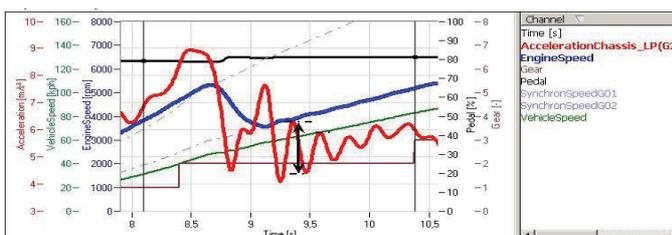
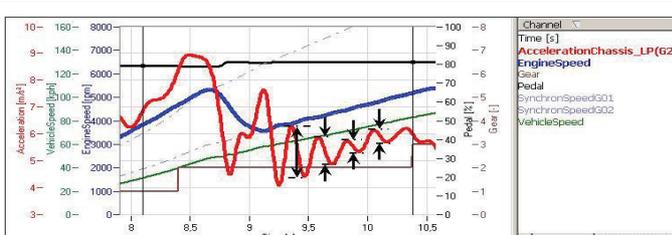
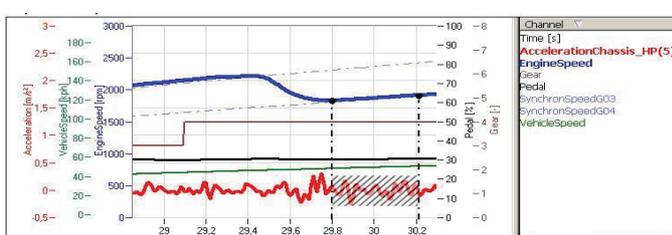
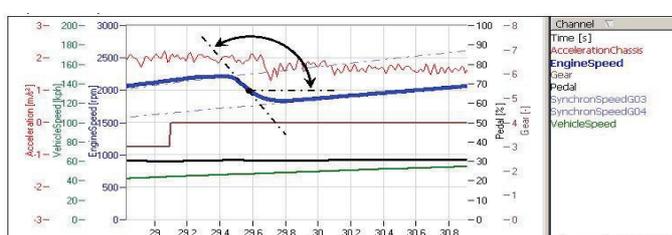
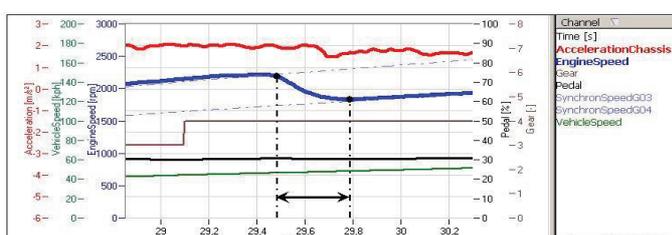


Abbildung 18: Physikalische Kriterien bei einer Zughochschaltung [AVL-G]

Tabelle 1: Physikalische Kriterien bei einer Zughochschaltung [AVL2]

Schaltstartstetigkeit	
<p>Längsdynamische Beschleunigungsschwingungen vor dem Übersetzungswechsel</p>	
Ax Gradient vor Übersetzungswechsel	
<p>Maximaler Gradient der Beschleunigung vor dem Übersetzungswechsel</p>	
Zugkraftreduktion	
<p>Einbruch der Zugkraft während des Beschleunigungsvorganges</p>	
Ax Gradient beim Übersetzungswechsel	
<p>Maximaler Gradient der Beschleunigung während dem Übersetzungswechsel</p>	
Ax Stetigkeit	
<p>Hochfrequente Beschleunigungsstörung während des Übersetzungswechsels</p>	

<p>Ruck</p> <p>Maximale Beschleunigungsamplitude bei Übersetzungswechsel</p>	
<p>Einzel Schlag</p> <p>Erste Beschleunigungsamplitude nach Übersetzungswechsel</p>	
<p>Mehrfachschwingungen</p> <p>Beschleunigungsamplituden nach Übersetzungswechsel</p>	
<p>Schaltendstetigkeit</p> <p>Längsdynamische Beschleunigungsschwingungen nach dem Übersetzungswechsel</p>	
<p>Drehzahlabfall</p> <p>Maximaler negativer Gradient der Drehzahl bei Übersetzungswechsel</p>	
<p>Schaltdauer</p> <p>Dauer des Übersetzungswechsels</p>	

2.2.3 Fahrkomfort

Der Fahrkomfort umfasst die Gesamtheit aller auf die Insassen eines Fahrzeuges einwirkenden mechanischen und akustischen Schwingungen in allen Fahrsituationen, wobei längs-, quer- und vertikaldynamische Bewegungen von den Insassen durch das menschliche Gleichgewichtsorgan im Innenohr wahrgenommen werden. [HEI4]

Bei der Fahrt mit einem Fahrzeug über eine Fahrbahn verursachen die auftretenden Horizontal- und Vertikalkräfte über Koppelungen zwischen Antriebsstrang und Fahrzeugaufbau dynamische Bewegungen in allen sechs Freiheitsgraden, schematisch dargestellt in Abbildung 19. [FIS9]

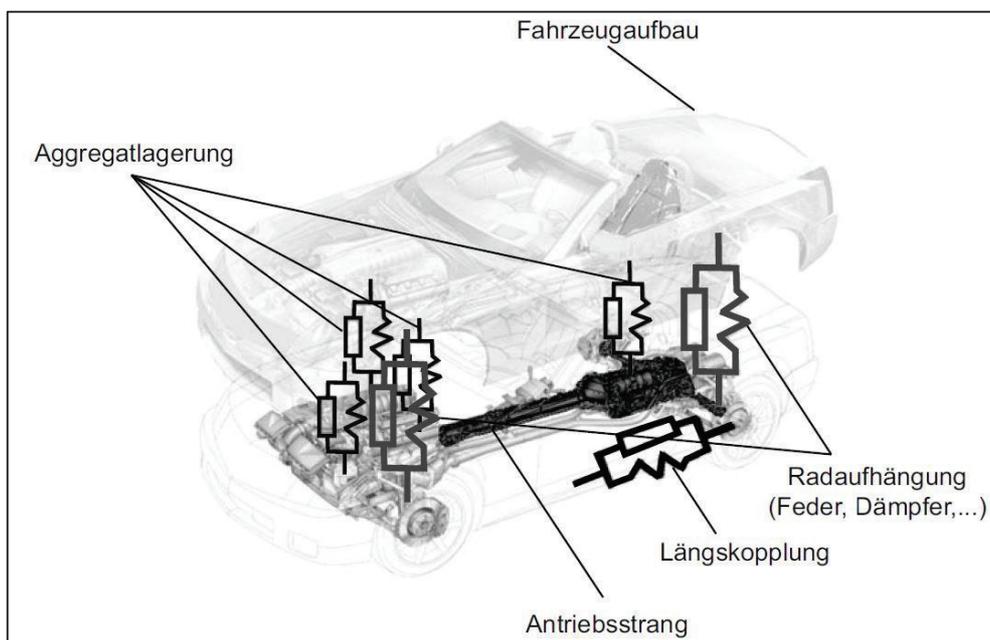


Abbildung 19: Dynamische Koppelungen zwischen Aufbau und Antriebsstrang [FIS-F]

Diese dadurch entstehenden Schwingungen haben auf das menschliche Empfinden einen wesentlichen Einfluss, wobei Frequenz, Intensität, Einwirkungsort, Einwirkungsrichtung und Einwirkungsdauer der Schwingungen eine entscheidende Rolle spielen. So entstehen zum Beispiel bei einem Lastwechsel im Antriebsstrang durch die Zugkraftänderung spürbare Schwingungen im Fahrzeuginneren, die das subjektive Komfortempfinden des Menschen stark beeinflussen. Dadurch ist es neben der akustischen und dynamischen Abstimmung des Fahrzeuges auch wichtig, den Einfluss des Übersetzungswechsels auf den Fahrkomfort zu betrachten. Abhängig von Kundenerwartungen und Kundenwünschen kann ein Übersetzungswechsel im Automatikgetriebe mehr oder weniger komfortabel (schnell/langsam) ablaufen. Maßgebliche physikalische Kriterien, wie in Tabelle 1 zusammengefasst, sind dabei Schaltzeit, Schaltruck und Schaltverzögerung. Das Zusammenwirken nahezu aller Kriterien ist schlussendlich entscheidend für die Schaltqualität und den Komfort der Schaltung. [HEI5]

Um näher auf den Einfluss des Übersetzungswechsels auf den Schaltkomfort einzugehen, zeigt Abbildung 20 grafisch Signalverläufe eines Gangwechsels. Es kommt bei Gangsprung (5) im Bereich der Motordrehzahländerung (2) zu Amplituden in der Längsbeschleunigung (3), siehe Kennzeichnung, die vom Insassen des Fahrzeuges deutlich spürbar und somit unkomfortabel sind. Abhängig von der Anzahl und Höhe der Amplituden im Längsbeschleunigungssignal haben solche physikalischen Größen, wie in Tabelle 1 aufgelistet, einen maßgeblichen Einfluss auf die Schaltqualität. Zur Bewertung der physikalischen Kriterien und deren Einfluss auf die Schaltqualität, wird bei AVL List GmbH ein Softwaretool verwendet, welches in Kapitel 2.4 behandelt wird. [FIS9]

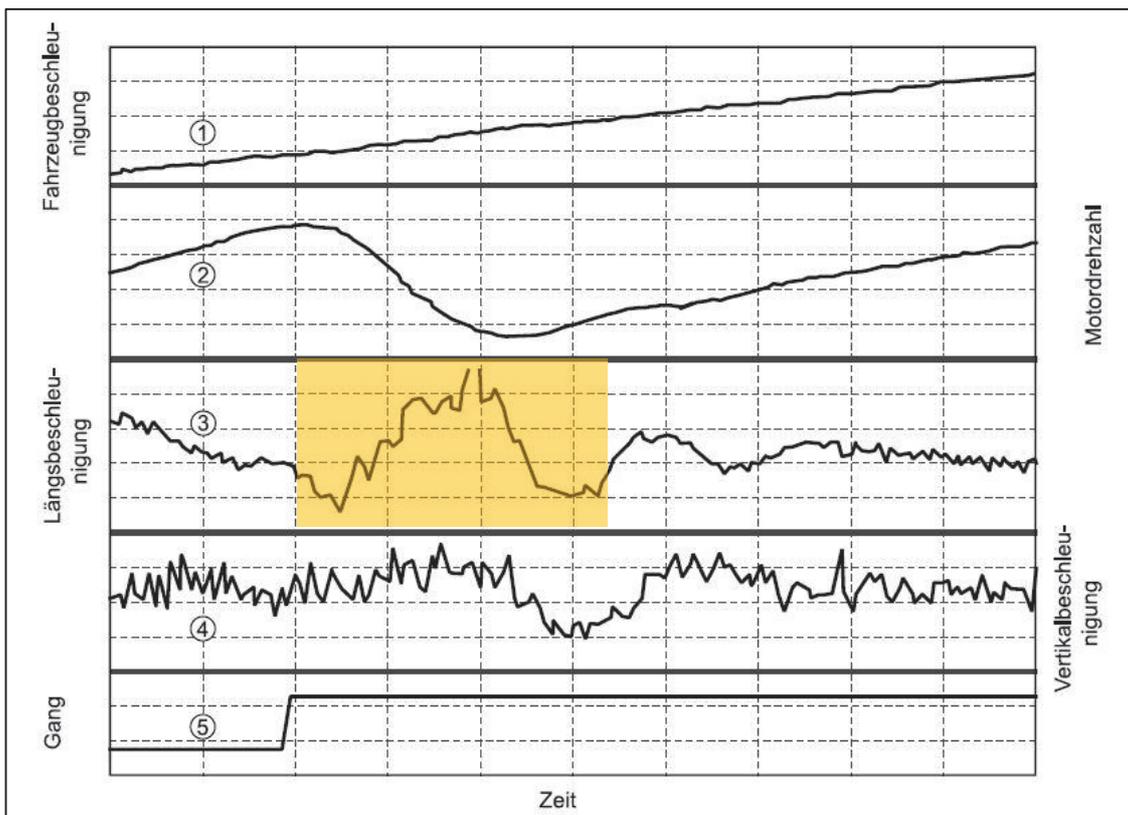


Abbildung 20: Zughochschaltung bei Vollast [FIS-G]

2.2.4 Fahrsicherheit

Neben dem Fahrkomfort ist eine weitere essentielle Komponente der Fahrbarkeit die Fahrsicherheit. Sowohl der gesamter Antriebsstrang, das Chassis des Fahrzeuges, als auch Systeme im Inneren des Fahrzeugraumes sind für die Fahrsicherheit eines Fahrzeuges verantwortlich. Maßgeblich für die Sicherheit beim Fahren ist der Zustand des Fahrzeuges, die Wetter-, Straßen-, und Verkehrsbedingungen, die Qualifikation des Fahrers und seine Befindlichkeit. [REI1]

Betrachtet man den Aspekt der Fahrzeugsicherheit im Bereich der Längsdynamik und im Falle eines Übersetzungswechsels, sind Faktoren wie richtiges Schließen und Öffnen der entsprechenden Kupplungen als Grundlage zu betrachten. Sollte es zum Schließen von mehreren Kupplungen zum gleichen Zeitpunkt kommen, so kann das Getriebe mechanisch verspannen und zerstört werden. Dies würde die Fahrsicherheit merklich durch Schläge beeinflussen, blockierende Räder hervorrufen und zum Ausfall des Getriebes während der Fahrt führen. Solche Fehler sind durch Sicherheitssysteme im Getriebesteuergerät abgesichert. Weiteres kann ein falscher Übersetzungswechsel bei niedrigen Drehzahlen zu einem Motor-Absterben führen, welches als extrem heikle Situation während des Fahrens einzuschätzen ist. Beim Beschleunigen des Fahrzeuges besteht die Möglichkeit, abhängig von der Leistung des Fahrzeuges und der Beschaffenheit der Reifen, wie in Kapitel 2.2.2 erwähnt, das ein Schlupf auftritt. Das Fahrzeug hätte eine geringe Traktion, die Reifen würden durchrutschen, was zu Instabilität des Fahrzeuges und zu Unfällen führen könnte. Dies wird durch das Sicherheitssystem ASR (Antischlupfregelung) im Fahrzeug vermieden. Weitere Sicherheitssysteme wie ABS (Antiblockiersystem) und ESP (Elektronische Stabilitäts-Programm) verhindern Unfälle bei Bremsvorgängen und Traktionsschwierigkeiten während des Fahrens. Gesamtheitlich werden solche Sicherheitssysteme aktive Sicherheitssysteme genannt, da sie vor einem Unfall aktiv eingreifen um einen Unfall zu vermeiden. Eine weitere Art von Sicherheitssystemen sind passive Sicherheitssysteme, welche den Fahrer beim Auftreten eines Unfalls im Inneren des Fahrzeuges vor Verletzungen schützen sollen. Betrachtet man die Fahrsicherheit bezogen auf den Übersetzungswechsel in längsdynamischer Sicht, sind die erstgenannten aktiven Sicherheitssysteme notwendig, die eine hohe Fahrsicherheit garantieren und Unfälle vermeiden können. [REI1]

2.2.5 Fahrspaß

Neben Fahrkomfort und -sicherheit darf der Fahrspaß nicht zu kurz kommen. In Abbildung 21 ist die Einschätzung von Experten bezogen auf die Kaufentscheidung von Kunden im Automobilsektor der Mittelklassefahrzeuge schematisch dargestellt. Es ist zu erkennen, dass neben Sicherheit und Individualität, Spaß, Sportlichkeit und Abenteuer von den Kunden eine hohe Bedeutung zugesprochen bekommen. Die Kunden wollen schnelle, dynamische und sportliche Fahrzeuge, welche zugleich komfortabel sein sollen. [HEI6]

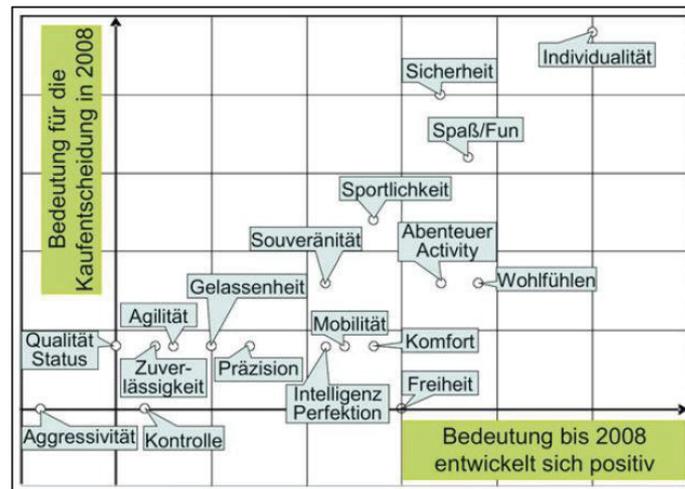


Abbildung 21: Kaufentscheidende Werthaltungen nach Einschätzung der Experten [HEI-A]

Ein sportliches Verhalten des Fahrzeuges wird nicht nur durch leistungsstarke Motorisierung des Fahrzeuges erreicht, sondern auch durch das Verhalten des Getriebes während der Fahrt. Bei Übersetzungswechsel wird ein sportliches Verhalten zum Beispiel durch geringe Schaltverzögerungen und Schaltzeiten erreicht. Jedoch kann dies zugleich einen negativen Einfluss auf den Komfort der Schaltung haben. Es treten während der Schaltung viele Schläge im Längsbeschleunigungssignal auf, die deutlich vom Insassen beim Übersetzungswechsel spürbar sind. Ein Kompromiss zwischen dynamischem und komfortablem Verhalten der Schaltung ist also unumgänglich, um Kunden zufrieden zu stellen und ihre Erwartungen zu erfüllen.

2.3 Objektive Beurteilung der Fahrbarkeit

Um entsprechende Kundenwünsche in der Automobilbranche zu erfüllen, ist es notwendig, die Wünsche und Erwartungen der Kunden richtig zu interpretieren. Die Kaufentscheidung von Automobilkunden hängt neben Design und Motorisierung des Fahrzeuges großteils von der Fahrbarkeit des Fahrzeuges ab. Die Schwierigkeit hierbei ist es, dass jeder Kunde eigene subjektive Wahrnehmungseigenschaften aufweist und unter Fahrbarkeit was anderes interpretiert. So ist zum Beispiel ein Ruck in der Längsbeschleunigung bei einer Zughochschaltung mit Vollast für den einen Menschen eine schlechte Qualität der Schaltung, für den anderen eine dynamische und sportliche Schaltung. Um das komplexe subjektive Empfinden des Menschen besser zu kategorisieren ist es notwendig, einen objektiven Zugang zu bekommen. Ziel ist es, eine möglichst genaue objektive Nachbildung des subjektiven menschlichen Empfindens zu erreichen. Dieses Ziel verfolgte auch AVL List GmbH und entwickelte das Software Tool AVL-DRIVE™, siehe Kapitel 2.4, zur Bewertung von physikalischen Parametern der Fahrbarkeit von Personenkraftfahrzeugen und zur Objektivierung des menschlichen Empfindens.

2.4 AVL-DRIVE™

Das AVL Tool DRIVE ist eine von der AVL List GmbH entwickelte Software zur Objektivierung der Fahrbarkeit und des Fahrkomforts von Personenkraftfahrzeugen. Auf Basis von physikalischen Parametern wird ein objektiver Wert für die Qualität der Fahrbarkeit berechnet. Die verschiedenen Betriebszustände des Fahrens werden durch die Software erkannt, wodurch die Berechnung der Beurteilung von einzelnen Parametern in einem bestimmten Zeitfenster durchgeführt wird. Am Anfang jeder Beurteilung muss für das verwendete Fahrzeug eine Fahrzeugkonfiguration in AVL-DRIVE™ vorgenommen werden, sodass zum Beispiel Motor-, Getriebeparameter und Fahrwiderstandskoeffizienten des Fahrzeuges für die Messung und für die Berechnung der Beurteilungsnote (DRIVE Rating) bekannt sind. Bis zu 400 einzelne Kriterien von physikalischen Parametern können in Echtzeit während der Messung objektiv beurteilt werden. Für die Berechnung werden Fahrzeug-, Motor-, und Getriebedaten verwendet, welche über Sensoren und Schnittstellen aufgezeichnet und in den unterschiedlichen Betriebszuständen gemessen werden. Für jedes Fahrmanöver wird ein Gesamtrating berechnet, welches sich aus verschiedenen Subratings der einzelnen physikalischen Kriterien zusammensetzt. Nach der Messung besteht die Möglichkeit die Signalverläufe der Fahrmanöver und deren objektive Beurteilung grafisch anzeigen zu lassen, um den physikalischen Verlauf des Fahrmanövers besser nachvollziehen zu können.

In Abbildung 22 ist der Bereich des berechneten DRIVE Ratings (DR) aufgelistet, wobei DRIVE Rating 1 „unfahrbar“ bedeutet und DRIVE Rating 10 bedeutet, dass die Erwartungen des Kunden vollständig erfüllt wurden.

AVL-DRIVE™ Driveability Assessment		
DR	Evaluation	Description
9 - 10	excellent	The driveability exceeds all customer's expectations
8 - 9	good	The driveability meets all customer's expectations
7 - 8	satisfying	The driveability meets most customer's expectations
6 - 7	acceptable	Driveability at basic level only, does not meet most customer's expectations
5 - 6	poor	Some customers complain about driveability
4 - 5	unacceptable	Most customers complain about the driveability
3 - 4	defective	All customers complain driving the vehicle
2 - 3	unsafe operation	Only limited or unsafe vehicle operation possible
1 - 2	no operation	Vehicle not operational

Abbildung 22: Objektive Bewertungsskala AVL-DRIVE™ [AVL-Q]

Ein Beispiel einer DRIVE Messung wird in Abbildung 23 dargestellt. Vertikal angeordnet sind die Achsen der einzelnen physikalischen Messgrößen zu sehen. Die horizontale Achse bildet die Zeitachse in Sekunden. Durch die verschiedene Farbgebung der physikalischen Signale sind deren Verläufe sehr gut erkennbar und die Nachvollziehbarkeit der Manöver ist gegeben.

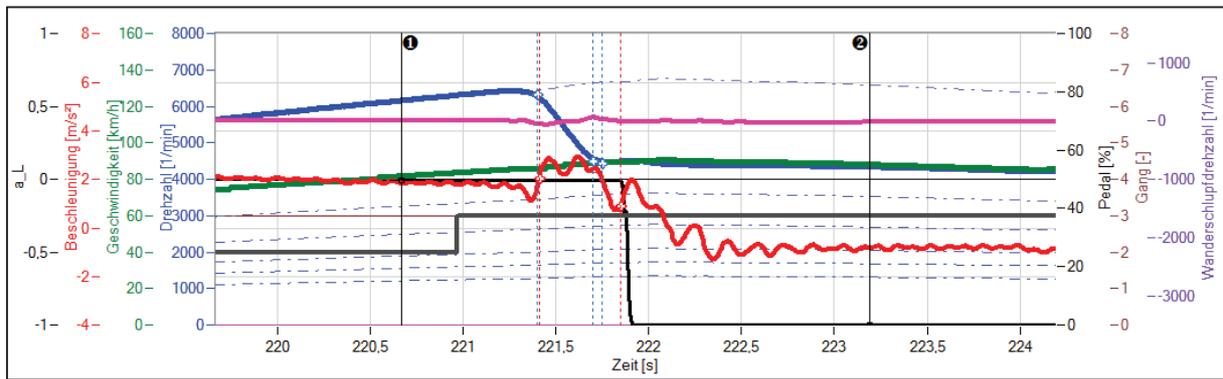


Abbildung 23: Beispiel einer DRIVE Messung [DRI-E]

Die erkannten Manöver werden während der Messung mit einem gesamten DRIVE Rating beurteilt, welches sich wie zuvor erwähnt aus verschiedenen Unterbewertungen zusammensetzt. Als kurzen Überblick zeigt die Abbildung 24 alle Subkriterien, wie in Kapitel 2.1.2 theoretisch erklärt, die bei verschiedenen Schaltmanövern einen Einfluss haben. Dabei sind die Kürzel folgend zu interpretieren: ZHS (Zughochschaltung), ZRS (Zugrückschaltung), SHS (Schubhochschaltung) SRS (Schubrückschaltung).

DRIVE CRITERIA	SHIFTTYPES				
	ZHS	ZRS	Kickdown	SHS	SRS
Acceleration build-up delay			X		
Acceleration gradient before ratio change	X				
Acceleration gradient during ratio change	X	X	X		
Acceleration gradient after ratio change		X	X		
Acceleration increase delay			X		
Deceleration characteristics				X	
Engine speed at engagement			X		
Engine speed decrease	X			X	
Engine speed increase		X	X		X
Initial Bump			X		
Jerks	X	X	X	X	X
Kick	X	X	X	X	X
Shock	X	X	X	X	X
Ratio change steadiness	X	X	X	X	X
Response delay			X		
Shift characteristics		X	X		
Shift delay	X	X	X	X	X
Shift duration	X	X	X	X	X
Shift end steadiness (acceleration)	X	X	X	X	X
Shift start steadiness (acceleration)	X	X	X	X	X
Traction reduction (acceleration)	X	X	X		

Abbildung 24: Einfluss physikalischer Kriterien auf Schaltungsarten von Automatikgetrieben

Diese Subkriterien haben abhängig von Betriebszustand, Fahrzeuggeschwindigkeit und Moment des Motors einen unterschiedlich großen Einfluss auf das Gesamtrating des Schaltmanövers. So hat zum Beispiel das Subkriterium Shock - maximale und minimale Spitzen im längsdynamischen Beschleunigungssignal – abhängig vom Betriebspunkt einen unterschiedlichen Einfluss auf das Gesamtrating des Fahrzeuges. Bei hohen Geschwindigkeiten treten im Fahrzeuginnenraum mehr spürbare Vibrationen und Schwingungen auf, wobei der Anteil des Ruckes des Beschleunigungssignals relativ gering ist. Treten solche Spitzen bei geringen Geschwindigkeiten auf, sind sie vom Insassen deutlich spürbar und zuordenbar. Dies führt zu einer schlechten subjektiven Empfindung durch den Menschen wodurch die Qualität der Schaltung als nicht zufriedenstellend kategorisiert wird.

Das Gesamtrating der Fahrbarkeit des Fahrzeuges setzt sich wie in Abbildung 25 zusammenfassend gezeigt durch verschiedene, hierarchisch angeordnete Subratings zusammen. Mit AVL-DRIVE™ kann man auf diese Art und Weise von Fahrzeugen in der Prototypenphase sowie in der Serienphase die Qualität der Fahrbarkeit feststellen.

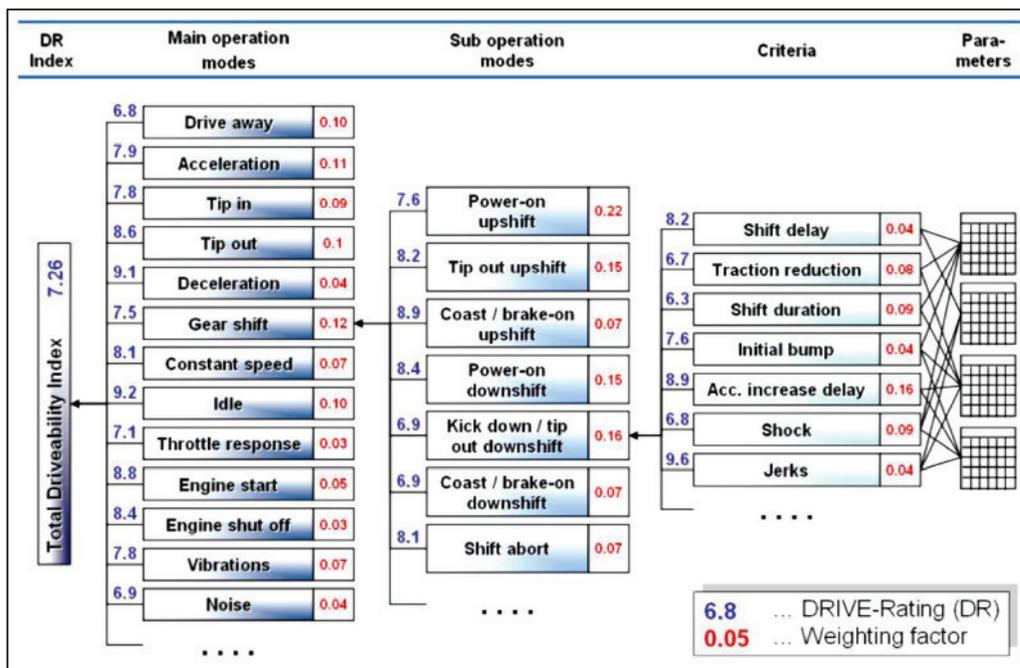


Abbildung 25: Aufbau der Bewertungsstruktur in AVL-DRIVE™ [AVL-Q]

2.5 AVL-CAMEO™

Das AVL Tool CAMEO wird im Getriebebereich der AVL List GmbH für die Optimierung der Schaltqualität von automatisierten Getrieben eingesetzt. Mit der Software können Prüflauftests geplant werden, welche anschließend automatisiert abgefahren werden können. Es gibt zwei Möglichkeiten AVL-CAMEO™ im Getriebebereich einzusetzen. So ist es mit **CAMEO Transmission** möglich, über einen Design of Experiment (DoE) Manager einen Testlauf basierend auf DoE-Methoden für verschiedene Schaltmanöver in verschiedenen Betriebspunkten zu erstellen. Der Vorteil von CAMEO Transmission ist, dass die Planung der gewünschten Schaltungen relativ schnell erfolgt und sich für den Getriebekalibrateur einfach gestaltet. Aus dem erstellten DoE-Plan wird durch CAMEO Transmission automatisch eine Run List berechnet, die anhand voreingestellter Getriebe-, Motor- und Wandler Parameter die fahrbaren Schaltungen feststellt und einen gesamten Abfahrplan der fahrbaren Schaltungen inklusive nötiger Zwischenschaltungen berechnet. Eine zweite Möglichkeit des Einsatzes von AVL-CAMEO™ im Getriebebereich ist mit **CAMEO Standard** realisierbar. Hierbei werden die Manöver nicht über einen DoE-Manager geplant und die Abfahrliste automatisch erzeugt, sondern müssen über Parametrierung von einzelnen Betriebspunkten und Aktionen selbstständig geplant werden. Mit dieser Methode von AVL-CAMEO™ sind verschiedenste parametrisierte Betriebspunkte möglich, wobei die Durchführbarkeit der Schaltungen im Vorhinein nicht sichergestellt werden kann, da keine Fahrzeugdaten hinterlegt sind. Es kann passieren, dass Sicherheitssysteme des Fahrzeuges bestimmte Betriebspunkte oder Schaltungen nicht zulassen und somit gewisse, in CAMEO Standard geplante, Schaltungen nicht durchführbar sind. In Abbildung 26 ist ein Ausschnitt einer Run List von geplanten 12 und 23 Hochschaltungen mit CAMEO Transmission ersichtlich, wobei die geplanten Schaltungen und die geschätzte Prüflaufzeit im „Testrun information“ Fenster dargestellt sind.

	Operating point short name	Global number	Information			Type	
			Runtime	Event type	Event subtype	Shift type	ExecutionMode
1	0% 0kmh, 01	0	00:00:00	Unknown	Unknown	01	ManualSingleShift
2	32,7% 26,7kmh, 12	136	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	12	ManualSingleShift
3	35,2% 30kmh, 23	291	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
4	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
5	36,6% 54,5kmh, 23	415	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
6	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.7680	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
7	37,8% 38,4kmh, 23	345	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
8	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
9	42,1% 64,1kmh, 23	477	00:00:07.8000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
10	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:08.4720	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
11	37,9% 38,4kmh, 23	343	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
12	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
13	12,4% 28,8kmh, 23	248	00:00:06.4000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
14	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
15	13,5% 36kmh, 23	297	00:00:06.4000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
16	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
17	35,2% 30kmh, 23	286	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
18	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
19	32,9% 38kmh, 23	315	00:00:07.8000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
20	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
21	1% 17,3kmh, 21	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	21	ManualSingleShift
22	32,6% 19,1kmh, 12	62	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	12	ManualSingleShift
23	37,8% 38,4kmh, 23	334	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
24	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
25	35,2% 60,9kmh, 23	433	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
26	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:07.2020	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
27	1% 37,6kmh, 23	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
28	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
29	35,2% 30kmh, 23	279	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
30	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
31	16,1% 44,9kmh, 23	346	00:00:06.4000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift
32	1% 37,6kmh, 32	0	00:00:06.4000	ChangeGear	StepDown	32	ManualSingleShift
33	28,6% 54,9kmh, 23	427	00:00:07.6000	ChangeGear	StepUp	23	ManualSingleShift

Testrun information	
Number of all shifts:	1051
Therefrom	
Number of planned shifts:	480
Number of added shifts:	571
Estimated test runtime:	00:2h 1m
Number of shifts per shift type	
- 01 planned	0
- 01 added	1
- 12 planned	240
- 12 added	13
- 20 planned	0
- 20 added	1
- 21 planned	0
- 21 added	252
- 23 planned	240
- 23 added	32
- 32 planned	0
- 32 added	272

Abbildung 26: Ausschnitt CAMEO Transmission Run List [CAM-E]

Eine solche große Anzahl von geplanten Schaltungen kann in CAMEO Standard nur durch sehr großen Aufwand parametrieren werden. Alle Betriebspunkte des Fahrzeuges werden mittels Parameter selbstständig geplant. In Abbildung 27 ist ein Ausschnitt eines CAMEO Standard Tests gezeigt, welcher im Fahrmodus D durch konstante Pedalvorgabe von 5%, 10% und 20% Pedal (Parameter „AnLast“) Zughochschalten des Fahrzeuges auslösen soll.

The screenshot shows the 'Prepare Test' interface with the following data tables:

Channels:

No.	Name	Area	From	To	Start	Stab. Time	Set Mode	Base Data	Set Order	Ramp Time
1	Pos		0	7	0	0	Absolute	<none>	1	0
2	AnZeit		0	5	0	0	Absolute	<none>	1	0
3	AnLast		0	110	0	0	Absolute	<none>	1	0
4	ZtWart		0	100	0	0	Absolute	<none>	1	0
5	Status		0	4	0	0	Absolute	<none>	1	0
6	Abst_F		0	100	0	0	Absolute	<none>	1	0
7	Brems		0	100	0	0	Absolute	<none>	1	0

Operating Points:

No.	<input checked="" type="checkbox"/>	Control Mode	Type	Pos	AnZeit	AnLast	ZtWart	Status	Abst_F	Brems
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Ramp	5	0	5	100	0	0	0
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Brake	5	0	0	100	0	15	0
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Delay	5	0	0	3	0	0	0
4	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Ramp	5	0	10	100	0	0	0
5	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Brake	5	0	0	100	0	15	0
6	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Delay	5	0	0	3	0	0	0
7	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Ramp	5	0	20	100	0	0	0
8	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Brake	5	0	0	100	0	15	0
9	<input checked="" type="checkbox"/>	<none> / <none>	Delay	5	0	0	3	0	0	0

Abbildung 27: Ausschnitt CAMEO Standard Parametrierung [CAM-F]

Auf die detaillierte Erstellung der Testläufe und die nötigen Parametrierung der Betriebspunkte mit CAMEO Transmission und CAMEO Standard wird im praktischen Teil der Arbeit genauer eingegangen, siehe Kapitel 3.3.2.

2.6 AVL-DRIVE™ Report Generator

Der AVL-DRIVE™ Report Generator wird bei AVL List GmbH für die Erstellung von DRIVE Reports verwendet. Grundlage für den Report ist eine bestehende DRIVE Messung, welche verschiedene Subratings und Hauptratings der gefahrenen Manöver aufweist. Je nachdem was von der Messung dokumentiert werden soll, können im AVL-DRIVE™ vorweg verschiedene Event Filter definiert werden, die für eine Vorsortierung der Messung sorgen. Zum Beispiel können bei einer Messung mit verschiedenen Schaltungsarten jene Schaltungen im Menüpunkt Betriebszustandsstatus inaktiv gesetzt werden, die für die Dokumentation nicht relevant sind. Zusätzlich kann über Event Filter eine weitere Sortierung der Messung vorgenommen werden. Es besteht die Möglichkeit, bei den Events nach verschiedenen Parametern in einer bestimmten Bandbreite zu sortieren. Es können zum Beispiel jene Events angezeigt werden, die mit einem Pedalwert von 15%-20% Pedal ausgelöst worden sind. Mit diesen Sortiermöglichkeiten wird eine komplexe Messung im AVL-DRIVE™ trivialer und strukturierter. Nach der Vorsortierung der Messung in AVL-DRIVE™ wird diese in den AVL Report Generator geladen, wobei es für die Dokumentation verschiedene Arten der Auswertung gibt. Neben der Auflistung der Fahrzeugdaten und des Gesamtratings des Fahrzeuges mit Haupt- und Subrating aller Betriebszustände, siehe Kapitel 2.2.2., ist es auch möglich, vergleichende Liniendiagramme der gemessenen Manöver zu erstellen. Die gebräuchlichsten Auswertungsarten waren bislang sogenannte „Standardberichte“, sowie „vergleichende Auswertungen“, siehe Abbildung 28 und Abbildung 29. Hierbei werden Zughochschaltungsmanöver bei verschiedenen Pedalpositionen ausgewertet.

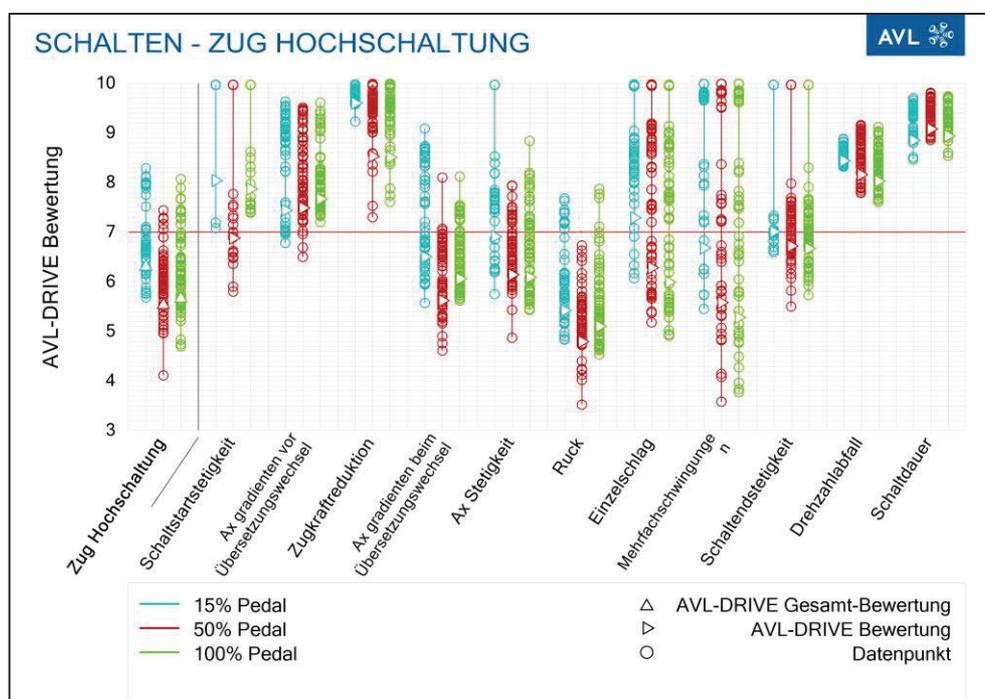


Abbildung 28: Standardbericht AVL-DRIVE™ Report Generator [AVL-I]

Die farbliche Unterteilung bedeutet eine Einteilung der Manöver mit verschiedenen Pedalposition. Jeder einzelne farbliche Ring ist ein Schaltmanöver, wobei das DRIVE-Rating jeder einzelnen Schaltung durch die vertikale Position des Ringes der vertikal angeordneten Achse der AVL-DRIVE™ Bewertung ersichtlich ist. Weiters ist die Streuung der Qualität der einzelnen Schaltungen in den Haupt- und Subratings sofort zu erkennen. So ist zum Beispiel bei den Mehrfachschwingungen in den Schaltungsmanövern im Gegensatz zur Schaltdauer eine deutliche Streuung in der DRIVE Bewertung zu erkennen. Die Größe des gemittelten DRIVE Ratings für jedes Kriterium wird in dieser Auswertedarstellung überblicksmäßig als vertikales Dreieck gekennzeichnet. Mit dieser Möglichkeit der Auswertung sind also alle Schaltmanöver und deren DRIVE Ratings grafisch darstellbar. Als zweite Möglichkeit der standardisierten Auswertung dient die Anzeige der „Vergleichenden Auswertungen“. Hierbei werden im Gegensatz zu Abbildung 28 die gemittelten DRIVE-Ratings aller Schaltungen in ihren Haupt- und Subkriterien durch einen geschlossenen Linienverlauf dargestellt. Diese Darstellungsmöglichkeit dient als Überblick und vorwiegend als direkte Vergleichsgrafik, bei welcher Pedalposition die durchschnittliche Qualität der Zughochschaltung mit ihren Subkriterien liegt.

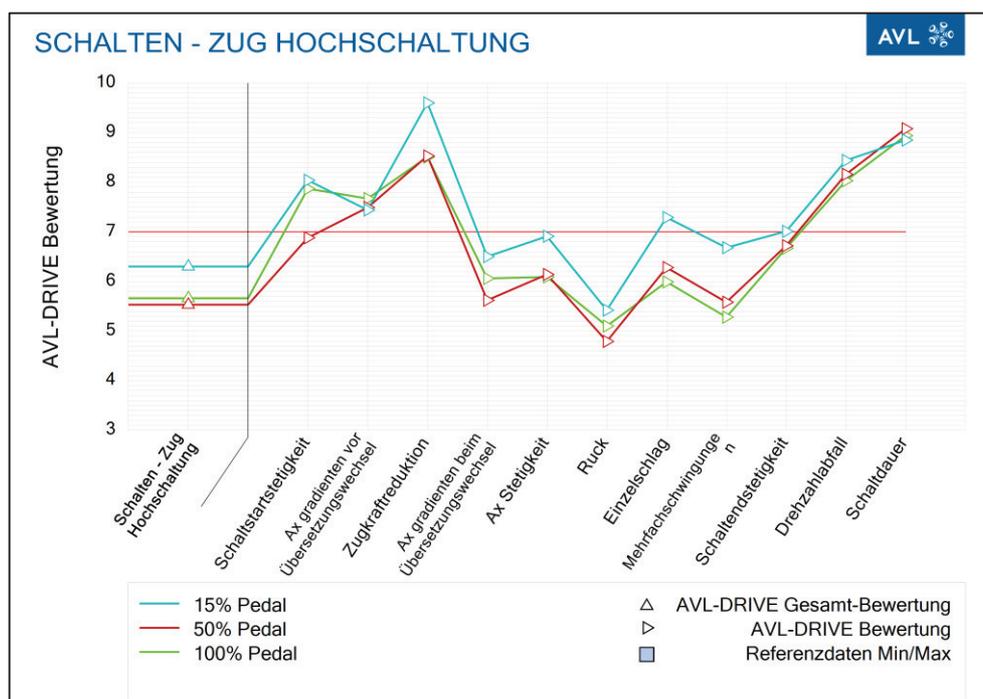


Abbildung 29: Vergleichende Auswertung AVL-DRIVE™ Report Generator [AVL-J]

Auf detailliertere Auswertemöglichkeiten von AVL-DRIVE™ Messungen wird im Kapitel 4 eingegangen.

3 Methodik

Die Untersuchung der Schaltqualität von Automatikgetrieben wurde, wie in der Einleitung schon erwähnt, bisher auf der Straße mit dem Testfahrer im Fahrzeug durchgeführt. Ein neuer Ansatz der Schaltqualitätsbeurteilung, die Verlagerung der Messungen von der Straße auf den Rollenprüfstand, soll Nachteile des Umgebungs- und Straßeneinflusses minimieren, die Zeit für die Beurteilung der Schaltqualität verringern und die Reproduzierbarkeit von Schaltungen maßgeblich erhöhen. Im Zuge eines Kundenprojektes wurde eine Schaltqualitätsdokumentation mit einem Fahrzeug auf einem Rollenprüfstand durchgeführt. Dabei wurden verschiedene kundenspezifische Schaltmanöver mit AVL-CAMEO™ und dem Prüfstandsystem PASU abgefahren und mit AVL-DRIVE™ ausgewertet, wobei im praktischen Teil dieser Arbeit auf zwei spezielle Manövertests genauer eingegangen wird.

3.1 Messaufbau

Die Schaltqualitätsdokumentation wurde auf einem Allrad-Rollenprüfstandsystem bei der Firma ZF Friedrichshafen AG durchgeführt. Versuchsfahrzeug war ein Serienfahrzeug mit 8HP-Getriebe, wobei detaillierte Daten des Fahrzeuges aus Tabelle 3 und Daten des Rollenprüfstandes aus Tabelle 4 im Anhang zu entnehmen sind.

Die Abbildung 30 zeigt den schematischen Überblick des PASU Prüfstandsystems mit den einzelnen Komponenten. Das PASU System ist übergeordnet und steuert bzw. regelt zum einen den gesamten Rollenmodus mit Geschwindigkeitseinstellung und Windgeschwindigkeit des Gebläses, welches zur Fahrwind Erzeugung verwendet wird. Zum anderen ist das PASU System mit dem Fahrzeug-CAN verbunden, um CAN-Größen des Fahrzeuges über ein Anzeigergerät zu überwachen und als Regelgröße zu verwenden. Als Applikationssystem wurde die Software ETAS-INCA verwendet. Diese ermöglichte den Zugriff auf das Getriebe-Steuergerät mittels Applikationshardware (ES610.1 und ES600.1) und diente als Schnittstelle zwischen Fahrzeug und dem Messaufnahme- und Messauswerte-Programm. Das Tool CAMEO wird mit dem Applikationssystem INCA über eine ASAP3 Schnittstelle (spezielle Applikationsschnittstelle) verbunden, wobei die Kommunikation über eine Ethernet Verbindung realisiert wird. Das Tool DRIVE und CAMEO war zusätzlich über eine Ethernet Schnittstelle verbunden. Im Fahrzeug war ein Autopilot (Stähle SAP2000) verbaut, welcher durch das Prüfstandsystem PASU vorgegebene Fahrpedal- und Bremspedalwerte im Auto während der Fahrt zustellte. Ein selbst angefertigter mechanischer Aufbau von ZF Friedrichshafen AG im Fahrzeug ermöglichte eine automatische Wahlhebeländerung während dem Fahrbetrieb, sowie ein mechanisches Auslösen der Schaltwippen im manuellen Fahrzustandsmodus.

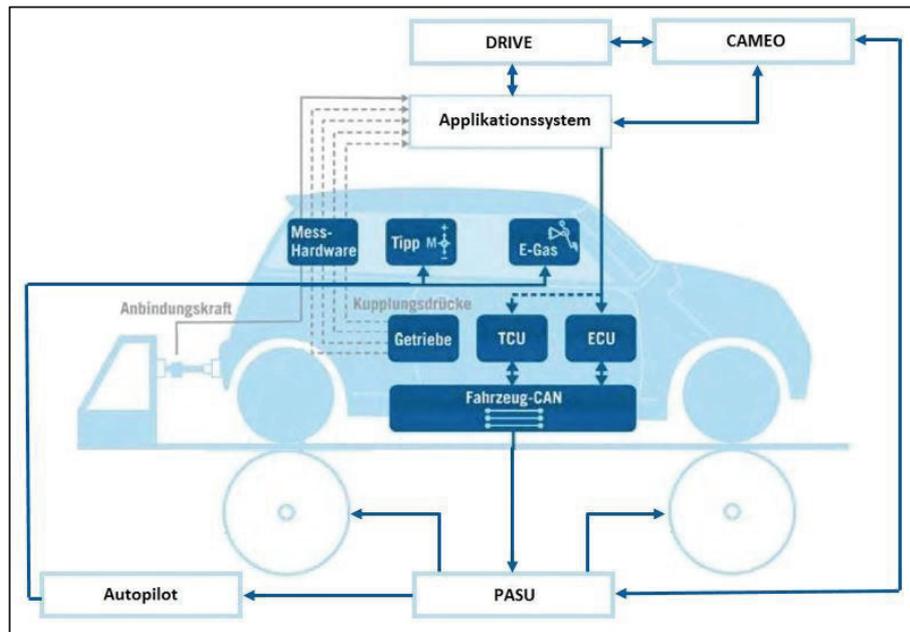


Abbildung 30: Schematischer Prüfsandaufbau

Bei Schaltqualitätsuntersuchungen auf der Straße wird im Fahrzeug ein 3-Achs-Beschleunigungssensor nahe des Fahrzeugschwerpunktes im Fahrzeug verbaut, welcher Beschleunigungssignale während der Prüffahrt aufnimmt. Zusätzlich wird noch ein weiterer Beschleunigungssensor am Querlenker der Vorderachse montiert, welcher vertikale Beschleunigungssignale auf Grund Straßenunebenheiten erfasst, siehe Abbildung 31. Diese Signale werden anschließend als Bewertungsgröße im Tool DRIVE zur Schaltqualitätsbeurteilung verwendet.

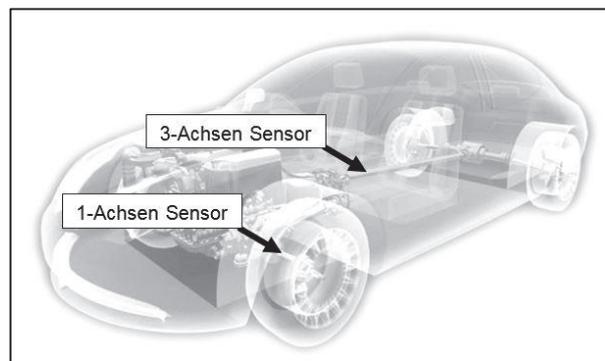


Abbildung 31: Sensorpositionen bei herkömmlicher Schaltqualitätsbeurteilung

Bei der Schaltqualitätsbeurteilung am Rollenprüfstand werden die Beschleunigungssensoren des Fahrzeuges durch eine zentrale, am Fahrzeugheck angebrachte Kraftmessdose (Zug/Druck) ersetzt. Mittels einer Pendelstütze und einem Haltebock wurde das Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand in Längsposition gehalten. Die Kraftmessdose, welche zwischen Pendelstütze und Haltebock verbaut war, siehe Abbildung 32, lieferte hierbei das für die Schaltqualitätsbeurteilung entsprechende Signal, wobei die gemessene Längskraft am Rollenprüfstand proportional zur Längsbeschleunigung auf der Straße ist. Die möglichen Signalverfälschungen und Dämpfungen des Signales der Kraftmessdose durch den Aufbau treten bei einer Biegeresonanzfrequenz von $>200\text{Hz}$ auf, waren also für den Frequenzbereich der Schaltqualitätsbeurteilung, welcher viel geringer ist, unproblematisch. Auch Amplitudenfehler, welche durch Restelastizitäten und der Kinematik des Fahrzeuges zum Beispiel beim Abtauchen des Hecks bei Beschleunigung auftreten können, sind als 2,5-Prozent großer Anteil der Vollastbeschleunigung als gering und vernachlässigbar anzusehen. [ELL1]

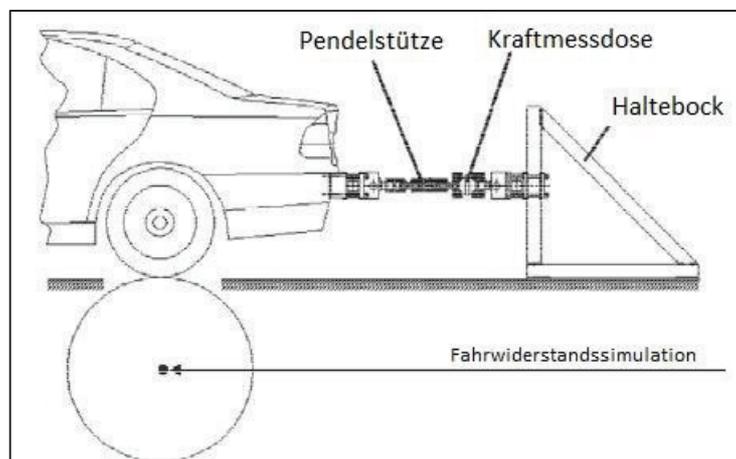


Abbildung 32: Fixierung des Fahrzeuges am Haltebock mit Kraftmessdose [ELL-A]

Zusätzlich wurde das Fahrzeug auf dem Rollenprüfstand neben der Längsverbindung zum Haltebock durch seitlich nach außen geführte Ketten gegen seitliches Verschieben gesichert. Fahrmanöver bis zu 300km/h waren mit diesem mechanischen Aufbau somit möglich.

3.2 Anforderungen an das Prüfprogramm

Das Prüfprogramm der Schaltqualitätsdokumentation bei ZF Friedrichshafen GmbH setzte sich aus verschiedenen kundenspezifischen Anforderungen zusammen. Dabei sollten die zuvor gefahrenen Schaltmanöver der Schaltqualitätsdokumentation auf der Straße mittels Prüfprogrammen vorbereitet werden und automatisiert am Rollenprüfstand abgefahren werden. Neben Standard-Zughochschaltungen mit verschiedenen Pedalstellungen wurden spezielle, auf der Straße schwierig realisierbare, Fahrmanöver als Anforderungen gestellt. Grenzbereiche, wie Schaltmanöver bei hohen Geschwindigkeiten sowie die genaue Abfolge von Schaltungen, ausgelöst bei speziellen Betriebszuständen, waren hierbei eine große Herausforderung.

Geforderte Schaltmanöver Modus D und S:

- Rückschaltungen im Zug bei definierten Geschwindigkeiten
- Ausrollschaltungen mit und ohne Bremsaktuierung
- Hesitation-Manöver (Wiederanfahren), Segeln
- Motor Start/Stop
- Gangeinlegen, Wahlhebeländerung
- Zughochschaltungen mit definierter Pedalposition
- Zughochschaltungen mit Lastrücknahme/Lastzugabe

Geforderte Schaltmanöver Modus M:

- Rückschaltungen im Schub bei definierten Geschwindigkeiten
- Hochschaltungen im Schub bei definierten Geschwindigkeiten
- Zughochschaltungen mit anschließenden Zugerückschaltungen bei definierten Drehzahlen und Pedalpositionen

Es werden in dieser Masterarbeit die geforderten Schaltmanöver im Modus M behandelt, da bei diesem Umfang die Verwendung von CAMEO Transmission und CAMEO Standard notwendig war. Abbildung 33 zeigt die Schaltmatrix des ersten Manövers. Dabei sollten Hoch- und Rückschaltungen mit 0% Pedalstellung im Fahrzustand „Schub“ bei vorgegebenen Geschwindigkeiten durch TIPP (Gangsprung - z.Bsp. 87 = Gang 8 auf Gang 7 - im manuellen Fahrmodus mittels Schaltwippen am Lenkrad) ausgelöst werden.

Gang	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h	140km/h	160km/h	180km/h	200km/h
87	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
76	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
65	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
54	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
43	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
32	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
12	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
34	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
45	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
56	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
67	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
78	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Abbildung 33: Schaltmatrix Schubhochschaltungen/Schubrückschaltungen

Die zweite Schaltmatrix zeigt Abbildung 34. Die Anforderung hierbei war, mit TIPP-Schalten des Fahrzeuges mit Pedalstellungen von 15%, 50% und 100% Zughochschaltungen bei Motordrehzahlen von 2000rpm, 4000rpm und 6000rpm auszulösen. Als exemplarische Erklärung siehe grün markierte Zellen: Im ersten Gang mit 15% Pedal das Fahrzeug beschleunigen, bei einer Motordrehzahl von 2000 Umdrehungen mit TIPP eine Zughochschaltung auslösen. Im Anschluss an die Schaltung mit konstant gehaltenen Pedalwert durch TIPP eine Zugrückschaltung auslösen.

Gang	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000	4000	6000	2000	4000	6000	2000	4000	6000
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 21	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 32	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 43	X	X	X	X	X	X	X	X	X
45	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 54	X	X	X	X	X	X	X	X	X
56	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 65	X	X	X	X	X	X	X	X	X
67	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 76	X	X	X	X	X	X	X	X	X
78	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 87	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abbildung 34: Schaltmatrix Zughochschaltung mit anschließender Zugrückschaltung

Betrachtet man die vom Kunden geforderten Schaltmanöver, so ist zu erkennen, dass manche Schaltmanöver mit den Kombinationen der Betriebszustände und Pedalstellungen physikalisch nicht fahrbar sind, unabhängig ob sich das Fahrzeug auf der Straße oder am Rollenprüfstand befindet. So kann zum Beispiel keine 1-2 Schubhochschaltung bei 200km/h ausgelöst werden (Überdrehzahlen). Auf Grund dessen wurden vor der Testvorbereitung die fahrbaren Schaltungen der einzelnen Schaltmatrizen theoretisch ermittelt, wobei zu erwähnen ist, dass all diese Annahmen fahrzeug- und getriebeabhängig waren. In Abbildung 35 sind die theoretisch fahrbaren Schaltungen grün gekennzeichnet, mögliche nicht fahrbare Schaltungen wurden rot hinterlegt. Durch die Grenzen des Getriebes in Kombination mit dem Motor ist es nicht möglich, hohe Geschwindigkeiten mit kleinen Gängen zu erreichen, weshalb der Bereich A als theoretisch nicht fahrbar rot markiert wurde. Im umgekehrten Fall ist es theoretisch nicht möglich, mit hohen Gängen geringe Geschwindigkeiten zu erreichen, so ergab sich der theoretisch nicht fahrbare Bereich B.

Gang	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h	140km/h	160km/h	180km/h	200km/h
87	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X
76	B	X	X	X	X	X	X	X	X	X
65	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
54	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
43	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
32	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
21	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	X	X	X	A	X
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
45	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
56	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
67	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
78	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abbildung 35: Theoretisch fahrbare Schubhochschaltungen/Schubrückschaltungen

Auch die zweite Schaltmanövermatrix war stark fahrzeugabhängig. So ergab sich der theoretisch nicht fahrbare Bereich C. Die Annahme dabei war, dass das Fahrzeug mit der geringen Pedalposition von 15% in den hohen Gängen nicht mehr beschleunigen könne und somit die geforderten Betriebszustände für das manuelle Schalten nicht erreichen würde (bei angenommener Rollenregelung in „Fahrwiderstands-Simulation“). Das Verhalten und die Schaltstrategie des Fahrzeuges sind sehr herstellerabhängig und können im Vorhinein schwer abgeschätzt werden. Dadurch ergab sich eine weitere Annahme für den Bereich D, da das Fahrzeug bei hohen Drehzahlen und hohen Pedalpositionen keine Rückschaltungen mehr auslösen würde, siehe Abbildung 36.

Gang	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000	4000	6000	2000	4000	6000	2000	4000	6000
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 21	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 32	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 43	X	X	D	X	X	D	X	X	D
45	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 54	X	X	X	X	X	X	X	X	X
56	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 65	X	X	X	X	X	X	X	X	X
67	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 76	X	C	X	X	X	X	X	X	X
78	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 87	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abbildung 36: Theoretisch fahrbare Zughochschaltungen/Zugrückschaltungen

Um diese komplexe Schaltmatrix vor den Tests am Rollenprüfstand verständlicher zu machen, wurden die vorbereiteten Tests zuerst auf einem von AVL List GmbH selbst entwickelten vereinfachten Fahrzeugsimulator getestet, siehe Kapitel 3.4.

3.3 Aufbau der Prüfprogramme

Bei der Erstellung der Testläufe war darauf zu achten, wie die gestellten Anforderungen des Kunden am besten und effizientesten realisiert werden konnten. Betrachtet man die geforderten Schaltmatrizen, dann war bei der Testerstellung auf die Machbarkeit, den Aufwand der Testerstellung, die Testlaufzeiten und den Auswertungsaufwand zu achten. Für die Testerstellung der Schaltmanöver wurde AVL-CAMEO™, welches im Kapitel 2.5 grundlegend erklärt wird, verwendet. Die Schaltmatrix der Schubhoch- und Schubrückschaltungen (SHS/SRS) wurde mit CAMEO Transmission realisiert, die Matrix der Zughoch- und Zugrückschaltungen (ZHS/ZRS) wurde mit CAMEO Standard realisiert.

3.3.1 Erstellung Testablauf SHS/SRS mit CAMEO-Transmission

Wie zuvor erwähnt, wurde die Schaltmatrix für die Schubhochschaltungen mit Schubrückschaltungen, siehe Abbildung 33, mit CAMEO Transmission erstellt. Der Grund dafür war, dass mit CAMEO Transmission eine schnelle und effiziente Testplanung von Schaltungen möglich ist. Mittels eines DoE-Wizards können Schaltungen in einfacher Form und kürzester Zeit in bestimmten Betriebspunkten geplant werden. Die Vorgabe von ZF Friedrichshafen GmbH war, dass die geplanten Schaltungen bei definierten Geschwindigkeiten mit 0% Pedal im Schub mittels Tipp in M-Modus ausgelöst werden sollten. Es besteht die Möglichkeit im DoE-Wizard spezielle Einstellungen bei der Planung der Schaltungen zu treffen, um diese gewünschten Betriebszustände bei der Schaltung zu erhalten. Vor jeder Testplanung müssen in CAMEO Transmission nötige Getriebe-, Wandler- und Motordaten eingegeben werden, da diese für die Erstellung des DoE-Plans und der Run-List erforderlich sind. Folgend wird die Planung einer Beispiel-Schaltung der Schaltmatrix SHS/SRS mit dem DoE-Wizard Schritt für Schritt erklärt:

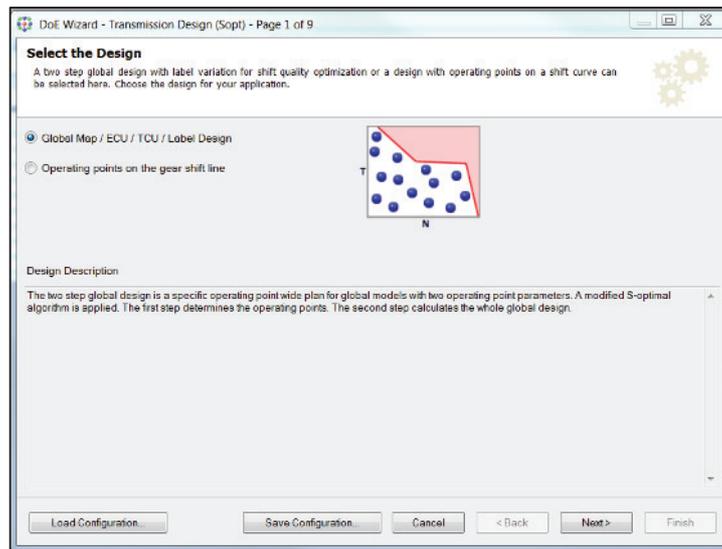


Abbildung 37: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 1 [CAM-A]

Als erster Schritt wurde, wie in Abbildung 37 gezeigt die Vorauswahl der Global Map getroffen. Dies ermöglichte eine Schaltungsplanung abhängig von zwei Parametern. Der erste Parameter war dabei die Geschwindigkeit bei der die Schaltung ausgelöst werden sollte. Der zweite Parameter war die Pedalposition (0%) mit welcher die Schaltung ausgelöst werden sollte, siehe Abbildung 38. Es besteht im DoE-Wizard die Möglichkeit zwischen Turbinendrehzahl (n_t) und Abtriebsdrehzahl (n_{ab}) zu wählen. Für das Auslösen bei der definierten Fahrzeuggeschwindigkeit war es daher nötig, auf die Abtriebsdrehzahl rückzurechnen, um diese bei der Planung der Schaltungen korrekt vorgeben zu können. Als zweiter Parameter wurde dk_{pedal} (TCU interner Pedalwert) angewählt, wobei die spezielle Einstellung mit 0 und 1 erfolgte. Weiters wurde im Dropdownmenü GearShift die gewünschte Schaltung ausgewählt. In diesem Fall wurde eine 5-6 Hochschaltung parametrier.

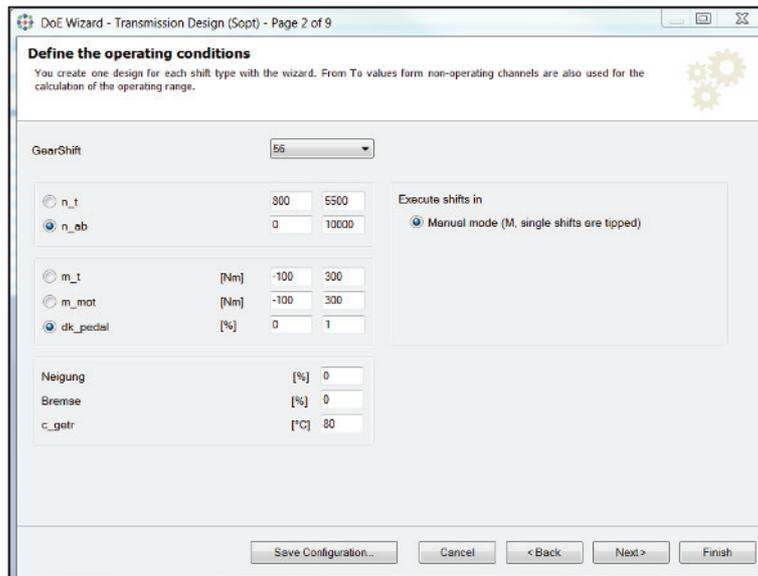


Abbildung 38: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 2 [CAM-A]

Schritt 3 des Wizards wurde übersprungen, da dort nur spezielle Pedal- und Bremsveränderungen eingestellt werden, die bei diesem Test keine Anwendung gefunden haben. Der nächste Schritt war die Einstellung von Verstell-Bereichen der verwendeten Parameter. Dabei wurde bei `dk_pedal` from 0 to 1 mit Level 2 eingestellt. Dies bedeutet, dass für `dk_pedal` 2 Werte festgelegt werden können (0 oder 1). Die Einstellung von `n_ab` war hierbei nicht nötig, es wurden die default Werte verwendet, siehe Abbildung 39.

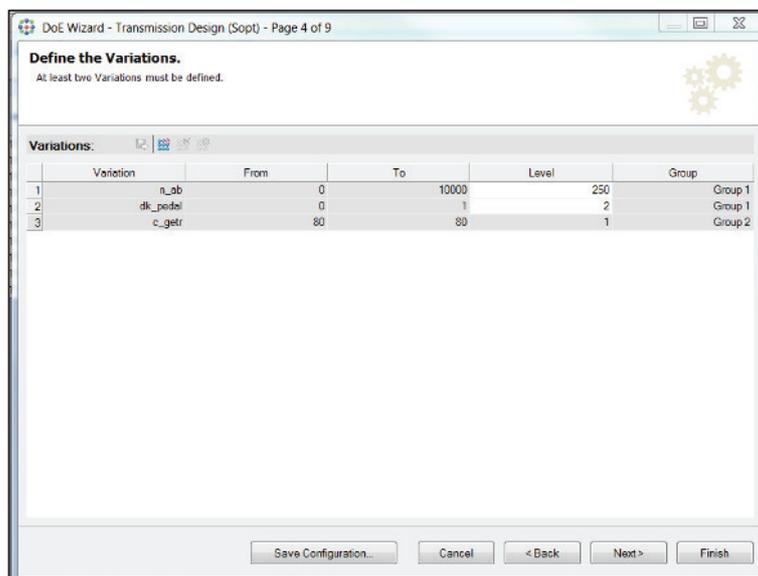


Abbildung 39: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 4 [CAM-A]

In Schritt 5 wurden alle möglichen Schaltpunkte in grün gekennzeichnet dargestellt. Weiteres waren Grenzen des Fahrzeuges als farbliche Linien markiert.

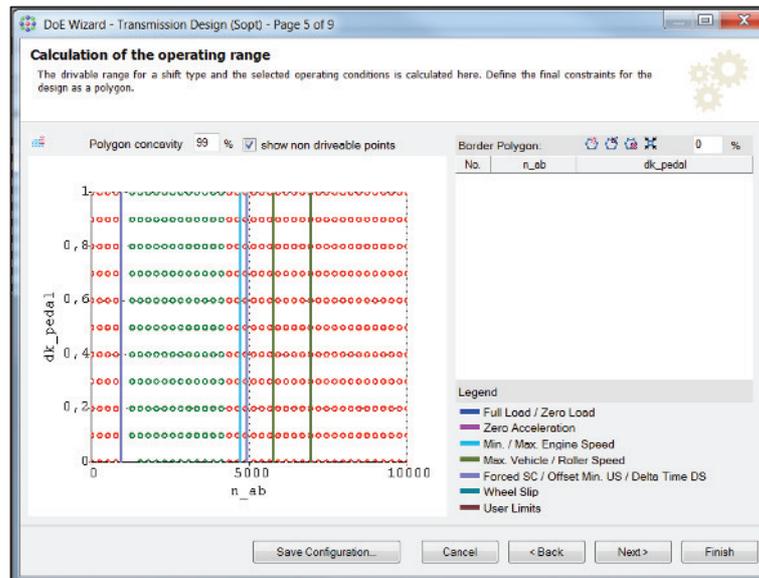


Abbildung 40: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 5 [CAM-A]

Als nächster Schritt wurden spezielle Grenzen der verwendeten Parameter als Obergrenze eingestellt, siehe Abbildung 41. Damit war der Bereich der möglichen Schaltungsplanung so eingegrenzt, dass nur Schaltungen mit 0% Pedal geplant werden konnten.

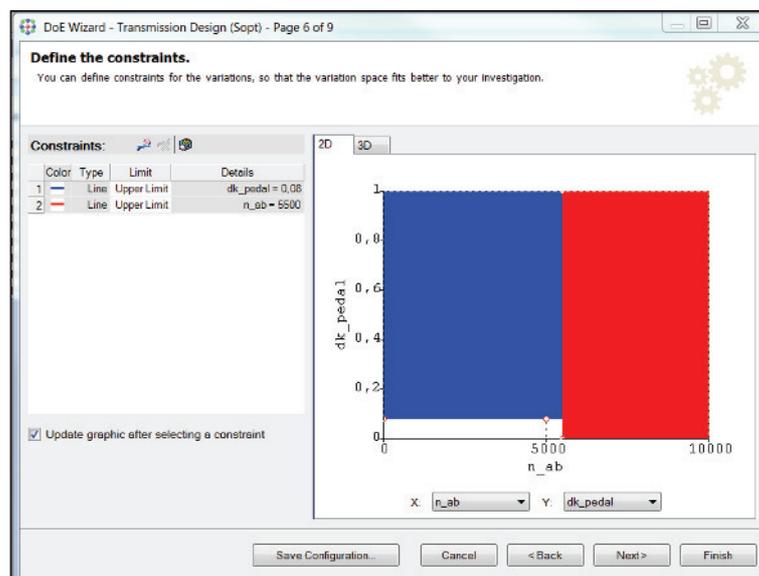


Abbildung 41: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 6 [CAM-A]

Somit konnte in Schritt 7, siehe Abbildung 42, die Anzahl an geplanten Schaltungen im eingeschränkten Bereich eingestellt werden. Da die Schaltungen in der gegebenen Schaltmatrix bei zehn verschiedenen Geschwindigkeiten ausgelöst werden sollten, wurde für die Anzahl der Schaltungen 10 eingestellt. In Schritt 8 wurden die geplanten Schaltungen, wie in Abbildung 43 gezeigt, dargestellt. Die eingezeichneten Kreise waren Schaltungen mit 0% Pedal bei der jeweiligen Abtriebsdrehzahl.

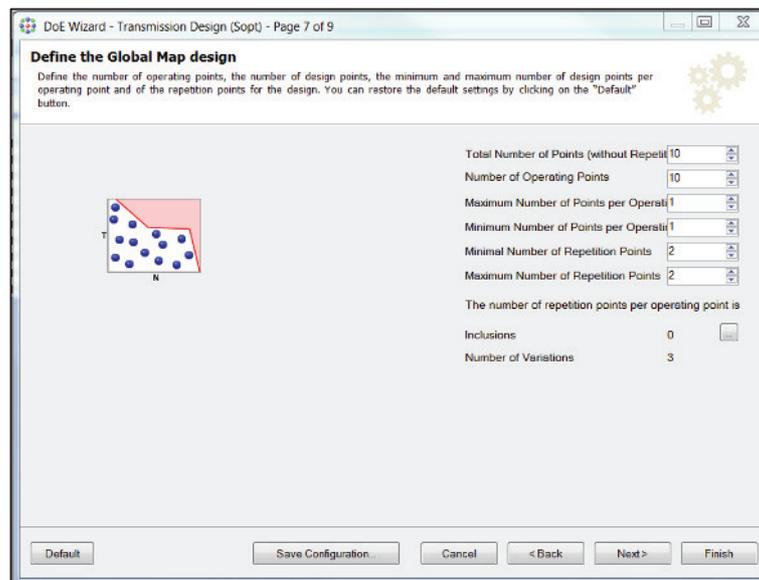


Abbildung 42: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 7 [CAM-A]

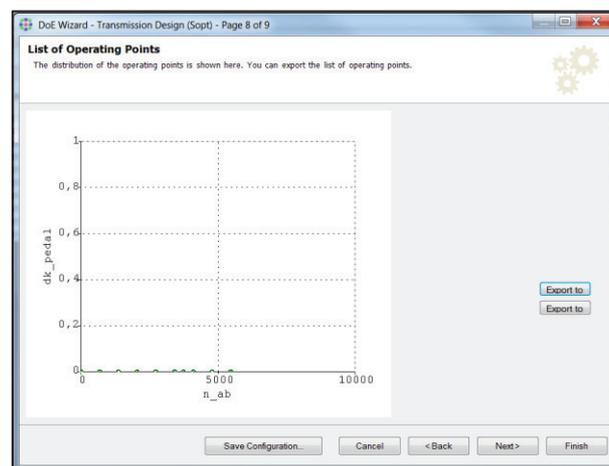


Abbildung 43: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 8 [CAM-A]

Als Abschluss mussten noch alle Wiederholpunkte unter dem Button „Repetition Points“ gelöscht werden, da jede geplante Schaltung nur einmal angefahren werden sollte. Bei n_{ab} musste anschließend für jede Schaltung die errechnete Abtriebsdrehzahl über Übersetzungen und Reifendurchmesser für die jeweilige Fahrzeuggeschwindigkeit eingetragen werden, siehe Abbildung 44.

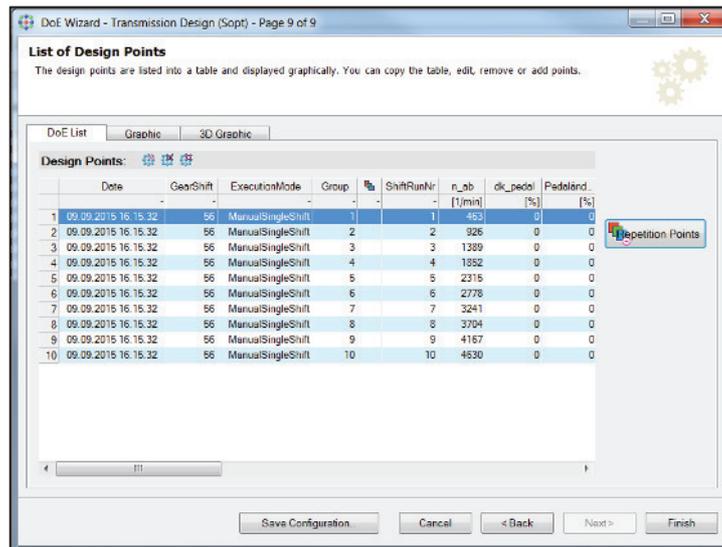


Abbildung 44: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 9 [CAM-A]

Somit war die Planung der 5-6 Hochschaltung mit CAMEO Transmission DoE-Wizard abgeschlossen. Alle Konfigurationen konnten unter „save Configuration“ gespeichert werden und für die Planung der nächsten Schaltungen wieder geladen werden. Mittels des DoE-Wizards konnten so beliebig viele Schaltungen in einer DoE-Liste geplant werden.

Es bestand die Möglichkeit, eine DoE-Liste mit den geplanten Schubrückschaltungen und eine eigene DoE-Liste mit den geplanten Schubhochschaltungen zu planen. Weiteres bestand die Möglichkeit, alle Schubrückschaltungen und Schubhochschaltungen in einer gesamten DoE-Liste zu planen. Welche Variante verwendet wurde kann bei den geplanten DoE-Listen durch die Testrun Information abgeklärt werden. Die Testrun Information gibt Auskunft über die Anzahl der gesamten durchgeführten Schaltungen in der Run-Liste, wobei zusätzlich angezeigt wird, wie viele geplante Schaltungen und wie viele nötige Zwischenschaltungen in der Run-List vorhanden sind. Zusätzlich wird die geschätzte Testlaufzeit angegeben. So wurden beide Möglichkeiten der DoE-Liste erstellt und verglichen. In Abbildung 45 ist die Testrun Information einer DoE-Liste der Planung von 9 Schubrückschaltungen in jedem Gang dargestellt. Dabei werden viele, für den Ablauf nötige Zwischenschaltungen geplant, welche für die Auswertung direkt keinen Nutzen haben. Die geschätzte Testlaufzeit beträgt hierbei 1h12min. Auf diese Art und Weise müssten zwei DoE-Listen von dieser Variante geplant werden, um die vom Kunden geforderte Schaltmatrix der Schubrückschaltungen und Schubhochschaltungen auszufüllen. Vergleicht man diese Abbildung mit Abbildung 46, in welchen alle Schubrückschaltungen mit den Schubhochschaltungen in einer DoE-Liste geplant wurden, so ist zu erkennen, dass die Anzahl der zugefügten Zwischenschaltungen wesentlich geringer ist als in Abbildung 46. Die Testlaufzeit ist mit 1h18min nur gering höher. Dies lässt zum Schluss kommen, dass die kombinierte Planung der Schubschaltungen in einer DoE-Liste wesentlich effizienter war als zwei getrennte Planungen der Schubschaltungen.

Testrun information	
Number of all shifts:	146
Therefrom	
Number of planned shifts:	63
Number of added shifts:	83
Estimated test runtime:	00 h 12 m
Number of shifts per shift type	
- 01 planned	0
- 01 added	1
- 12 planned	0
- 12 added	10
- 21 planned	9
- 21 added	0
- 23 planned	0
- 23 added	11
- 32 planned	9
- 32 added	1
- 34 planned	0
- 34 added	11
- 43 planned	9
- 43 added	1
- 45 planned	0
- 45 added	11
- 54 planned	9
- 54 added	1
- 56 planned	0
- 56 added	12
- 65 planned	9
- 65 added	2
- 67 planned	0
- 67 added	11
- 70 planned	0
- 70 added	1

Abbildung 45: Testrun information Run-List SRS [CAM-B]

Testrun information	
Number of all shifts:	142
Therefrom	
Number of planned shifts:	126
Number of added shifts:	16
Estimated test runtime:	00 h 18 m
Number of shifts per shift type	
- 01 planned	0
- 01 added	1
- 12 planned	9
- 12 added	1
- 21 planned	9
- 21 added	0
- 23 planned	9
- 23 added	4
- 32 planned	9
- 32 added	3
- 34 planned	9
- 34 added	1
- 43 planned	9
- 43 added	0
- 45 planned	9
- 45 added	1
- 54 planned	9
- 54 added	0
- 58 planned	9
- 58 added	1
- 65 planned	9
- 65 added	0
- 67 planned	9
- 67 added	2
- 70 planned	0
- 70 added	1

Abbildung 46: Testrun information Run-List SRS/SHS [CAM-B]

Mit der Variante der Planung aller Schubschaltungen in einer gesamten DoE-Liste wurde somit ein effizienter Testlauf erstellt, wobei mit realen Fahrzeugdaten viele der geplanten Schaltungen nicht möglich waren. Diese wurden in der DoE-Liste als nicht fahrbar deklariert und bei der Berechnung der Run-List nicht beachtet. Schlussendlich ist in Abbildung 47 die Testrun Information des CAMEO Transmission Tests der Schubrückschaltungen mit Schubhochschaltungen ersichtlich. Die geschätzte Testlaufzeit betrug hierbei 26min mit 70 geplanten Schaltungen.

Gesamtzahl der Schaltungen:		84
Davon		
Im Design geplante Schaltungen:		70
Hinzugefügte Schaltungen:		14
Geschätzte Prüflaufdauer:		07h 26m
Anzahl der Schaltungen pro Schaltungstyp		
- 01 geplant		0
- 01 hinzugefügt		1
- 12 geplant		2
- 12 hinzugefügt		0
- 21 geplant		1
- 21 hinzugefügt		0
- 23 geplant		3
- 23 hinzugefügt		0
- 30 geplant		0
- 30 hinzugefügt		1
- 32 geplant		2
- 32 hinzugefügt		0
- 34 geplant		5
- 34 hinzugefügt		1
- 43 geplant		4
- 43 hinzugefügt		2
- 45 geplant		6
- 45 hinzugefügt		0
- 54 geplant		5

Abbildung 47: Testrun information Run-List SRS/SHS reales Fahrzeug [CAM-B]

3.3.2 Erstellung Testablauf ZHS/ZRS mit CAMEO Standard

Bei dieser vom Kunden geforderten Schaltmatrix war eine schnelle, einfache Planung der geforderten Schaltungen mit CAMEO Transmission nicht möglich, da die geforderten Schaltungen mit dem CAMEO Transmission DoE-Wizard nicht geplant werden konnten, deshalb wurde dazu CAMEO Standard verwendet. Es wurden hierbei vorab keine Fahrzeugdaten des Versuchsfahrzeuges benötigt, da alle angefahren Betriebspunkte des Fahrzeuges einzeln parametrierbar waren. Diese Betriebspunkte wurden von CAMEO Standard paketweise an das Prüfstandsystem PASU gesendet, welches jeden einzelnen Betriebspunkt und die mitgelieferten Parameter mittels einer SPS verarbeiten konnte und somit die Peripherie steuerte.

Ein CAMEO Standard Test besteht aus einer Haupt DoE-List, in welcher alle Betriebspunkte parametrierbar sind. Verwendet man dieselben parametrierten Betriebspunkte mehrmals, so besteht die Möglichkeit diese Betriebspunkte in einem Sub-Test zu parametrieren, welcher im Testlauf mit geringem Aufwand mehrmals aufgerufen werden kann. Um nun die vom Kunden geforderten Schaltmanöver, siehe Abbildung 34, zu parametrieren, mussten zuerst grundlegende Überlegungen angestellt werden. Hierbei ging es größtenteils um die Strategie wie der Test ablaufen sollte, das heißt welche Punkte hintereinander im Testlauf angefahren werden sollten. In Abbildung 48 werden zwei mögliche Kombinationen des Testablaufes mit farblichen Rahmen gekennzeichnet. Der blaue Rahmen kennzeichnet die Strategie alle Schaltmanöver der Hoch- und Rückschaltung vom 1. bis in den 8. Gang hintereinander abzufahren, wobei diese Strategie aufgrund der ähnlichen Motordrehzahl der Manöver zeitlich sehr effizient wäre. Alle Schaltungen würden bei 2000rpm ausgelöst. Es gäbe wenige Verzögerungszeiten durch das Warten bis das Fahrzeug nach einem Schaltmanöver

wieder im richtigen Drehzahlbereich ist. Nach der 2-1 Rückschaltung müsste aber eine Gangkorrektur durchgeführt werden, da für das nächste Manöver der 2. Gang als Ausgangslage benötigt werden würde. Bezogen auf die Auswertung der Schaltmanöver ist festzustellen, dass es sehr aufwändig wäre diese Messung im Anschluss auszuwerten. Betrachtet man die orange gekennzeichnete Strategie, so ist zu erwähnen, dass nach Abschluss des zweiten Schaltmanövers (2-1 Rückschaltung) die Drehzahl in einem Bereich um ca. 2000rpm liegen würde. Man könnte von dieser Drehzahl das nächste Manöver bei der Auslösungsgrenze 4000rpm durch Beschleunigen des Fahrzeuges mit der Rolle vorbereiten. Man hätte den richtigen Gang für das nächste Manöver bereits eingelegt und es würde keine Zwischenschaltung nötig sein. Würde man nun alle orangenen Manöver in dieser Reihenfolge fahren, so ist zu erwähnen, dass dies einen höheren Auswertekomfort mit sich tragen würde. Es könnte die Messung mit verschiedenen Filtern bezogen auf den Pedalwert oder auf den Drehzahlbereich sortiert werden, wobei der Aufwand für die Auswertung als wesentlich geringer einzuschätzen ist als beim blauen Manöver. Schlussendlich wurde die orange Strategie gewählt, da bei der Schaltdokumentation der Schwerpunkt auf der Auswertung und Dokumentation liegt.

Gang	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000	4000	6000	2000	4000	6000	2000	4000	6000
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 21	X	X	X	X	X	X	X	X	X
23	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 32	X	X	X	X	X	X	X	X	X
34	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 43	X	X	X	X	X	X	X	X	X
45	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 54	X	X	X	X	X	X	X	X	X
56	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 65	X	X	X	X	X	X	X	X	X
67	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 76	X	X	X	X	X	X	X	X	X
78	X	X	X	X	X	X	X	X	X
danach 87	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Abbildung 48: Strategie Testlauf ZHS/ZRS

Nachdem die Strategie des Testlaufes definiert wurde, wurde die eigentliche Testerstellung gestartet. Als Start des Testes wurde ein Sub-Test angelegt, in welchem verschiedene Default und DRIVE Parameter gesetzt wurden, welche zum Beispiel das Starten der DRIVE Messung hervorgerufen haben. In der DoE-Liste wurden Dummy-Betriebspunkte erzeugt, in welchen nur vorgegeben wurde, in welchem Gang das Manöver startete, wie viel Prozent Pedal bei diesen Manöver erforderlich war und bei welcher Drehzahl die Tipp Hoch- und Rückschaltung ausgelöst wurde. In globalen Action Lists wurden nötige Berechnungen und Programmaufrufe im Hintergrund, ausgelöst durch spezielle Aufrufe oder durch Überschreitung eines Limits, durchgeführt. So wurde zum Beispiel vor jedem neuen Schaltmanöver der aktuell eingelegte Gang überprüft. Sollte nicht der richtige, in der DoE-List vorgegebene, Gang eingelegt worden sein - aufgrund von Schaltfehlern des Fahrzeuges - so wurde eine Action List durchgeführt, die eine Gangkorrektur durchführte. Diese Action List, „gear check and correction“, berechnete den aktuellen Unterschied der Gänge - gewünschter Gang minus aktueller Gang - und rief, abhängig ob ein Hochschalten oder Rückschalten erforderlich war, den Sub-Test „safe shift

up“ oder „safe shift down“ auf. In diesen Sub-Tests wurde im Rollenmodus eine sichere Drehzahl angefahren, bei welcher jede Tipp-Hoch- und Tipp-Rückschaltung durchgeführt werden konnte. Nach Erreichen dieser Sicherheitsdrehzahl wurde ein Tipp + (Hochschalten) oder Tipp – (Runterschalten) ausgeführt. Danach wurde der aktuelle Gang in der Action List wieder überprüft und dieses Prozedere solange durchgeführt, bis der benötigte Gang für das nächste Schaltmanöver vom Fahrzeug eingelegt war. Nachdem der korrekte Gang vorhanden war, wurde im Rollenmodus das Fahrzeug durch die Rolle auf eine Drehzahl kurz vor der Manöverdrehzahl beschleunigt und stabilisiert. Das Beschleunigen mit dem Rollenprüfstand (Rolle beschleunigt sich mit dem Antrieb selbst) statt des Beschleunigens mit dem Fahrzeug (Beschleunigung über Motorlast), diente zur Zeitersparnis zwischen den Manövern und zusätzlich als Treibstoffersparnis des Fahrzeuges. Danach wurde auf den Fahrzeugmodus (Fahrwiderstandssimulation) umgeschaltet und der vorgegebene Pedalwert durch den Autopiloten im Fahrzeug aufgelegt. Das Fahrzeug beschleunigte wenn der Pedalwert im eingelegten Gang ausreichend Drehmoment und Zugkraft zum Beschleunigen abrief, oder verzögerte, falls der Pedalwert für den eingelegten Gang zu gering war. Im Falle der Beschleunigung wurde die Schaltdrehzahl erreicht und durch ein Limit (aktuelle Drehzahl > Schaltdrehzahl) der Sub-Test „execute shifts“ aktiviert. In diesem Sub-Test wurde ein Tipp + durchgeführt. In einem weiteren Limit wurde überprüft ob der neue Gang eingelegt wurde (Ist Gang > vorheriger Gang + 0,5). Wenn dies der Fall war, wurde im zweiten Betriebspunkt ein Tipp – ausgelöst. Falls der Pedalwert im eingelegten Gang für eine positive Beschleunigung des Fahrzeuges zu gering war und dieses verzögerte, wurde dies durch ein Limit überwacht und auf die zeitliche Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit geachtet. War diese nach gewisser Zeit um einen vorgegebenen Wert geringer (negativer Gradient der Fahrzeuggeschwindigkeit), so wurde der Betriebspunkt mittels Versuch eines Tipp + und Tipp-abgebrochen. Sollte hierüber ein Tipp + und Tipp - durchgeführt werden, so wurde dies wahrscheinlich nicht bei der vorgegebenen Drehzahl durchgeführt. Dieses Schaltmanöver wurde für die anschließende Bewertung gegenstandslos und wurde bei der Auswertung der Messung deaktiviert. Das Beispielmanöver 1-2 Zughochschaltung bei 2000rpm und 15% Pedal mit 2-1 Zugrückschaltung war somit beendet. Alle geplanten Manöver in der DoE-Liste wurden mit dieser erklärten Prozedere durchgeführt.

Folgend wird in Abbildung 49 und Abbildung 50 ein kurzer Ausschnitt aus dem CAMEO Standard Test ZHS/ZRS gezeigt. Im Fenster „Testrun Strategies“ ist die aktive DoE-Liste mit allen Sub-Tests ersichtlich. Im Fenster „Operating Point“ sind die vorgegebenen Schaltmanöverwerte Gang, Pedal und Schaltdrehzahl zu erkennen.

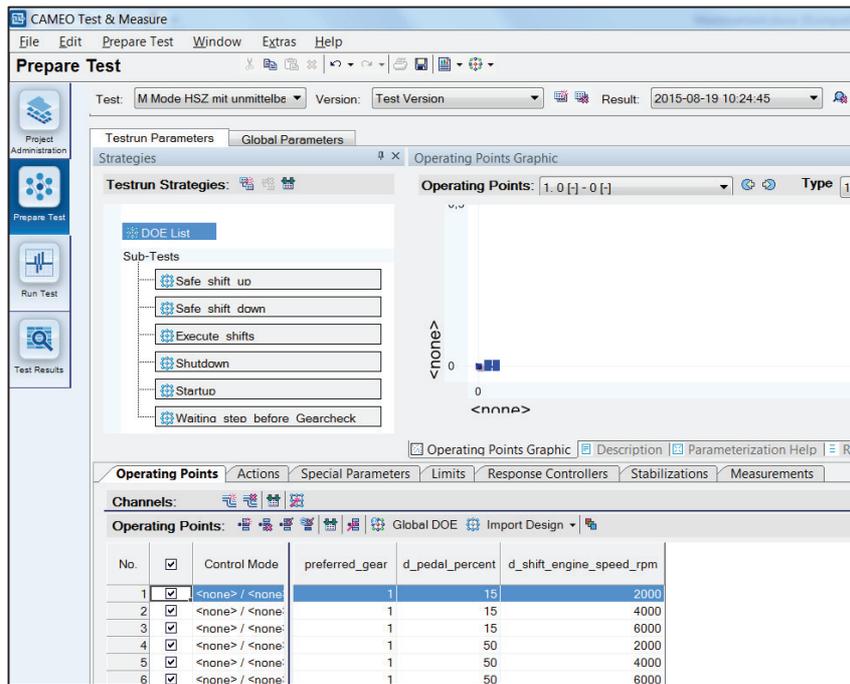


Abbildung 49: Ausschnitt DoE-Liste ZHS/ZRS CAMEO Standard [CAM-C]

Unter dem Reiter „Global Parameters“ sind Action Lists aufgelistet. Im Abschnitt „Actions“ wird die Action List der Gangkorrektur mit ihren Berechnungen und Vergleichen der Gänge dargestellt.

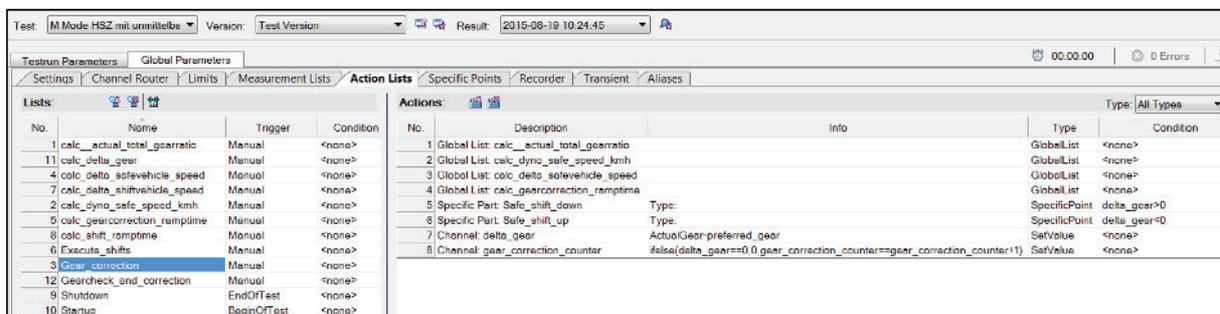


Abbildung 50: Ausschnitt Global Action Lists ZHS/ZRS CAMEO Standard [CAM-C]

Aufgrund der Komplexität des Testaufbaus wird der gesamte Ablauf des Testes in Abbildung 51 durch ein Flow Chart beschrieben und überblicksmäßig dargestellt. Weiters wurde dieser Testlauf vor dem Abfahren am Prüfstand auf einem vereinfachten Fahrzeugsimulator in der AVL List GmbH simuliert, um etwaige Fehler der Denkansätzen vorab zu beseitigen, siehe Kapitel 3.4.

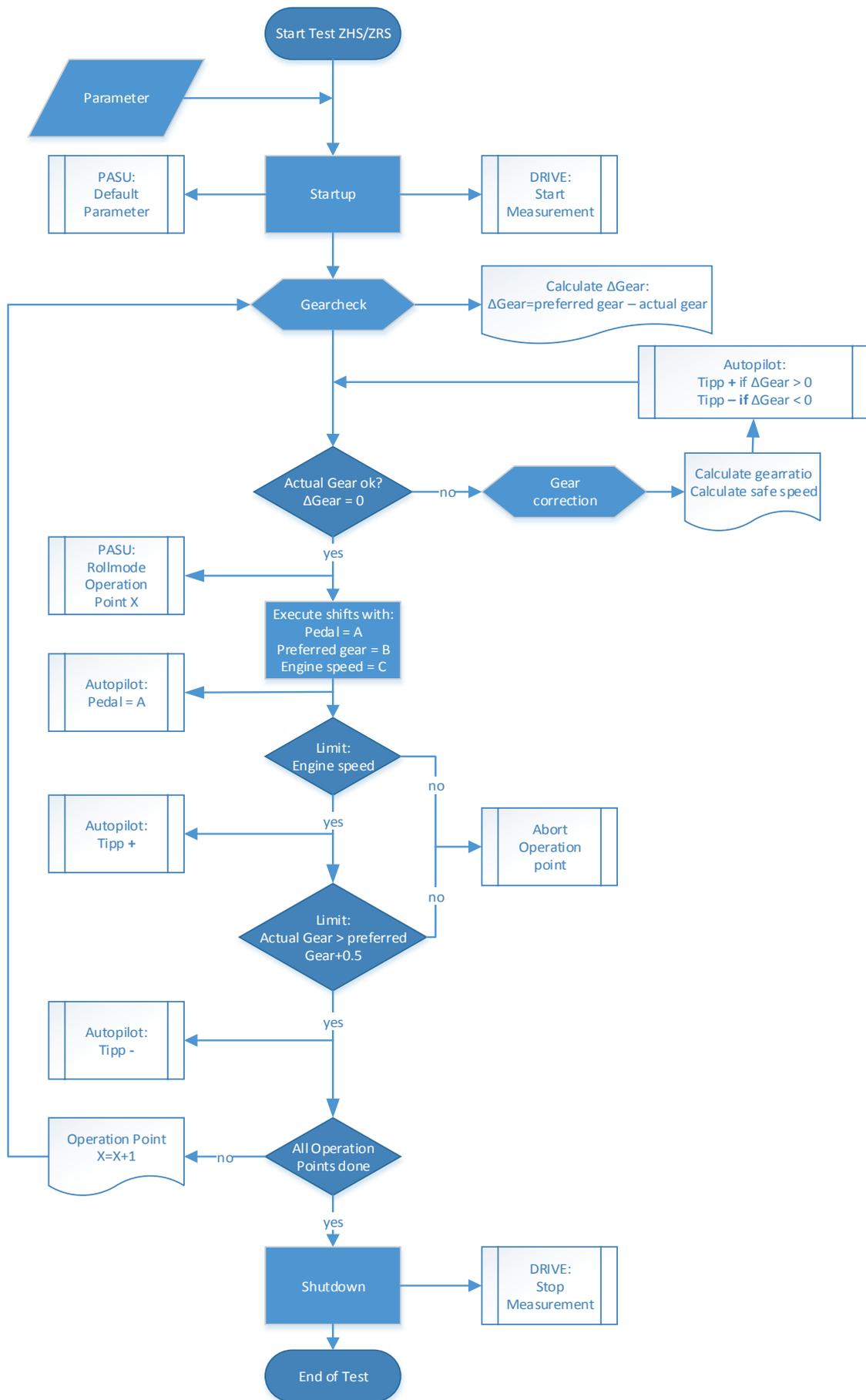


Abbildung 51: Flowchart Testablauf ZHS/ZRS

3.4 Testablauf ZHS/ZRS am vereinfachten Fahrzeugsimulator

Mittels eines, in der AVL List GmbH Graz selbst entwickelten, HiL-Simulators bestand die Möglichkeit AVL-CAMEO™ Testläufe abzufahren. Dabei war das vereinfachte Modell eines Fahrzeuges auf einem System hinterlegt, welches sich über vorgegebene Eingangssignale Größen berechnete, welche wiederum als Reaktionsgrößen des Fahrzeuges verwendet wurden. Die Komponenten des Simulators waren neben einem CAMEO Rechner, ein Rechner für DRIVE und INCA und ein Rechnersystem für das Fahrzeugmodell. Der Autopilot des PASU Prüfstandsystems wurde hierbei durch das Tool DRICON™ ersetzt. Der Unterschied zwischen dem Autopilot und DRICON™ ist, dass der Autopilot aktiv eine Bewegung im Fahrzeug durchführt, DRICON™ hingegen gibt den Wert für Pedal und Bremse über den CAN bzw. die Pedalschnittstelle des Fahrzeuges vor. Mit dem Simulator konnte neben einer Straßensimulation eine Rollensimulation durchgeführt werden. So bestand die vorteilhafte Möglichkeit, Prüfstandtests vor dem Abfahren auf dem Prüfstand zu simulieren. Zum einen hatte es den großen Vorteil, dass Stehzeiten am Prüfstand durch Fehler im Testprogramm vermieden werden konnten, zum anderen konnten komplexe Testläufe im Vorhinein besser nachvollzogen und optimiert werden. Die von CAMEO Standard vorgegebenen Betriebspunkte wurden vom Simulator verarbeitet. Mittels DRICON™ wurden Fahrzeugantwortgrößen berechnet, welche durch INCA erfasst wurden, die letztlich in AVL-DRIVE™ aufgezeichnet und als Manöver beurteilt wurden.

Die Schaltmanövertest ZHS/ZRS wurde auf diese Art und Weise am Simulator getestet, um zum einen eine wertvolle Abfahrstrategie für den Testablauf zu gewinnen und zum anderen Grenzbereiche des Fahrzeuges aufzuzeigen. In Abbildung 52 ist ein Messausschnitt des Manövers 1-2 Zughochschaltung und anschließender Zugrückschaltung mit 15% Pedalstellung und Tipp Schaltungsauslösung bei 2000rpm, 4000rpm und 6000rpm dargestellt.

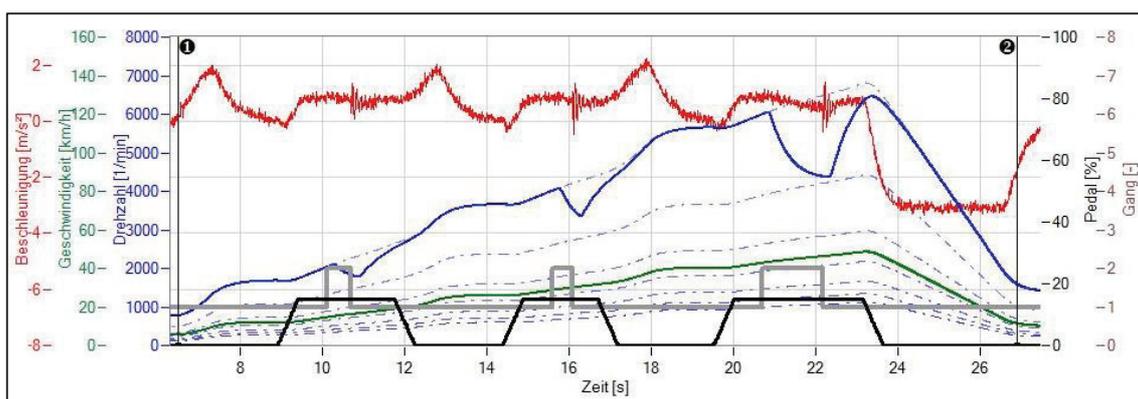


Abbildung 52: Messung Simulator 1-2 ZHS/ZRS 15% Pedal [SIM-A]

Im Bereich der Zughochschaltung war zu erkennen, dass nach dem Schalten der Drehzahlgleich des neuen Ganges nicht ganz abgeschlossen werden konnte, da sofort nach der Information des neuen Ganges die Rückschaltung eingeleitet wurde. Dabei konnte es zu Schwierigkeiten der Bewertung in AVL-DRIVE™, welche auf Basis der Erkennung von drei Zeitfenstern stattfindet, kommen. Durch zu frühes Auslösen der zweiten Schaltung könnte es zu Bewertungsschwierigkeiten im dritten Zeitfenster von AVL-DRIVE™ kommen. Im realen Fahrzeug wird erst nach vollständigem Beenden des Übersetzungswechsels ein neuer Tipp Befehl zugelassen (Synchron-Drehzahlen erreicht), so sollte dieses Problem nicht auftreten. Falls es doch zu Bewertungsschwierigkeiten auf Grund der zu kurzen Zeitabstände zwischen den Schaltungen kommen sollte, besteht die Möglichkeit, nach der ersten Schaltung eine Wartezeit von wenigen Sekunden zu parametrieren. Die Schaltmanöver wären dann über eine feste Zeit klar getrennt. Weiteres war in der Messung des Simulators zu erkennen, dass die Zogrückschaltung im Drehzahlbereich von circa 5000rpm zu einem großen Drehzahlanstieg führte (hohe simulierte Beschleunigungen bei Vollast). Drehzahlgrenzen des Fahrzeuges wurden somit schnell erreicht. Das Fahrzeug fuhr beim Simulator in die Drehzahlbegrenzung, welche bei diesem Fahrzeug bei 6500rpm gelegen ist. Es ist aber davon auszugehen, dass beim realen Fahrzeug auch im manuellen Fahrmodus die Zogrückschaltungen im hohen Drehzahlbereich grundsätzlich verweigert werden. Betrachtet man die Abfolge der Schaltungen, so ist zu sagen, dass die Reihenfolge der Schaltmanöver kompakt und übersichtlich ist, deshalb wurde diese Manöverstrategie auch am Rollenprüfstand eingesetzt.

3.5 Implementierung und Inbetriebnahme der Systeme

Um am Rollenprüfstand mit den Systemen PASU, DRIVE, INCA und CAMEO in Kombination arbeiten zu können war es notwendig, eine Kommunikation zwischen den Systemen herzustellen. Dies geschah einerseits durch Netzwerkverbindungen der Rechnersysteme und zum anderen über spezielle in AVL-CAMEO™ eingefügte Systeme. Es wurden Systemkonfigurationen für INCA, DRIVE und PASU in CAMEO eingerichtet, siehe Abbildung 53, in welchen Einstellungen für die Netzwerkverbindung eingestellt wurden. Danach konnte die Kommunikation der Systeme überprüft werden. Mittels „Verbindung herstellen“ versuchte CAMEO eine Verbindung mit dem ausgewählten System herzustellen. Bei aktiver Kommunikation der Systeme konnten alle Systemkanäle, die für die Parametrierung des Testlaufs notwendig waren, wie zum Beispiel INCA Messwerte und Parameter für die PASU Kommunikation, in den Systemen geladen werden. Diese Kanäle wurden zur Parametrierung verwendet. In Tabelle 3 wird ein Beispiel der Kanalbenennung gezeigt.

Tabelle 2: Kanalbezeichnung INCA/CAMEO

Benennung	INCA Signal	CAMEO/PASU Parameter
Aktueller Pedalwert	iltflInput.dk_pedal	Pedal

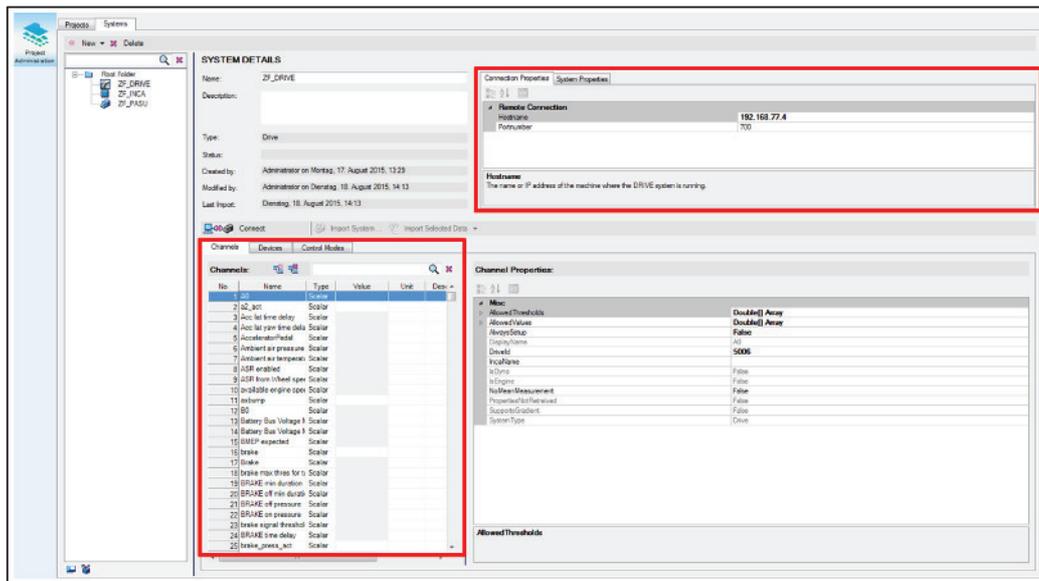


Abbildung 53: Systemkonfigurationen AVL-CAMEO™ [CAM-C]

Bei der Inbetriebnahme von AVL-DRIVE™ war wie in Kapitel 2.4 erwähnt die Fahrzeugkonfiguration im DRIVE durchzuführen. Wichtige Daten des Fahrzeuges waren dabei: Reifendurchmesser, Übersetzungen jeden Ganges, Fahrzeuggewicht, Antriebsart, verwendeter Luftwiderstandsbeiwert und Motordaten, welche im Dropdown Menü „Fahrzeug“ eingetragen wurden. All diese Daten mussten vom Kunden bereitgestellt werden, um mit AVL-DRIVE™ arbeiten zu können. Bei der Verwendung von AVL-DRIVE™ am Rollenprüfstand musste der Software mitgeteilt werden, dass das Beschleunigungssignal nicht vom 3-Achs Beschleunigungssensor für die Qualitätsbeurteilung verwendet wurde, sondern die auftretende Kraft in der Kraftmessdose. Dies erfolgte im Konfigurationsmenü „Optionale Einstellungen“, siehe Abbildung 54. Beim Anhängen des Kästchens „Aktiviere Testbed Force“ rechnet AVL-DRIVE™ die gemessene Kraft der Kraftmessdose automatisch in ein Beschleunigungssignal um, welches anschließend als „acceleration chassis“-Signal verwendet werden kann.

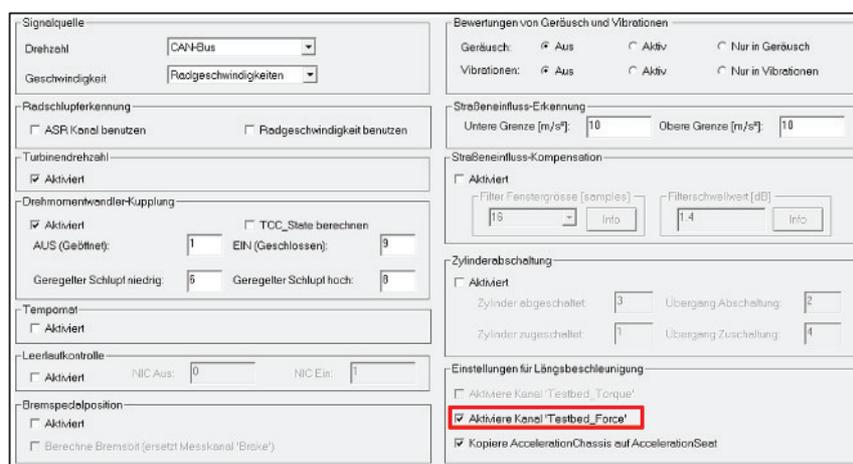


Abbildung 54: Aktivierung Kanal Testbed Force in AVL-DRIVE™ [DRI-A]

Nachdem die Einstellungen des Fahrzeuges und der Kraftmessdose in AVL-DRIVE™ durchgeführt wurden, musste die Zuordnung von INCA Messsignalen und DRIVE Kanäle unter dem Reiter „Messsignalkonfiguration“ erfolgen. Die Grundvoraussetzung dafür ist ein bestehendes INCA Experiment, in welchen die nötigen Messsignale des Getriebesteuergeräts für die DRIVE Messung eingefügt sind. In Abbildung 55 ist die Zuordnung von INCA Messsignale (Links) mit DRIVE Kanälen (Mitte) gezeigt. Es ist darauf zu achten, dass das passende Label zum richtigen DRIVE-Kanal mit der passenden Einheit verknüpft wird.

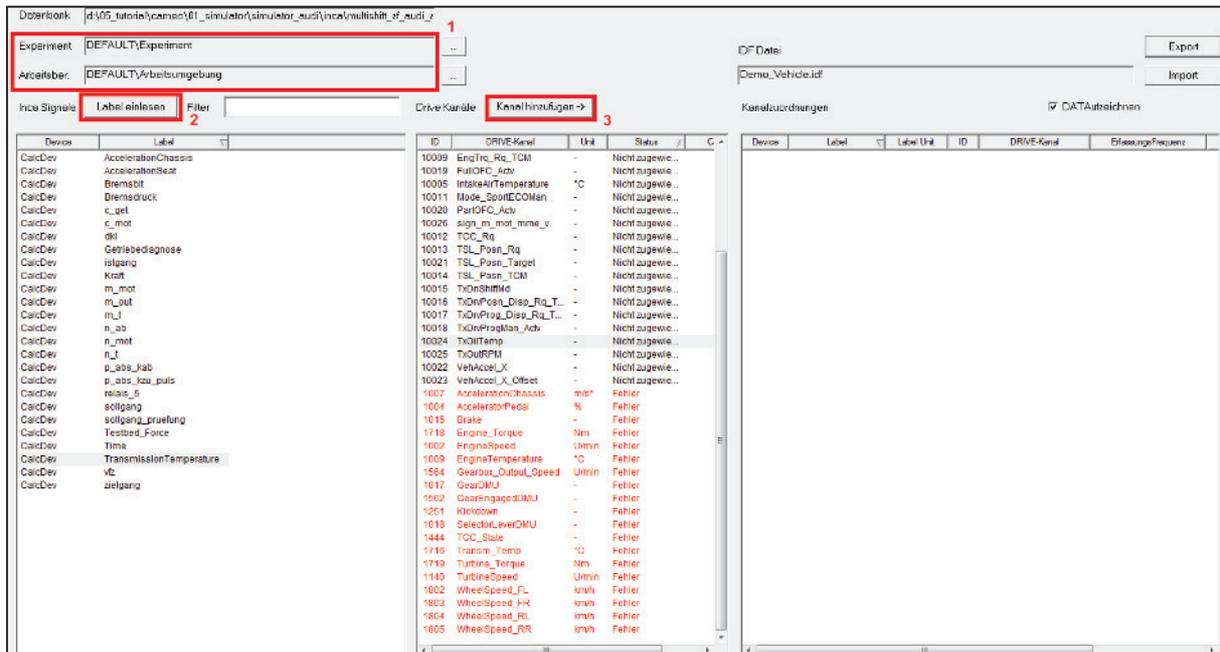


Abbildung 55: Messkonfiguration AVL-DRIVE™ [DRI-A]

3.6 Abfahren der Prüfprogramme

Nachdem alle Systeme in Betrieb genommen und aktiv waren, konnte mit dem Testablauf begonnen werden. Am Prüfstand war immer ein Prüfstands-Fahrer vor Ort, welcher die nötigen Einstellungen und Freigaben beim Prüfstands-System PASU tätigte. Vor Beginn des automatisch ablaufenden CAMEO Tests waren Fahrten des Fahrzeuges am Rollenprüfstand im Handmodus der Prüfstandsteuerung nötig, um sicherzustellen dass das Verhalten des Fahrzeuges am Prüfstand bei Fahrt visuell kontrolliert werden konnte. Wenn das Fahrzeug längere Zeit still am Rollenprüfstand steht, kann eine kurzzeitige Unwucht der Reifen durch die punktartige Belastung des Reifens entstehen. Leichtes Rollen des Fahrzeuges am Prüfstand kann dieses Problem aber schnell beheben. Vor allen automatisierten Testläufen am Rollenprüfstand musste sichergestellt sein, dass im Fahrzeug der Fahrmodus „Rollenprüfstand“ durch den Prüfstandfahrer eingestellt wurde, da das Fahrzeug durch Beschleunigung und Verzögerung mit der Rolle ohne diese speziellen Einstellung mögliche Bergerkennungen aktivierte, welche die Versuchsläufe beeinflussen konnte.

Für den CAMEO Transmission Test waren Einstellungen der Fahrzeugdaten im Vorhinein nötig. Vom Hersteller wurden aber nicht alle Daten kommuniziert, sodass keine Zwangshochschaltkennlinien und Zwangsrückschaltkennlinien vorhanden waren. Ohne diese Daten wäre kein Testlauf mit CAMEO Transmission möglich gewesen. Es bestand die Möglichkeit, die Zwangsschaltungen im manuellen Modus am Rollenprüfstand zu ermitteln. Zudem wurde das Fahrzeug in M solange in jedem Gang mittels Pedalzustellung beschleunigt, bis die Zwangsschaltung des Fahrzeuges ausgelöst wurde. Bei den Zwangsrückschaltungen wurde das Fahrzeug bis in den 8. Gang beschleunigt und rollte so lange ohne Last am Rollenprüfstand aus, bis alle Zwangsrückschaltungen durchgeführt wurden und das Auto zum Stillstand kam. Anschließend wurden in der aufgezeichneten DRIVE Messung die Abtriebs-Drehzahlen der Schaltauslösungen notiert und tabellarisch in der CAMEO Transmission Konfiguration eingetragen.

Somit konnte der erste Prüfablauf mit CAMEO Transmission unter „Run-Test“ gestartet werden. Zuerst wurden alle Systeme von CAMEO Transmission initialisiert, wobei die Freigabe des Prüfstandes PASU, durch den Prüfstands-Fahrer betätigt, nötig war. Es wurde der Testlauf gestartet. Die Schaltungen wurden im CAMEO Transmission Test wie in der berechneten Run-List des DoE-Managers abgefahren. Dabei wurde zum Beispiel eine Schaltung wie folgt vorbereitet. Der Rollenprüfstand beschleunigte das Fahrzeug auf den vorgegebenen Betriebspunkt, wonach eine kurze Stabilisierungszeit ablief. Es wurde auf den Straßenmodus umgeschaltet. Die Pedalvorgabe mit 0% wurde durchgeführt, wodurch das Fahrzeug im Schub verzögerte. Bei Erreichen der vorgegebenen Geschwindigkeit löste der Autopilot durch Tipp die Schaltung aus. Dabei ist zu erwähnen, dass alle in der Run-List berechneten Schaltungen von CAMEO Transmission, siehe Abbildung 47 erfolgreich durchgeführt wurden.

Es war bei Manövern, welche im CAMEO Standard parametrieren wurden, darauf zu achten, dass steile Vollast-Gradienten zu einem möglichen Durchrutschen der Fahrzeugräder am Rollenprüfstand führen könnten. Dies würde vor allem bei Fahrzeugen ohne Allradantrieb mit starker Motorisierung auftreten. In CAMEO Transmission ist dafür eine Prozedur hinterlegt, welche den Reifenschlupf überwacht. In CAMEO Standard ist solch eine Funktion im Moment nicht vorhanden. Sollten die Räder bei Vollast durchdrehen, so wäre der Gradient des Pedals so anzupassen, dass dies vermieden werden würde. Der Prüfablauf der Zughochschaltungen mit Zugrückschaltungen wurde unter Beachtung dieser Anweisung am Rollenprüfstand gestartet und abgefahren.

Generelle Auffälligkeiten des Testablaufes ZHS/ZRS in M-Modus waren:

- Das Fahrzeug hat generell keine 2-1 Tipp-Rückschaltung bei den vorgegeben Drehzahlen zugelassen.
- Tipp-Rückschaltungen bei 6000rpm Drehzahlgrenze wurden in keinem Gang durchgeführt.
- Bei hohen Drehzahlen, sowie bei hoher Last (90% Pedal) wurden vom Fahrzeug nach der geplanten Zughochschaltung weitere Zwangshochschaltungen durchgeführt, sodass die Rückschaltung zum dazugehörigen Manöver nicht durchgeführt werden konnte.
- Bei Pedalposition von 15% waren Schaltmanöver in hohen Gängen nicht mehr möglich, da das Fahrzeug beim Auflegen des Pedalwertes verzögert hat, und somit der Betriebszustand für die geplanten Manöver nicht erreicht werden konnte.
- Alle nötigen Gangkorrekturen aufgrund von Zwangshochschaltungen oder nicht zugelassenen Rückschaltungen wurden korrekt durchgeführt.

Der Testlauf wurde somit mit denen vom Fahrzeug zugelassenen Schaltungen durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen. Alle Auswertungen und Dokumentationen der Schaltungen der in den CAMEO Transmission und CAMEO Standard hervorgerufenen Schaltungen, bezogen auf die Schaltqualität, werden im Kapitel 4 behandelt.

4 Messauswertung

Die Messungen der automatisierten Testläufe, welche von AVL-CAMEO™ und PASU am Rollenprüfstand ausgeführt worden sind, wurden mit AVL-DRIVE™ aufgezeichnet. Die beiden Testabläufe, wie in Kapitel 3.6 erklärt, wurden aufgrund des Aspektes der Reproduzierbarkeit und der statistischen Streubreite jeweils drei Mal hintereinander gefahren, wobei bei jeden Testlaufstart von CAMEO eine DRIVE Messung gestartet und nach Beenden des Testlaufes im voreingestellten DRIVE Messordner mit einer fortlaufenden Ordnernummer beendet und abgespeichert wurde. So wurden für jeden Testlauf jeweils drei getrennte DRIVE Messungen erhalten, welche im Anschluss durch Zusammenfügen der Messungen in AVL-DRIVE™ zu einer gesamten Messung für die Dokumentation zusammengefügt wurden. Grund für die getrennte Aufzeichnung der Messung war es, die Größe der einzelnen Messfiles während der Messung klein zu halten (Datensicherheit, auch bei Unterbrechungen).

Generell besteht in AVL-DRIVE™ die Möglichkeit, bestehende Messungen grafisch anzuzeigen, wobei die Möglichkeit besteht einzelne Betriebszustände anzuzeigen. In der grafischen Anzeige der Messung können mit zwei vertikalen Cursors alle Signale der Messung in der Messdatengrafik gemessen werden. So kann in kurzer Zeit überprüft werden, ob die gemessenen physikalischen Signale realistisch sind oder nicht. Um die nötige Vorsortierung der Messung durchzuführen, können auftretende Betriebszustände in der Messung deaktiviert werden. Dies bedeutet, dass alle nicht relevanten Schaltungen in einer Messung inaktiv gesetzt werden können, um die Messung nach gewünschten Schaltmanövern sortieren zu können. Die Schaltmanöver werden in AVL-DRIVE™, mit der in Kapitel 2.4 erklärten Methode, durch ein Gesamtrating bewertet. Somit ist neben der grafischen Anzeige des Schaltmanövers die numerische Gesamtqualitätsbewertung inklusive der Bewertung aller Subkriterien der Schaltung aufgelistet. Eine zeitliche Sortierung der Schaltmanöver in der Messung ist durch Start- und Endzeit des Manövers gegeben.

4.1 Messauswertung Testablauf SHS/SRS

Durch dreimaliges Abfahren des SHS/SRS Testes wurden drei separate Messungen erhalten, welche zu einer Gesamtmessung zusammengefügt wurden. Zunächst wurden neben Schubhoch- und Schubrückschaltungen alle anderen Betriebszustände inaktiv gesetzt. Somit war die Messung vorsortiert und für die Dokumentation mittels AVL-DRIVE™ Report Generator vorbereitet.

4.2 Messauswertung Testablauf ZHS/ZRS

Beim ZHS/ZRS Testlauf wurden drei separate Messungen aufgezeichnet, wobei auch diese, wie im vorigen Kapitel durchgeführt, zu einer Messung zusammengefügt wurden. Die Gesamtmessung wurde auch hierbei durch inaktiv-Setzen der nicht relevanten Betriebszustände vorsortiert. Zusätzlich wurde die Messung nach Events mit definiertem Pedalwert bei Durchführung der Schaltung gefiltert. So wurden für die Betriebszustände mit 15%, 50% und 90% Pedalposition jeweils ein Event Filter angelegt, welcher alle Events herausfiltert, in welchen die Schaltung mit dem vorgegebenen Pedalwert ausgeführt wurde. Die erstellten Event Filter wurden im Anschluss als Template abgespeichert, welches bei der Messdokumentation im AVL-DRIVE™ Report Generator wiederverwendet wird. Die Filterung der Messung mittels der Pedal-Event-Filter erleichtert die nachfolgende Messdokumentation erheblich.

4.3 Allgemeine Messdokumentation

Die Messdokumentation wurde mit AVL-DRIVE™ Report Generator durchgeführt, da diese Variante im Vergleich zu einer Auswertung mit Office-Excel eine standardisierte Berichtserstellung aufweist und die Dokumentation mit den AVL-DRIVE™ Messdaten verbunden werden kann. Im AVL-DRIVE™ Report Generator wurden somit die vorsortierten DRIVE-Messfiles als .ADT-Dateien eingebunden. Auf diese Art und Weise können alle Messungen einer Schaltqualitätsdokumentation mit deren korrekter Benennung in den AVL-DRIVE™ Report Generator eingebunden werden. Bei definiertem Event Filter in den DRIVE-Messungen müssen beim Einbinden die in AVL-DRIVE™ abgespeicherten Event Filter Templates eingebunden werden um eine fehlerfreie Filterung der Messung weiterhin zu gewährleisten. Unter „Bericht bearbeiten“ kann nach dem Einbinden der Messfiles in den Dropdown Menüs zwischen verschiedenen Berichten des AVL-DRIVE™ Report Generator gewählt werden, wobei dabei folgende Varianten des Berichtes passende Anwendung finden:

- Liste der Betriebszustände
- Vergleichende Auswertung
- Standardbericht

4.4 Messdokumentation Testablauf SHS/SRS

Die Dokumentation der Schubhochschaltungen und Schubrückschaltungen wurde getrennt durchgeführt, da dies die Komplexität der tabellarischen Auswertung verringert. In Abbildung 56 wird dabei die tabellarische Dokumentation der Schubhochschaltungen gezeigt, in Abbildung 57 wird die tabellarische Dokumentation der Schubrückschaltungen gezeigt. Es wurden im AVL-DRIVE™ Report Generator spezielle Dateneinstellungen für die tabellarische Überblicksansicht der Schaltqualitätsdokumentation durchgeführt. Mittels der Berichtvariante „Liste der Betriebszustände“ war es möglich, Spalten und Zeilen der Tabelle mit verschiedenen Parametern zu belegen. So wurden Spalten definiert, in welchen die Geschwindigkeiten der jeweiligen Schaltmanöver mit einem Toleranzbereich vom +5km/h verwendet wurden, und Zeilen definiert, in welchen der jeweilige Gangsprung der Manöver definiert wurde. Die Zahlen in den Tabellenzellen sind dabei die Qualitätsbewertungen der jeweiligen Schaltmanöver von AVL-DRIVE™ mit Farbverlauf von grün (ausgezeichnete Qualität) bis rot (unzureichende Qualität). Zu erwähnen wäre weiters, dass keine 2-1 Schubrückschaltung vom Fahrzeug bei den vorgegebenen Geschwindigkeiten durchgeführt wurde, somit in der Abbildung 57 die Zeile für 2-1 fehlt.

Gang Ende [-]	Schalten - Schub / Brems Hochschaltung: Schub / Brems Hochsch									
	Schaltqualitätsdokumentation									
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h	140km/h	160km/h	180km/h	200km/h
1-2	7.7									
	7.7									
	7.7									
2-3	8.9	8.6								
	9.0	8.6								
	8.4	8.6								
3-4		8.0	8.5	8.5	8.5	8.5				
		8.1	7.4	8.5	8.4	8.5				
		8.0	8.5	8.5	8.5	8.5				
4-5		8.8	9.1	8.2	8.5	8.4	8.5			
		8.6	7.2	8.7	7.6	8.3	8.6			
		8.8	8.5	8.8	8.6	8.6	8.5			
5-6		9.4	8.1	8.5	8.6	8.5	8.5	8.5	8.4	7.7
		9.0	8.9	6.6	8.5	7.2	8.5	8.5	8.5	8.7
			9.0	8.5	8.4	8.5	8.4	8.3	8.5	8.3
6-7			9.8	8.3	9.7	9.6	7.7	8.7	8.7	8.8
			9.6	8.9	9.7	7.5	8.6	8.6	8.6	8.7
			8.9	5.9	9.7	9.3	7.8	8.6	8.7	8.7
7-8				8.7	9.3	8.1	6.8	5.9	8.1	8.4
				9.1	9.1	8.5	8.4	8.4	8.4	8.4
				9.1	6.3	8.7	7.5	8.4	7.9	8.4

Abbildung 56: Messdokumentation Schubhochschaltungen [AVL-K]

Gang Ende [-]	Schalten - Schub / Brems Rückschaltung: Schub / Brems Rücksch									
	Schaltqualitätsdokumentation									
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h	140km/h	160km/h	180km/h	200km/h
8-7			7.3	8.0	8.6	8.7	8.5	7.1	7.6	8.7
			9.1	8.6	8.7	8.8	8.6	8.6	9.2	9.2
			7.0	8.8	7.2	8.7	8.0	7.1	7.6	9.3
7-6			6.1	8.8	7.9	5.7	8.3	8.3	8.4	7.7
			9.5	7.0	9.2	8.9	8.8	9.2	8.3	8.2
			6.0	8.8	7.2	6.0	8.8	8.6	8.4	7.8
6-5		9.0	8.8	8.8	9.2	8.8	8.8	9.0	8.3	8.5
		9.4	8.8	8.7	7.8	8.8	8.3	8.8	7.9	8.6
		9.6	7.5	8.8	9.0	9.0	9.1	8.7	8.3	8.2
5-4		8.6	9.2	9.2	8.2	7.7	7.3			
		9.0	8.9	8.9	6.5	6.1	6.4			
		9.8	9.2	8.7	8.2	8.2	7.3			
4-3	8.1	7.5	6.9	8.1						
	8.3	7.5	7.1	7.8						
	8.0	7.0	6.7	8.2						
3-2	6.9	7.2								
	6.4	7.1								
	5.8	7.3								

Abbildung 57: Messdokumentation Schubrückschaltungen [AVL-L]

Durch die Einstellung der Geschwindigkeitsbereiche für jede Spalte sollten für jede einzelne Schubschaltung insgesamt drei DRIVE Gesamtratings in der Tabelle angezeigt werden. Sollten mehr als drei Bewertungen für eine Schaltung in der Tabelle vorhanden sein, so kann durch Rechtsklick auf den Bewertungsbereich durch „Zeige Event“ die Schaltung in der DRIVE Messung nochmals geöffnet werden. Es können in diesem Fall alle Schaltungen auf diese Weise geöffnet, überprüft und gegebenenfalls inaktiv gesetzt werden, wenn die Schaltungen nicht zu den gewünschten Manövern gehören. Dies kann eintreten, wenn nötige Zwischenschaltungen oder Korrekturschaltungen in denselben Geschwindigkeitsbereich fallen wie geplante Schaltungen. Auf diese Art und Weise ist die Tabelle vorzubereiten, erst danach kann detailliert auf spezielle Schaltmanöver und Auffälligkeiten bei den Auswertungen eingegangen werden.

Auffälligkeiten Messdokumentation Testablauf SHS/SRS

Bei der Dokumentation von Testläufen mit Hilfe der Liste der Betriebszustände wurde nach der Erstellung der sortierten Tabelle der Fokus auf die Tabellenzellen gelegt. Die Tabellenzellen wurden in den Spalten und Zeilen automatisch mit Bewertungsnoten von Schaltungen gefüllt, wenn diese in diesem Bereich durchgeführt worden sind. Wurde in gewissen Bereichen keine Schaltung ausgeführt, so blieben die Zellen in diesem Bereich leer. In Abbildung 58 und Abbildung 59 sind die Leerräume der Tabelle mittels Buchstaben gekennzeichnet. Beispielsweise konnte im Bereich A mit den kleinen Gängen die Geschwindigkeiten physikalisch nicht erreicht werden. Umgekehrt bedeutete dies für den Bereich B, dass mit den hohen Gängen nur bis zu einer bestimmten niedrigeren Geschwindigkeit gefahren werden konnte.

Gang Ende [-]	Schalten - Schub / Brems Hochschaltung: Schub / Brems Hochsch									
	Schaltqualitätsdokumentation									
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h	140km/h	160km/h	180km/h	200km/h
1-2	7.7									
	7.7									
	7.7									
2-3	8.9	8.6								
	9.0	8.6								
	8.4	8.6								
3-4		8.0	8.5	8.5	8.5	8.5				
		8.1	7.4 ★	8.5	8.4	8.5				
		8.0	8.5	8.5	8.5	8.5				
4-5		8.8	9.1 ★	8.2	8.5	8.4	8.5			
		8.6	7.2 ★	8.7	7.6	8.3	8.6			
		8.8	8.5	8.8	8.6	8.6	8.5			
5-6		9.4 ★	8.1	8.5	8.6	8.5	8.5	8.5	8.4	7.7
		9.0	8.9	6.6 ★	8.5	7.2 ★	8.5	8.5	8.5	8.7
			9.0	8.5	8.4	8.5	8.4	8.3	8.5	8.3
6-7			9.8 ★	8.3	9.7 ★	9.6 ★	7.7	8.7	8.7	8.8
			9.6 ★	8.9	9.7 ★	7.5 ★	8.6	8.6	8.6	8.7
			8.9 ★	5.9 ★	9.7 ★	9.3 ★	7.8	8.6	8.7	8.7
7-8				8.7	9.3 ★	8.1	6.8 ★	5.9 ★	8.1	8.4
				9.1 ★	9.1 ★	8.5	8.4	8.4	8.4	8.4
				9.1 ★	6.3 ★	8.7	7.5	8.4	7.9	8.4

Abbildung 58: Auffälligkeiten Messdokumentation SHS/SRS [AVL-K]

Gang Ende [-]	Schalten - Schub / Brems Rückschaltung: Schub / Brems Rücksch									
	Schaltqualitätsdokumentation									
	20km/h	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h	120km/h	140km/h	160km/h	180km/h	200km/h
8-7			7.3 ★	8.0	8.6	8.7	8.5	7.1	7.6	8.7
			9.1 ★	8.6	8.7	8.8	8.6	8.6	9.2	9.2 ★
			7.0 ★	8.8	7.2	8.7	8.0	7.1	7.6	9.3 ★
7-6			6.1	8.8	7.9	5.7 ★	8.3	8.3	8.4	7.7
			9.5 ★	7.0	9.2 ★	8.9	8.8	9.2 ★	8.3	8.2
			6.0	8.8	7.2	6.0 ★	8.8	8.6	8.4	7.8
6-5		9.0	8.8	8.8	9.2 ★	8.8	8.8	9.0	8.3	8.5
		9.4 ★	8.8	8.7	7.8	8.8	8.3	8.8	7.9	8.6
		9.6 ★	7.5	8.8	9.0	9.0	9.1 ★	8.7	8.3	8.2
5-4		8.6	9.2 ★	9.2 ★	8.2	7.7	7.3			
		9.0	8.9	8.9	6.5 ★	6.1 ★	6.4 ★			
		9.8 ★	9.2 ★	8.7	8.2	8.2	7.3			
4-3	8.1	7.5	6.9	8.1						
	8.3	7.5	7.1	7.8						
	8.0	7.0	6.7	8.2						
3-2	6.9	7.2								
	6.4	7.1								
	5.8 ★	7.3								

Abbildung 59: Auffälligkeiten Messdokumentation SHS/SRS [AVL-L]

Nachfolgend wird auf spezielle Auffälligkeiten der DRIVE Rating Bewertung eingegangen. Durch die Reproduzierbarkeit der Messungen sollten drei identische Bewertungen für die jeweilige Schaltung im Geschwindigkeitsbereich und Gangbereich erhalten werden. Dabei war eine Abweichung des DRIVE-Ratings von $\pm 0,5$ akzeptabel (Erfahrungswerte bei AVL). Folgend wurde auf jene Schaltmanöverbewertungen eingegangen, wo es zu größeren Abweichungen kam.

Mittels rotem Stern sind Schaltmanöver gekennzeichnet, wo es zu deutlichem Unterschied des DRIVE Ratings gekommen ist. Bei näherer Betrachtung der einzelnen Messungen wurde eine Schwingungsanregung im Zeitraum der Drehzahlanpassung festgestellt. Ein Ausschnitt der in Abbildung 58 rot umrahmten Schaltung wird in Abbildung 60 gezeigt. Dabei war im Beschleunigungssignal die Schwingungsanregung im Bereich des Drehzahlangleiches mit einem Amplituden Spitze-Spitze Wert von $0,77\text{m/s}^2$ erkennbar. Die Schwingung wies eine konstante, von der Drehzahl und Fahrgeschwindigkeit unabhängige, Frequenz von 6Hz auf.

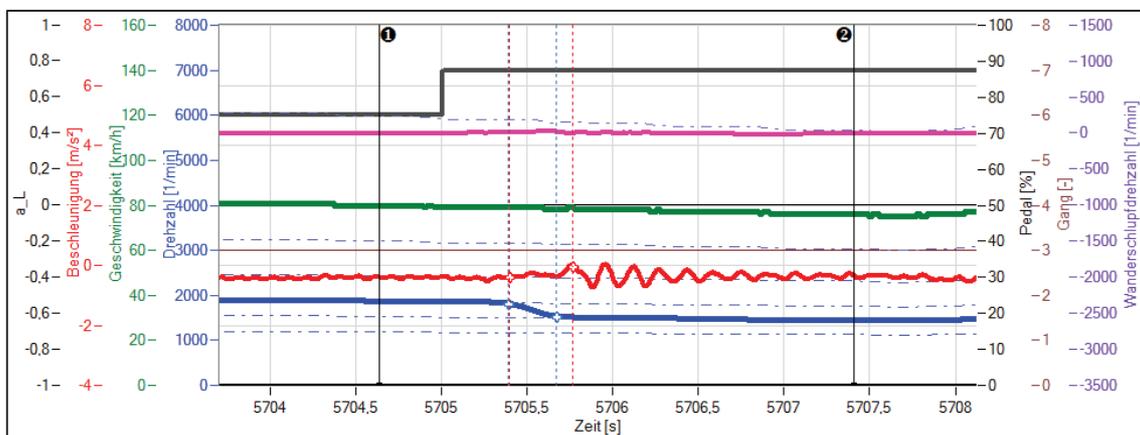


Abbildung 60: Schwingungsanregung Messdokumentation SHS/SRS [DRI-B]

Die Schwingungsanregung kann einerseits vom Fahrzeug, andererseits vom Prüfstand oder Prüfaufbau kommen. Ersteres wurde durch Messungsvergleich von einer Straßenmessung und Rollenmessung überprüft. Dabei wurde die Frequenz des Beschleunigungssignales bei einem Fahrmanöver auf der Straße (rot) mit der Frequenz des Beschleunigungssignales vom selben Fahrmanöver auf dem Rollenprüfstand (blau) verglichen, siehe Abbildung 61.

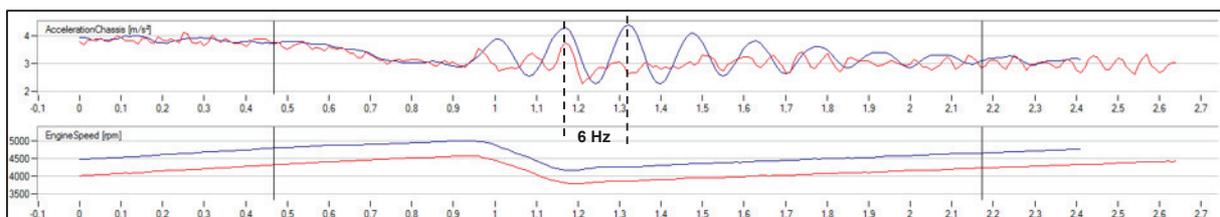


Abbildung 61: Schwingungsvergleich Straße/Rolle 3-4 Zughochschaltung

Der Schwingungsvergleich der Straße und Rolle lässt darauf schließen, dass die auftretende 6Hz Schwingung nicht durch das Fahrzeug oder den Antriebsstrang verursacht wurde, da die Schwingungen auf der Straße nicht in dieser Form feststellbar waren. Eine mögliche Ursache für die auftretende Schwingung ist die Pendelstützenverbindung von Fahrzeug und Aufspannbock. Die Kraftmessdose wird in der Pendelstütze zwischen Fahrzeug und Aufspannbock, wie in Kapitel 3.1 erklärt, verbaut. Nachdem das Beschleunigungssignal durch die auftretende Kraft an der Kraftmessdose aufgenommen wird, ist es möglich, dass die Eigenfrequenz und somit die Länge und der Durchmesser der Pendelstütze einen wesentlichen Einflussfaktor haben. Eine weitere Möglichkeit der Schwingungsentstehung besteht auf Grund des Spannens des Fahrzeuges mit Ketten am Rollenprüfstand. Es sind verschiedene Arten der Befestigung des Fahrzeuges am Rollenprüfstand bekannt, wobei dies in Kombination mit dem Reifendruck die Schwingung auch anregen bzw. verstärken könnte. Es wird vorerst empfohlen Schaltungen, wo eine Schwingungsanregung aufgetreten ist, mittels variierender Pendelstützenlänge noch einmal abzufahren um zu überprüfen, ob sich die Schwingung generell oder die Frequenz der Schwingung ändert. Durch die sporadisch auftretenden Schwingungsanregungen wird bei dieser Schaltung das Sub-Kriterium „Mehrfachschwingungen“ eine schlechte Benotung erhalten, was sich insgesamt verschlechternd auf die Gesamtbewertung des Schaltmanövers auswirkt. Somit ergeben sich DRIVE-Gesamtratings mit geringerer Bewertung.

Eine weitere Auffälligkeit bei der Messdokumentation SHS/SRS sind jene Schaltmanöver, welche mit einem DRIVE Rating von größer als 9,0 benotet wurden, siehe blaue Sterne in Abbildung 58 und Abbildung 59. Bei näherer Betrachtung der DRIVE-Messungen ist bei diesen Schaltmanövern eine hohe Wandler-Aktivität während der Messung festgestellt worden. Dies wird bei manchen Schaltmanövern von der Wandler-Strategie durchgeführt um die Schaltqualität maßgeblich zu verbessern. Ein solcher Schaltablauf, blaue Markierung in Abbildung 58, wird in Abbildung 62 gezeigt, wobei die Wandlerschlupfdrehzahl in rosa gekennzeichnet wird. Im Beschleunigungssignal treten keine merkbaren Spitzen während der Schaltung auf, dies bedeutet, dass AVL-DRIVE™ diese Schaltung bezogen auf Bewertungen des Beschleunigungssignales als sehr gut bewertet.

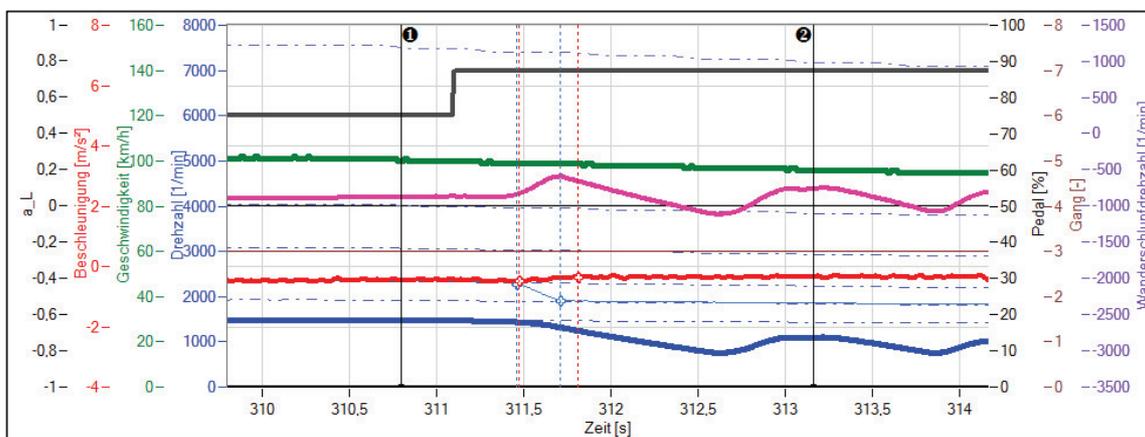


Abbildung 62: Wandler eingriff Dokumentation SHS/SRS [DRI-C]

4.5 Messdokumentation Testablauf ZHS/ZRS

Die Dokumentation der Zughochschaltungen mit Zugrückschaltungen wurde mittels der „Liste der Betriebszustände“ tabellarisch dokumentiert. Dabei wurde die Gesamtmessung dreimal in den AVL-DRIVE™ Report Generator mit jeweils einem zuvor definierten Pedal-Event Filter von DRIVE eingebunden. Somit wurden die Spalten der Pedalpositionen generiert. Es wurden Drehzahlbereiche mit +-50rpm Toleranz hinzugefügt, wodurch nicht gewünschte Schaltungen vorerst nicht in der Tabelle dargestellt werden. Für die Zeilen wurden die Gangsprünge definiert. Bei diesem Testlauf wurden sehr viele Zwischenschaltungen durch die Gangkorrektur während dem Test ausgeführt, worauf alle Manöver händisch in AVL-DRIVE™ anzusehen sind, ob sie in den definierten Bereich der Tabelle hineinfallen oder nicht. Mittels inaktiv-Setzen der nicht gewünschten Schaltungen in AVL-DRIVE™ wurde die ganze Dokumentation erstellt. Um einen besseren Überblick zu bekommen wurden auch hier die Zughochschaltungen und die Zugrückschaltungen in einer getrennten Tabelle dargestellt. In Abbildung 63 ist die Dokumentation der Zughochschaltungen ersichtlich, in Abbildung 64 die Dokumentation der Zugrückschaltungen.

Gang Ende [-]	Schalten - Zug Hochschaltung: Zug Hochschaltung								
	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm
1-2	6.5	5.7		6.9	6.1	5.5	8.1	6.5	
	6.2	5.9		6.2	5.9	5.8	7.0	6.9	
	7.0	6.2		6.9	5.8	5.9	7.7	6.9	
2-3	6.7			5.9	6.1	5.9	7.7	6.1	
	6.3			5.0	6.0	5.8	7.3	6.3	
	6.5			5.3	6.1	6.1	6.0	6.3	
3-4	6.8			5.8	5.8	6.0	7.0	5.6	5.9
	7.0			6.6	5.9	6.3	7.3	5.5	5.7
	7.1			6.4	5.9	6.4	6.4	5.8	5.9
4-5	6.8			6.3	5.6	6.1	6.2	6.9	6.3
	6.6			6.3	5.7	6.1	6.2	7.5	6.5
	7.1			5.5	6.2	6.1	5.5	7.4	6.5
5-6				6.6	6.2	6.5	6.5	5.7	7.9
				6.4	7.3	5.9	6.9	6.0	7.2
				6.3	6.5	5.9	6.8	5.5	7.4
6-7				5.1	6.2		5.2	5.6	
				5.0	7.1		5.9	6.4	
				4.1	6.4		5.3	5.6	
7-8				5.1	5.4		5.6	4.8	
				5.0	5.3		5.4	4.7	
				5.2	5.7		5.4	4.7	

Abbildung 63: Messdokumentation Zughochschaltungen [AVL-M]

Gang Ende [-]	Schalten - Zug Rückschaltung: Zug Rückschaltung								
	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm
8-7				8.0	6.5		8.3	7.9	
				7.8	6.4		8.1	8.0	
				8.4	7.5		8.2	7.9	
7-6				7.9	5.7		7.6	7.1	
				7.8	5.1		7.8	7.1	
				7.4	4.9		7.5	7.2	
6-5				8.0	5.3		8.3	6.8	
				6.9	5.4		8.4	7.2	
				8.0	5.5		7.7	6.9	
5-4	7.6			7.4	6.6		7.3	7.8	
	7.3			7.1	5.9		7.4	7.7	
	7.9			8.0	6.4		8.2	7.6	
4-3	7.2			7.4	7.9		7.6		
	7.6			7.4	7.7		7.8		
	7.3			7.1			8.2		
3-2	6.5			6.7			7.2		
	6.1			6.9					
	6.9								

Abbildung 64: Messdokumentation Zugrückschaltungen [AVL-N]

Dabei ist zu erwähnen, dass der Aufwand dieser Dokumentation sehr groß war, da viele Zwischenschaltungen im selben Drehzahlbereich durchgeführt worden sind wie geplante Schaltungen. Somit war die Filterung mittels Drehzahlbereich nicht so effektiv wie in der Dokumentation des SHS/SRS Testlaufes. Jedes einzelne Manöver musste bei dieser Dokumentation in AVL-DRIVE™ überprüft und wenn nötig inaktiv gesetzt werden. Die Auswertung solcher Testläufe könnte in Zukunft durch zusätzliche binäre Signale von AVL-CAMEO™ erleichtert werden. Bei der Durchführung einer geplanten Schaltung soll CAMEO Standard z.Bsp. ein Bit für die korrekte Schaltung an AVL-DRIVE™ übermitteln. Bei der Durchführung von nötigen Zwischenschaltungen oder Gangkorrekturen soll CAMEO Standard ein Bit an AVL-DRIVE™ übermitteln, dass identifiziert ob dies eine zusätzliche Schaltung war und nicht ausgewertet und dokumentiert werden darf.

Auffälligkeiten Messdokumentation Testablauf ZHS/ZRS

Als große Auffälligkeit ist bei der Dokumentation ZHS/ZRS zu erwähnen, dass viele Schaltungen nicht durchgeführt wurden, siehe Abbildung 65, Abbildung 66. Im Bereich C konnten die in der Tabelle fehlenden Schaltungen auf Grund des hohen Ganges und der geringen Pedalstellung nicht durchgeführt werden. Das Fahrzeug konnte mit der geringen Pedalstellung das für die Schaltung auslösende Drehzahllimit nicht mehr erreichen. Bereich D ergibt sich durch einer Geschwindigkeitsgrenze von 250 km/h, welche durch das Fahrzeug festgelegt war. Diese Geschwindigkeitsgrenze wurde durch die hohen Gänge bei hohen Drehzahlen erreicht. Bei Schaltmanövern im Bereich E wurden auf Grund der hohen Pedalstellung zusätzliche Zwangshochschaltungen des Fahrzeuges vor Erreichen der Drehzahllimits für die Schaltausführung durchgeführt. Somit sind diese Schaltmanöver nicht im richtigen Drehzahlbereich ausgelöst worden und für die Dokumentation wertlos.

Gang Ende [-]	Schalten - Zug Hochschaltung: Zug Hochschaltung								
	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm
1-2	6.5	5.7		6.9	6.1	5.5	8.1	6.5	
	6.2	5.9		6.2	5.9	5.8	7.0	6.9	
	7.0	6.2		6.9	5.8	5.9	7.7	6.9	E
2-3	6.7			5.9	6.1	5.9	7.7	6.1	
	6.3			5.0	6.0	5.8	7.3	6.3	
	6.5			5.3	6.1	6.1	6.0	6.3	
3-4	6.8			5.8	5.8	6.0	7.0	5.6	5.9
	7.0			6.6	5.9	6.3	7.3	5.5	5.7
	7.1			6.4	5.9	6.4	6.4	5.8	5.9
4-5	6.8			6.3	5.6	6.1	6.2	6.9	6.3
	6.6			6.3	5.7	6.1	6.2	7.5	6.5
	7.1			5.5	6.2	6.1	5.5	7.4	6.5
5-6		C		6.6	6.2	6.5	6.5	5.7	7.9
			6.4	7.3	5.9	6.9	6.0	7.2	
			6.3	6.5	5.9	6.8	5.5	7.4	
6-7				5.1	6.2		5.2	5.6	
				5.0	7.1		5.9	6.4	
				4.1	6.4	D	5.3	5.6	D
7-8				5.1	5.4		5.6	4.8	
				5.0	5.3		5.4	4.7	
				5.2	5.7	5.4	4.7		

Abbildung 65: Auffälligkeiten Messdokumentation Zughochschaltungen [AVL-M]

Gang Ende [-]	Schalten - Zug Rückschaltung: Zug Rückschaltung								
	15% Pedal			50% Pedal			100% Pedal		
	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm	2000rpm	4000rpm	6000rpm
8-7				8.0	6.5		8.3	7.9	
				7.8	6.4		8.1	8.0	
		F		8.4	7.5		8.2	7.9	
7-6				7.9	5.7		7.6	7.1	
				7.8	5.1		7.8	7.1	
			7.4	4.9		7.5	7.2		
6-5				8.0	5.3		8.3	6.8	
				6.9	5.4	G	8.4	7.2	G
				8.0	5.5		7.7	6.9	
5-4	7.6			7.4	6.6			7.3	
	7.3			7.1	5.9		7.4	7.7	
	7.9			8.0	6.4		8.2	7.6	
4-3	7.2			7.4	7.9		7.6		
	7.6			7.4	7.7		7.8		
	7.3			7.1			8.2		
3-2	6.5			6.7			7.2		
	6.1			6.9					
	6.9								

Abbildung 66: Auffälligkeiten Messdokumentation Zugerückschaltungen [AVL-N]

Wird im Testlauf keine korrekte Zughochschaltung aufgrund der zuvor erwähnten Gegebenheiten ausgeführt, so wird die zugehörige Rückschaltung desselben Manövers auch nicht ausgeführt. Dies führt vorwiegend zum großen, leeren Bereich F in der Abbildung 66. Weiters wurden im Bereich G bei hohen Drehzahlen vom Fahrzeug keine Rückschaltungen mehr zugelassen.

Bei detaillierter Betrachtung von unzureichend beurteilten Schaltmanövern war zu beobachten, dass auch bei diesem Testlauf eine Schwingungsanregung durch die Schaltung hervorgerufen wird. Auch hier beträgt die Schwingungsfrequenz 6Hz, siehe rot markiertes Manöver aus Abbildung 65 in Messausschnitt Abbildung 67. In allen Schaltmanövern mit einer AVL-DRIVE™ Schaltqualitätsbewertung < 6 traten zum Teil Schwingungen mit Amplituden Spitze-Spitze Werte von über 1m/s^2 auf.

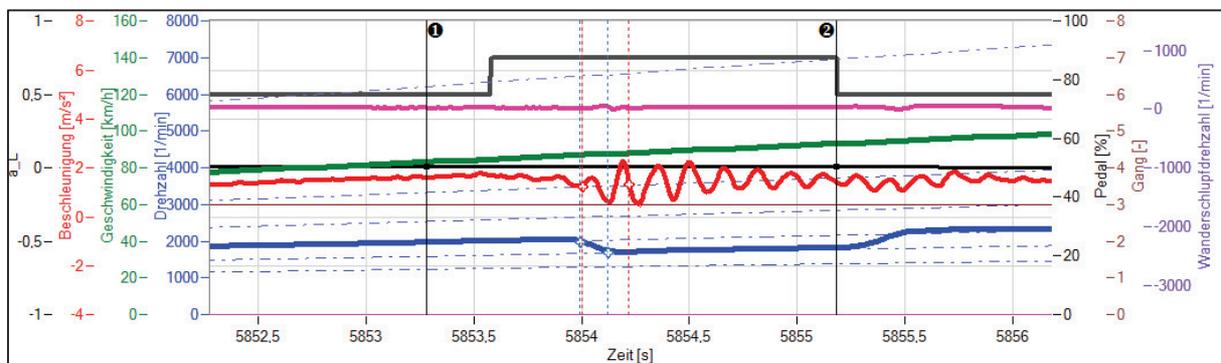


Abbildung 67: Schwingung Dokumentation ZHS/ZRS [DRI-D]

Um nun den Einfluss der auftretenden Schwingungen bezogen auf die gesamte Qualitätsbewertung der Zughochschaltungen und Zugrückschaltung aufzuzeigen, wird in Abbildung 68 und Abbildung 69 die zusammengefasste Auswertung aller in Abbildung 65 und Abbildung 66 dokumentierten Zughochschaltungs- und Zugrückschaltungsmanöver in „vergleichender Darstellung“ gezeigt. Es ist zu erkennen, dass bei den Zughochschaltungen die Subratings „Ruck“ und „Mehrfachschwingungen“ zum einen eine unzureichende gemittelte Bewertung erhalten, und zum anderen diese Subkriterien auf die Gesamtqualitätsbeurteilung der Zughochschaltungen einen maßgeblichen Einfluss haben. Dabei ist das Gesamtrating von 50% Pedal am niedrigsten, da in diesem Bereich die Anzahl der Schaltungen mit Schwingungsanregung in diesem Bereich am größten war. Dasselbe Verhalten ist bei Zugrückschaltungen in Abbildung 69 zu verzeichnen, wobei zusätzlich Beschleunigungsgradienten während und nach der Zugrückschaltung im Vergleich zu den Zughochschaltungen eine wesentlich schlechtere Qualitätsbewertung erhalten. Dies ist aufgrund des nicht unterschiedlich angeregten Beschleunigungssignals bei Zughochschaltung und Zugrückschaltung zu erklären, siehe Abbildung 67.

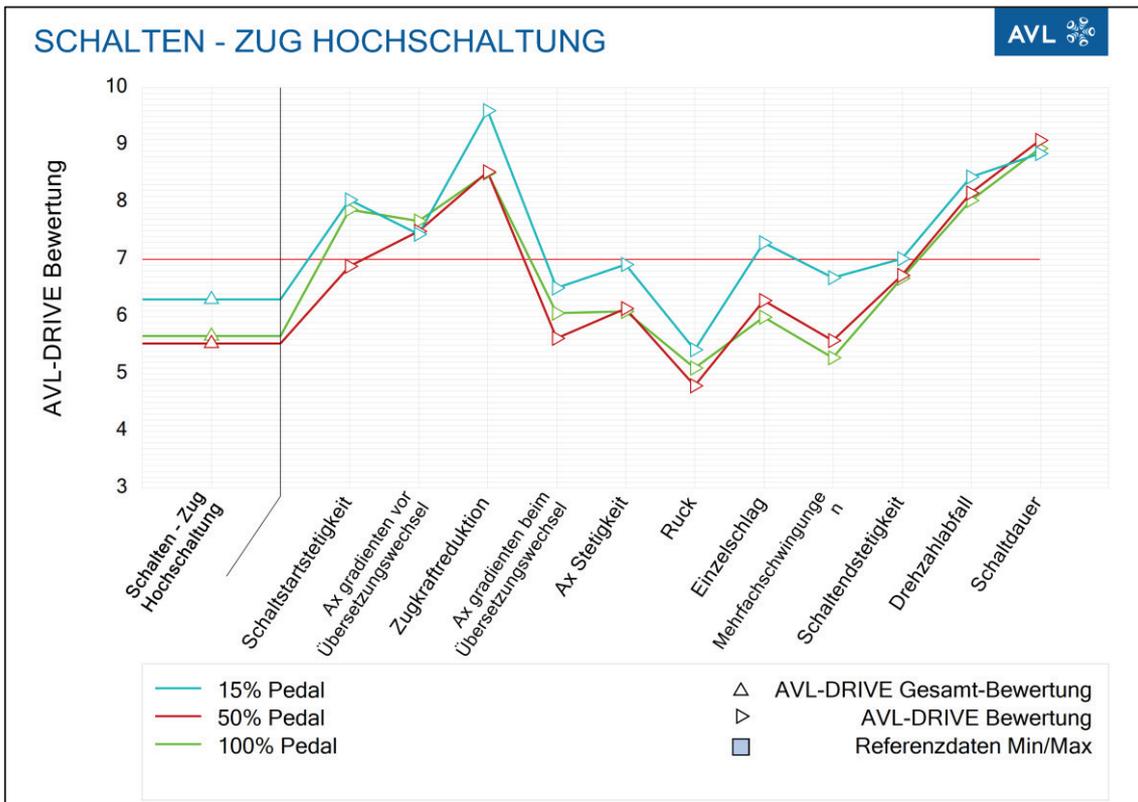


Abbildung 68: Vergleichende Auswertung Zughochschaltung [AVL-O]

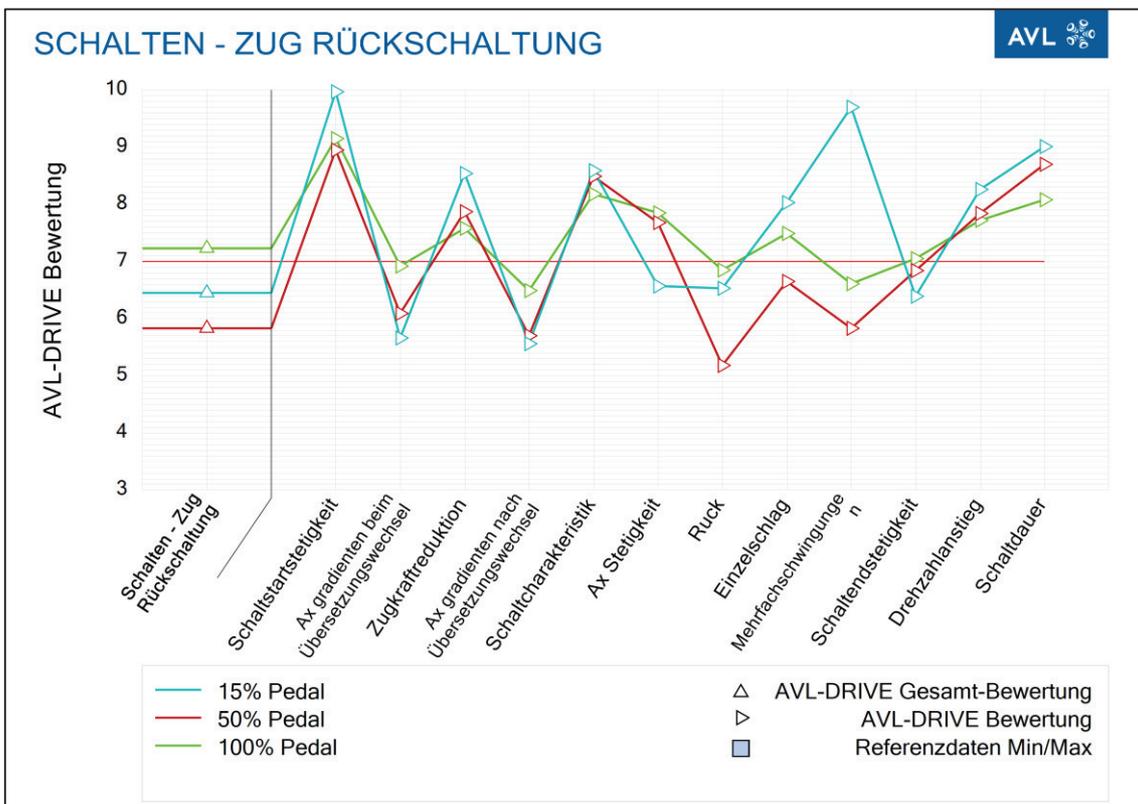


Abbildung 69: Vergleichende Auswertung Zugerückschaltungen [AVL-P]

5 Fazit und Verbesserungsvorschläge

Im Zuge dieser Schaltqualitätsdokumentation wurden neben der schriftlich erstellten Arbeit zwei spezielle CAMEO Testläufe erstellt, welche durch dreimaliges Abfahren am Rollenprüfstand zu reproduzierbaren Messungen geführt haben. Insgesamt wurden bei einer Testlaufzeit von 120 Minuten in der Schaltqualitätsdokumentation SHS/SRS 225 Schubschaltungen ausgelöst und gemessen. In der Schaltqualitätsdokumentation ZHS/ZRS waren es 192 Schaltungen, bei einer Testlaufzeit von 110 Minuten. Zusätzlich sind Schaltungsmanöver in Geschwindigkeitsbereichen gefahren worden, die auf einer Teststrecke schwierig und in dieser Anzahl nicht fahrbar sind. Somit wurden Messfiles und Reports generiert, welche am Server der AVL List GmbH abgelegt wurden.

5.1 Fazit der Testabläufe am Rollenprüfstand

Betrachtet man die Anforderungsliste des Kunden, so ist grundsätzlich zu erwähnen, dass der Großteil der geforderten Schaltmanöver erfolgreich in Testläufen erstellt und automatisiert am Rollenprüfstand abgefahren werden konnten. Die am Rollenprüfstand gefahrenen Schaltmanöver waren:

In Modus D:

- Rückschaltungen im Zug bei definierten Geschwindigkeiten
- Ausrollschaltungen mit und ohne Bremsaktuierung
- Hesitation-Manöver (Wiederanfahren), Segeln
- Motor Start/Stop
- Gangeinlegen
- Zughochschaltungen mit definierter Pedalstellung
- Zughochschaltungen mit Lastrücknahme/Lastzugabe

In Modus M:

- Rückschaltungen im Schub bei definierten Geschwindigkeiten
- Hochschaltungen im Schub bei definierten Geschwindigkeiten
- Zughochschaltungen mit anschließenden Zugerückschaltungen bei definierten Drehzahlen und Pedalstellungen

Alle gefahrenen Schaltanforderungen in Modus D sind für das Abfahren in Modus S vorgesehen, dies wurde noch nicht durchgeführt. Dabei ist zu erwähnen, dass alle in CAMEO Standard vorbereiteten Testläufe mit geringem Änderungsaufwand (Verstellung des Pos-Parameters in Testabläufen) zum Abfahren in Modus S verwendet werden können.

Eines der wenigen nicht fahrbarbaren Anforderungen war der Betriebszustand „Segeln“. Dabei soll das Fahrzeug mit einer bestimmten Geschwindigkeit bis zu einer gewissen Geschwindigkeit ohne eingelegten Gang ausrollen. Da dieser Modus sehr stark vom verwendeten Getriebe und der Strategie des Fahrzeugherstellers abhängig ist, konnte ohne detaillierte Informationen des Herstellers der Zustand „Segeln“ am Rollenprüfstand nicht erreicht werden. Eine weitere Anforderung, die automatisierte Wahlhebeländerung, konnte nicht vollständig erfüllt werden, da der mechanische Aktuator im Fahrzeug für die spezielle mechanische Betätigung nicht vorgesehen war. Ein zusätzliches Problem ist seitens des Bremsaktuators aufgetreten; dabei war es nicht möglich mit dem verbauten Bremsaktuator stufenartige Bremsvorgaben zu erreichen (dynamische Einschränkungen). Der Druck wurde erst nach gewisser Zeit auf den Zielwert geregelt, wodurch das Fahrmanöver der gebremsten Ausrollsaltungen nicht für die Schaltqualitätsdokumentation verwendbar war. Grundsätzlich konnten alle anderen Anforderungen am Prüfstand in einer gesamten Testlaufzeit von circa 16 Stunden abgefahren werden.

Mittels den vorbereiteten Testläufen ist eine Basis an Möglichkeiten für die Schaltqualitätsdokumentation am Rollenprüfstand geschaffen worden. Es kann nun bei verschiedenen Fahrzeugen mit denselben Testläufen eine Schaltdokumentation durchgeführt werden. Die erstellten CAMEO Testläufe sind eine breite Basis für eine Erweiterung und Anpassung der Schaltqualitätsdokumentation eines Fahrzeuges auf spezielle Kundenwünsche und Erwartungen. Es besteht die Möglichkeit, diese Testläufe der Schaltqualitätsdokumentation bei einem anderen Prüfstandsystem, zum Beispiel im DRICON™, anzuwenden und abzufahren. Detaillierte nötige Parameterdefinitionen werden in einer Dokumentation am AVL Server abgelegt.

5.2 Verbesserungsvorschläge Testerstellung

Bei Anwendung der Testläufe von AVL-CAMEO™ für die Schaltqualitätsdokumentation auf verschiedenen Prüfstandsystemen, zum Beispiel PASU oder DRICON™, sind nötige Parameter für die Durchführung der Schaltqualitätsdokumentation zu definieren, um eine fehlerfreie Kommunikation zwischen AVL-CAMEO™ und Prüfstandsystem gewährleisten zu können.

Um Testläufe vorzeitig am Simulator effizient testen zu können, ist eine standardisierte Testumgebung notwendig, welche am Simulator hinsichtlich CAMEO, DRIVE und DRICON™ eingerichtet werden sollte.

Bei der Erstellung von kundenspezifischen CAMEO Testläufen ist eine Vorsimulation am AVL-Simulator dringend zu empfehlen. Mittels der Simulationsmöglichkeit können Denk- und Testlauffehler vorzeitig erkannt und behoben werden und die Strategie des Testlaufes ständig verbessert werden. So werden lange Prüfstandstehzeiten und Kosten vermieden und effiziente Testläufe erstellt. Dies gilt auch für jede Erweiterung von bestehenden Prozeduren in AVL-

CAMEO™, welche so gemeinsam mit den Kunden ohne großen Kostenaufwand weiterentwickelt werden können.

5.3 Verbesserungsvorschläge Testabläufe am Rollenprüfstand

Als erster Verbesserungsvorschlag bezüglich des Testlaufes ist zu erwähnen, dass das in Kapitel 4.4.1 auftretende Problem der Schwingungsanregung in den Messungen untersucht werden sollte. Dabei wird vorgeschlagen, beim Prüfstands Aufbau die Länge der Pendelstütze mittels Position der Kraftmessdose zu variieren und zu vergleichen, ob die auftretenden Schwingungen sich ändern oder nicht. Ein weiterer Vorschlag wäre es, den optimalen Reifendruck am Rollenprüfstand zu definieren und vor jeder Schaltqualitätsdokumentation einzustellen. Eine weitere Abklärung bedarf der optimalen Befestigung des Fahrzeuges am Rollenprüfstand, da es hierbei verschiedene Varianten gibt. Das Schwingungsverhalten bzw. die Eigenfrequenz der Rollen am Rollenprüfstand zu ermitteln ist zwingend notwendig, um das auftretende Schwingungsproblem in Griff zu bekommen. Es ist festzuhalten, dass auf Grund der Schwingungen das DRIVE Rating der Schaltqualitätsbewertung im Vergleich zu Straßenmessungen deutlich schlechter sein wird, da hierbei maßgeblich die Bewertungskriterien „Ruck“ und „Mehrfachschwingungen“ durch die 6Hz Schwingung beeinträchtigt werden.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag betrifft die nötigen Messhardware-Komponenten und Messsignale für eine Schaltqualitätsdokumentation am Rollenprüfstand. Diese wären abhängig vom Getriebezustand, Seriengetriebe oder Prototypgetriebe, zu definieren, um Vorbereitungszeiten zu verkürzen und standardisierte Prozesse des Aufbaus und Verkabelung der verwendeten Hardware zu realisieren.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag hinsichtlich Automatisierungsgrad wäre es, einzelne Testabläufe in AVL-CAMEO™ zu einer Testsequenz zusammenzufügen, sodass über längere Zeit ein vollautomatisiertes Abfahren der Testläufe möglich ist.

5.4 Verbesserungsvorschläge Dokumentation der Testabläufe

Um die Auswertung spezieller Testabläufe zu erleichtern, besteht die Möglichkeit beim Auftreten einer geplanten Schaltung mittels AVL-CAMEO™ eine Bitinformation zu AVL-DRIVE™ zu senden, dass dieses Manöver das geplante Manöver, und keine Zwischenschaltung oder zusätzliche Schaltung ist, welche in der Dokumentation nicht aufscheinen soll. Die Ausführung dieser Bitinformation wäre mit den entsprechenden Zuständigen der Abteilungen zu diskutieren. Somit besteht die Möglichkeit, den Auswertungsaufwand bei speziellen Testmanöver maßgeblich zu minimieren.

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, besteht die Möglichkeit, Voreinstellungen in AVL-DRIVE™ und AVL-DRIVE™ Report Generator mittels Filterdefinitionen und Templates zu treffen um die

erhaltenen Messungen der Testläufe besser aussortieren zu können. Diese Filter sind für die jeweilige Schaltqualitätsdokumentation vorab zu erstellen.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag hinsichtlich Dokumentation mittels AVL-DRIVE™ Report Generator ist die Erstellung einer Berichtvorlage, speziell abgestimmt auf die Schaltqualitätsdokumentation. Dazu sind tabellarische Ansichten wie zum Beispiel die „Liste der Betriebszustände“ als Grundlage zu verwenden. Zusätzlich wären die Möglichkeiten des Vergleiches zwischen verschiedenen Betriebszuständen im Standardbericht oder vergleichenden Bericht wünschenswert, da dies derzeit noch nicht möglich ist.

6 Ausblick in die Zukunft

Mit den in der Arbeit erklärten und angewendeten Tools von AVL List GmbH ist es in Zukunft möglich, im Bereich der Schaltqualitätsdokumentation innovativer, reproduzierbarer und konkurrenzfähiger zu sein. Die Verlagerung der Schaltqualitätsdokumentation von der Straße auf den Rollenprüfstand ist dabei nur der erste Schritt in die richtige Richtung. Es werden durch die Verlagerung der Testläufe und Messungen auf den Rollenprüfstand nicht nur Umgebungs- und Straßeneinflüsse minimiert, sondern Schaltmanöver in physikalischen Grenzbereichen fahrbar, welche auf der Teststrecke durch den Testfahrer kaum durchführbar sind. So ist die Länge vieler Teststrecken für bestimmte Manöver nicht ausreichend, es können Hochgeschwindigkeitsmanöver nur teilweise auf der Teststrecke gefahren werden. Mittels der vielfältigen Möglichkeit der Erstellung von speziellen Testläufen mit AVL-CAMEO™ ist es möglich, ein breites Spektrum an Testabläufen für die Qualitätsuntersuchungen an automatisierten Getrieben zu erstellen. So ist es möglich, kundenspezifische Testprozeduren zu erstellen und nach Wunsch des Kunden mehrmals und reproduzierbar in kürzester Zeit abzufahren und die Qualität der Schaltungen auszuwerten.

Betrachtet man den Kostenfaktor einer Schaltqualitätsdokumentation am Rollenprüfstand, so wäre diese Variante mit einer Schaltqualitätsdokumentation auf der Straße zu vergleichen. Durch die Vorsimulationsmöglichkeit auf einem vereinfachten Simulator, sollte sich eine geringe nötige Prüfstandzeit, gemittelt als Summe der Rüstzeit und Testlaufzeit ergeben, und die Prüfstandzeit auf ein Minimum reduzieren.

Vergleicht man somit die Schaltqualitätsdokumentation am Rollenprüfstand mit der Schaltqualitätsdokumentation auf der Straße, so ist aufgrund der vielseitigen Möglichkeit der Testabläuferstellung und den vergleichbaren Messergebnissen der Rollenmessung mit der Straßenmessung zu erwähnen, dass die Schaltqualitätsdokumentation am Rollenprüfstand gegenüber der Straße einen großen Mehrwert mit sich bringt. Es kann somit in Zukunft innovativer auf Kundenwünsche eingegangen werden und mit weiteren Denkansätzen die Methode am Rollenprüfstand verbessert werden, sodass die maximale Kundenzufriedenheit und Wettbewerbsfähigkeit in Zukunft erreicht werden kann.

Literaturverzeichnis

[AVL1]	Shift quality training, Andreas Haydl, 2014	
[AVL2]	AVL DRIVE 3.7 function description, 2015, Gearshift	Seite 159ff
[AVL-A]	Shift quality training, Andreas Haydl, 2014,	Seite 4
[AVL-B]	Shift quality training, Andreas Haydl, 2014,	Seite 7
[AVL-C]	Shift quality training, Andreas Haydl, 2014,	Seite 5
[AVL-D]	Shift quality training, Andreas Haydl, 2014,	Seite 6
[AVL-E]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7	
[AVL-F]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7	
[AVL-G]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7	
[AVL-H]	AVL-DRIVE™ Product Guide, 2011	
[AVL-I]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Standardbericht Zughochschaltungen	
[AVL-J]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Vergleichende Auswertung Zughochschaltungen	
[AVL-K]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Schubhochschaltungen	
[AVL-L]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Schubrückschaltungen	
[AVL-M]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Liste der Betriebszustände Zughochschaltungen	
[AVL-N]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Liste der betriebszustände Zugerückschaltungen	
[AVL-O]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Vergleichende Auswertung Zughochschaltungen	
[AVL-P]	AVL-DRIVE™ Report Generator 3.7, Vergleichende Auswertung Zugerückschaltungen	
[AVL-Q]	AVL-DRIVE™ Product Guide, 2011	
[CAM-A]	AVL-CAMEO™ Transmission 3.7, DoE-Wizard	
[CAM-B]	AVL-CAMEO™ Transmission 3.7, Testrun information	
[CAM-C]	AVL-CAMEO™ Standard 3.7	
[CAM-E]	AVL-CAMEO™ Transmission 3.7, Run List emit Testrun Information	
[CAM-F]	AVL-CAMEO™ Standard 3.7, Test Zughochschaltung/Zugerückschaltung	
[DRI-A]	AVL-DRIVE™ 3.7	
[DRI-B]	AVL-DRIVE™ 3.7, Messung Schubhochschaltung/Schubrückschaltung bei 5704s	
[DRI-C]	AVL-DRIVE™ 3.7, Messung Schubhochschaltung/Schubrückschaltung bei 310s	
[DRI-D]	AVL-DRIVE™ 3.7, Messung Zughochschaltung/Zugerückschaltung bei 5853s	
[DRI-E]	AVL-DRIVE™ 3.7, Messung Zughochschaltung/Zugerückschaltung bei 220s	
[ECK1]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 1,2
[ECK2]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 301
[ECK3]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 307
[ECK4]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 308
[ECK5]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 283
[ECK6]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 287ff
[ECK-A]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 4
[ECK-B]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 329
[ECK-C]	Leistungsübertragung in Fahrzeuggetrieben, Eckhard Kirchner, 2007,	Seite 308
[ELL1]	Effiziente Kalibrierung von Automatikgetriebe, Ellinger, 2005,	Seite 24ff
[ELL-A]	Effiziente Kalibrierung von Automatikgetriebe, Ellinger, 2005,	Seite 24
[FIS1]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 217
[FIS2]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 248
[FIS3]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 140ff
[FIS4]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 251
[FIS5]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 249

[FIS6]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 47
[FIS7]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 30ff
[FIS8]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 26
[FIS9]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite89ff
[FIS-A]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 140
[FIS-B]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 109
[FIS-C]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 249
[FIS-D]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite 48
[FIS-E]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite32
[FIS-F]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite90
[FIS-G]	Das Getriebebuch, Robert Fischer, 2012,	Seite91
[HEI1]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite 35
[HEI2]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite 35ff
[HEI3]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite 54ff
[HEI4]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite 465ff
[HEI5]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite84ff
[HEI6]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite 652ff
[HEI-A]	Fahrwerkhandbuch, Bernd Heiing, 2013,	Seite 653
[REI1]	Bosch Grundlagen Fahrzeug- und Motorentechnik, Konrad Reif, 2012,	Seite 10
[SIM-A]	AVL-DRIVE™ 3.7, Simulation am vereinfachten Fahrzeugsimulator	

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Drehschwingungsmodell des Antriebsstrangs [ECK-A]	2
Abbildung 2: Getriebevarianten eines Hauptgetriebes im Überblick.....	3
Abbildung 3: Querschnitt (a) und Wirkprinzip (b) eines Wandlers [FIS-A]	4
Abbildung 4: Funktionsweise des hydrodynamischen Wandlers [ECK-B]	5
Abbildung 5: Schnittdarstellung und Funktionsbild Planetenstufe [FIS-B]	6
Abbildung 6: 8-Gang Automatikgetriebe ZF Friedrichshafen AG [FIS-C]	6
Abbildung 7: Aufbau einer Lamellenkupplung [ECK-C].....	7
Abbildung 8: Grundsaltungstypen in Automatikgetrieben [FIS-D].....	9
Abbildung 9: Antriebstrangmodell eines lastschaltenden Automatikgetriebes [FIS-E].....	10
Abbildung 10: Grundsaltungstypen in Quadranten Ansicht [AVL-A].....	11
Abbildung 11: Zughochschaltung [AVL-A]	12
Abbildung 12: Zugrückschaltung [AVL-B]	12
Abbildung 13: Schubhochschaltung [AVL-C]	13
Abbildung 14: Schubrückschaltung [AVL-D]	13
Abbildung 15: Hauptgruppen der Fahrbarkeit von Kraftfahrzeugen	14
Abbildung 16: Hauptunterteilung der Fahrbarkeit in AVL-DRIVE™ [AVL-E].....	17
Abbildung 17: Vier Grundsaltungen im Betriebszustand Schalten [AVL-F].....	18
Abbildung 18: Physikalische Kriterien bei einer Zughochschaltung [AVL-G]	18
Abbildung 19: Dynamische Koppelungen zwischen Aufbau und Antriebsstrang [FIS-F]	21
Abbildung 20: Zughochschaltung bei Vollast [FIS-G]	22
Abbildung 21: Kaufentscheidende Werthaltungen nach Einschätzung der Experten [HEI-A].....	24
Abbildung 22: Objektive Bewertungsskala AVL-DRIVE™ [AVL-Q]	25
Abbildung 23: Beispiel einer DRIVE Messung [DRI-E].....	26
Abbildung 24: Einfluss physikalischer Kriterien auf Schaltungsarten von Automatikgetrieben	26
Abbildung 25: Aufbau der Bewertungsstruktur in AVL-DRIVE™ [AVL-Q]	27
Abbildung 26: Ausschnitt CAMEO Transmission Run List [CAM-E].....	28
Abbildung 27: Ausschnitt CAMEO Standard Parametrierung [CAM-F]	29
Abbildung 28: Standardbericht AVL-DRIVE™ Report Generator [AVL-I].....	30
Abbildung 29: Vergleichende Auswertung AVL-DRIVE™ Report Generator [AVL-J]	31

Abbildung 30: Schematischer Prüfstands Aufbau	33
Abbildung 31: Sensorpositionen bei herkömmlicher Schaltqualitätsbeurteilung	33
Abbildung 32: Fixierung des Fahrzeugs am Haltebock mit Kraftmessdose [ELL-A]	34
Abbildung 33: Schaltmatrix Schubhochschaltungen/Schubrückschaltungen.....	35
Abbildung 34: Schaltmatrix Zughochschaltung mit anschließender Zugerückschaltung.....	36
Abbildung 35: Theoretisch fahrbare Schubhochschaltungen/Schubrückschaltungen	36
Abbildung 36: Theoretisch fahrbare Zughochschaltungen/Zugerückschaltungen	37
Abbildung 37: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 1 [CAM-A]	38
Abbildung 38: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 2 [CAM-A]	39
Abbildung 39: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 4 [CAM-A]	39
Abbildung 40: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 5 [CAM-A]	40
Abbildung 41: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 6 [CAM-A]	40
Abbildung 42: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 7 [CAM-A]	41
Abbildung 43: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 8 [CAM-A]	41
Abbildung 44: CAMEO Transmission DoE-Wizard Schritt 9 [CAM-A]	42
Abbildung 45: Testrun information Run-List SRS [CAM-B]	43
Abbildung 46: Testrun information Run-List SRS/SHS [CAM-B]	43
Abbildung 47: Testrun information Run-List SRS/SHS reales Fahrzeug [CAM-B].....	44
Abbildung 48: Strategie Testlauf ZHS/ZRS.....	45
Abbildung 49: Ausschnitt DoE-Liste ZHS/ZRS CAMEO Standard [CAM-C].....	47
Abbildung 50: Ausschnitt Global Action Lists ZHS/ZRS CAMEO Standard [CAM-C]	47
Abbildung 51: Flowchart Testablauf ZHS/ZRS	48
Abbildung 52: Messung Simulator 1-2 ZHS/ZRS 15% Pedal [SIM-A]	49
Abbildung 53: Systemkonfigurationen AVL-CAMEO™ [CAM-C].....	51
Abbildung 54: Aktivierung Kanal Testbed Force in AVL-DRIVE™ [DRI-A].....	51
Abbildung 55: Messkonfiguration AVL-DRIVE™ [DRI-A]	52
Abbildung 56: Messdokumentation Schubhochschaltungen [AVL-K]	57
Abbildung 57: Messdokumentation Schubrückschaltungen [AVL-L]	58
Abbildung 58: Auffälligkeiten Messdokumentation SHS/SRS [AVL-K]	59
Abbildung 59: Auffälligkeiten Messdokumentation SHS/SRS [AVL-L].....	59
Abbildung 60: Schwingungsanregung Messdokumentation SHS/SRS [DRI-B].....	60
Abbildung 61: Schwingungsvergleich Straße/Rolle 3-4 Zughochschaltung.....	60

Abbildung 62: Wandlereingriff Dokumentation SHS/SRS [DRI-C].....	61
Abbildung 63: Messdokumentation Zughochschaltungen [AVL-M]	62
Abbildung 64: Messdokumentation Zugrückschaltungen [AVL-N].....	63
Abbildung 65: Auffälligkeiten Messdokumentation Zughochschaltungen [AVL-M]	64
Abbildung 66: Auffälligkeiten Messdokumentation Zugrückschaltungen [AVL-N].....	64
Abbildung 67: Schwingung Dokumentation ZHS/ZRS [DRI-D].....	65
Abbildung 68: Vergleichende Auswertung Zughochschaltung [AVL-O].....	66
Abbildung 69: Vergleichende Auswertung Zugrückschaltungen [AVL-P]	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Physikalische Kriterien bei einer Zughochschaltung [AVL2].....	19
Tabelle 2: Kanalbezeichnung INCA/CAMEO	50
Tabelle 3: Fahrzeugdaten.....	80
Tabelle 4: Rollenprüfstanddaten	81

Formelverzeichnis

F_k	Kolbenkraft	[N]
$p_{\text{Öl}}$	Dichte Öl	[kg/m ³]
A_k	Kolbenfläche	[m ²]
F_f	Federkraft	[N]
T_k	Kupplungsmoment	[Nm]
μ_c	Reibkoeffizient	dimensionslos
z_c	Lamellenanzahl	dimensionslos
r_a	Außenradius	[mm]
r_i	Innenradius	[mm]
i_{neu}	Übersetzung neuer Gang	dimensionslos
i_{alt}	Übersetzung alter Gang	dimensionslos
M_{An}	ankommendes Drehmoment	[Nm]
J_{VKM}	Trägheitsmoment Verbrennungskraftmaschine	[kgm ²]
J_{FZG}	Trägheitsmoment Fahrzeug	[kgm ²]
F	Fahrwiderstandskraft	[N]
F_L	Luftwiderstandskraft	[N]
F_R	Radwiderstandskraft	[N]
F_{ST}	Steigungswiderstandskraft	[N]
F_C	Beschleunigungswiderstandskraft	[N]
c_w	Luftwiderstandsbeiwert	dimensionslos
ρ_L	Dichte Luft	[kg/m ³]
v_L	Anströmgeschwindigkeit	[m/s ²]
$F_{R,T}$	Anteil Radwiderstandskraft Material	[N]
$F_{R,Tr}$	Anteil Radwiderstandskraft Fahrbahn	[N]
$F_{R,\alpha}$	Anteil Radwiderstandskraft Schräglauf	[N]
$F_{R,fr}$	Anteil Radwiderstandskraft Lagerreibung	[N]
p	Straßensteigung	[%]
α_{ST}	Steigungswinkel	[Grad]
$F_{Z,V,t}$	Fahrzeuggewichtskraft	[N]
$F_{C,trans}$	Translatorischer Anteil Beschleunigungswiderstandskraft	[N]
$F_{C,rot}$	Rotatorischer Anteil Beschleunigungswiderstandskraft	[N]
$m_{V,t}$	Fahrzeugmasse	[kg]
$\theta_{red,i}$	reduziertes Massenträgheitsmoment	[kgm ²]
r_{dyn}	dynamischer Radradius	[mm]
a_x	Beschleunigung	[m/s ²]

Abkürzungsverzeichnis

SHS	Schubhochschaltung
SRS	Schubrückschaltung
ZHS	Zughochschaltung
ZRS	Zugrückschaltung
DTC	Digital Transmission Calibration
US-PO	Upshift Power-On
US-PF	Upshift Power-Off
DS-PO	Downshift Power-ON
DS-PF	Downshift Power-Off
DS	Downshift
US	Upshift
AT	Automatic Transmission
AMT	Automatic manual Transmission
DCT	Double Clutch Transmission
MT	Manual Transmission
ASG	Automatisches Schaltgetriebe
CVT	Continuous variable transmission
DoE	Design of Experiment
CAN	Controller Area Network

Anhang

Anhang A: Daten Versuchsfahrzeug.....80

Anhang B: Daten des Rollenprüfstandes81

Anhang A: Daten Versuchsfahrzeug

Tabelle 3: Fahrzeugdaten

Fahrzeug	-
Max. Leistung	330 kW
Drehzahl bei max. Leistung	5500 U/min
Max. Drehmoment	650 Nm
Drehzahl bei max. Drehmoment	2000 U/min
Hubraum	4,395dm ³
Zylinder	8
Abregeldrehzahl	6500 U/min
Leergewicht	2250 kg
Reifenradius	0,36m
Stirnfläche	2,7m ²
Cw Wert	0,35
A0	286,6
B0	0,66
C0	0,044
Übersetzung Gang 1	5,5
Übersetzung Gang 2	3,47
Übersetzung Gang 3	2,2
Übersetzung Gang 4	1,74
Übersetzung Gang 5	1,33
Übersetzung Gang 6	1
Übersetzung Gang 7	0,82
Übersetzung Gang 8	0,63
Differential Übersetzung	3,15

Anhang B: Daten des Rollenprüfstandes

Tabelle 4: Rollenprüfstanddaten

Hersteller	-
Gesamtleistung	4 x 285 kW
Fahrgeschwindigkeit	300 km/h
Zugkraft	4 x 10000N
Maximale Beschleunigung	8m/s ²
Maximales Fahrzeuggesamtgewicht	5000kg
Elektronische Fahrzeugmassensimulation	800kg-5000kg
Rollendurchmesser	1000mm
Rollenbreite	680mm
Abstand zwischen Rollen	900mm
Radstand einstellbar	2000mm-3700mm
Prüfstandgesamtgewicht	245t
Fundamentabstimmung	2,5Hz
Elektrische Einspeisung	900kVA