

Masterarbeit

**Nutzraumanalyse basierend auf der
multivariaten Methode der
Hauptkomponentenanalyse zur
Absicherung von
OBD-Diagnoseergebnissen im Feld**

Georg Madler

Institut für Elektrische Messtechnik
Technische Universität Graz
Vorstand: O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Georg Brasseur



Begutachter: Assoc.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Hubert Zangl
Betreuer TU Graz: Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Bretterklieber
Betreuer AVL: Dipl.-Ing. Markus Riener
Graz, im November 2012

Kurzfassung

Der Gesetzgeber schreibt eine permanente Diagnose abgasrelevanter Systeme durch die Motorsteuerung vor. Diese muss entsprechend angepasst werden, um Überschreitungen von Abgasgrenzwerten im Betrieb zu erkennen. Dazu muss während der Entwicklung die Motorsteuerung im Rahmen der Bedatung an die benutzte Hardware angepasst werden. Gewählte Parameter müssen mit Hilfe von Testzyklen abgesichert werden. Existierende Testzyklen sind synthetisch und spiegeln das wahre Fahrverhalten im Verkehr schlecht wider. Basierend auf einer Messdatensammlung mit annähernd 11000 Messungen für vier Fahrzeugvarianten wird im Rahmen der Nutzraumanalyse dieses Verhalten analysiert. Um der Herausforderung der Verarbeitung einer derart großen Datenmenge systematisch begegnen zu können, werden umfangreiche Filterungen der Daten durchgeführt. Zur Komplexitätsverringerung der Messdaten werden das multivariate Verfahren der Hauptkomponenten-Analyse sowie das Verfahren der Clusteranalyse zur Identifikation repräsentativer Fahrten aus der Messdatensammlung eingesetzt. Auf diesen Repräsentanten aufbauend erfolgt eine Zyklussynthese zur Erzeugung realitätsnaher Testzyklen mit dem Ziel, den Diagnoseraum möglichst gut abzudecken. Eine abschließende Verifikation durch Nachfahren der Zyklen dient der Überprüfung der Ergebnisse und zeigt die Aktivierung der Diagnosen.

Abstract

The legislature prescribes a permanent diagnosis of emission-related systems carried out by the engine control unit. This ECU has to be adapted according to the task to detect exceedances of set emission limits. Therefore the ECU has to be parameterized to be adapted to the used hardware. Chosen parameters have to be hedged using test cycles. Existing cycles are synthetic and do not reflect real driving behaviour well. Based on a collection of data with approximately 11000 measurements for four vehicle types this behaviour is analyzed during the phase of usage space analysis. Extensive filtering has to be carried out to meet the challenge of processing such a large amount of data. Reduction of complexity of measurement data is carried out using the multivariate analysis of principal components, followed by a cluster analysis to identify representative cycles in the measurement data. Based on these representatives a test cycle synthesis is applied with the aim to cover the diagnostic space as well as possible. A final verification of these test cycles is carried out to prove activations of the diagnoses.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

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

Graz, am

.....
(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

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

.....
date

.....
(signature)

Danksagung

Diese Masterarbeit wurde im Jahr 2012 für die Firma AVL LIST GmbH in der Abteilung DGS - Calibration Gasoline Engines durchgeführt. Großer Dank gebührt Herrn Dipl.-Ing. Helmut Jansen in seiner Position als Fachteam-Leiter, der mir die Masterarbeit anbot und somit den Einblick in das Fachgebiet der Applikation ermöglichte.

Weiterer Dank gilt meinem Masterarbeitsbetreuer Herrn Dipl.-Ing. Markus Riener, Lead Engineer im Bereich Onboard Diagnose, der mich während der Arbeit führte, für alle Fragen zur Verfügung stand und mich in meinem Tun jederzeit unterstützte.

Darüber hinaus geht weiterer Dank an die gesamte Abteilung DGS der AVL LIST GmbH in der mir jeder neben dem fordernden Tagesgeschäft bei Bedarf umfangreiche Unterstützung zukommen ließ.

Betreut wurde die Arbeit am Institut für Elektrische Messtechnik der Technischen Universität Graz. Großer Dank gilt dem Institutsvorstand Herrn Univ.Prof. Dr. Georg Brasseur der die Arbeit bewilligte sowie meinen Betreuern Herrn Assoc.Prof. Dr. Hubert Zangl und Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Thomas Bretterklieber.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und meiner Freundin bedanken, die mich während meines Studiums unterstützten.

Graz, im November 2012

Georg Madler

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Die gesetzliche Onboard-Diagnose	1
1.2	Einfluss der Motorsteuerung	6
1.3	Motivation	6
1.4	Zielsetzung	8
1.5	Aktueller Stand der Technik	9
2	Darstellung der Methodik	11
3	Durchführung der Nutzraum-Analyse	14
3.1	Erstellung des Nutzerprofils	14
3.1.1	Ergebnisse der Messdaten-Analyse - Das Nutzer-Profil	15
4	Analyse der Diagnosen	20
5	Reduktion der relevanten Parameter	29
5.1	Multivariates Verfahren der Hauptkomponenten-Analyse	29
5.2	Analyse der zeitbasierten Größen	31
5.2.1	Durchführung	32
5.2.2	Ergebnisse	32
5.3	Analyse charakteristischer Größen	33
5.3.1	Durchführung	34
5.3.2	Ergebnisse der Hauptkomponenten-Analyse	34
6	Durchführung der Cluster-Analyse	37
6.1	Mathematische Grundlagen	37
6.2	Durchführung	39
6.3	Ergebnisse	39
7	Synthese der Fahrzyklen	42
7.1	Grundlagen	42
7.1.1	Diskrete Markov-Ketten	42
7.1.2	Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix	43
7.1.3	Ermittlung des nächsten Zustands	44
7.2	Durchführung	45
7.3	Ergebnisse	46

8	Verifikation	49
8.1	Vorbereitung der Mess-Software	49
8.2	Durchführung der Messungen	51
8.3	Ergebnisse	51
9	Zusammenfassung	58
A	Randbedingungen der Arbeit	59
B	Vorverarbeitung der Messdaten	61
B.1	Sammeln der Messdaten	61
B.2	Filtern der Messdaten	61
B.3	Qualität der Messdaten	63
C	Abbildungen	64
C.1	Ergebnisse der Nutzraum-Analyse	64
C.1.1	Variante „Handscharter mit Turbolader“	64
C.1.2	Variante „Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader“	67
C.1.3	Variante „Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader“	70
C.2	Ergebnisse der Analyse zeitbasierter Größen	74
C.3	Ergebnisse der Analyse charakteristischer Größen	75
D	Ergebnisse der Cluster-Analyse	78
E	Ergebnisse der Zyklus-Synthese	81
	Literaturverzeichnis	87

Kapitel 1

Einleitung

Die Onboard Diagnose (OBD) ist ein System zur Überwachung von Bauteilen oder funktionalen Systemen, die im Fehlerfall zu einer Erhöhung der Abgase eines Kraftfahrzeuges führen. Sie wird von der Electronic Control Unit (ECU), der elektronischen Motorsteuerung, ausgeführt und soll bei Überschreiten von gesetzlich festgelegten Grenzwerten den Fahrer zur Behebung des Fehlers auffordern. Um dieses Ziel zu erreichen, muss die Motorsteuerung an den jeweils eingesetzten Verbrennungsmotor angepasst werden, d.h. es müssen Kennwerte in der Software der Steuerung festgelegt werden. Zur Überprüfung der gewählten Kennwerte werden einerseits Testzyklen, die ein Geschwindigkeitsprofil vorgeben [1], nachgefahren und die Emissionen gemessen sowie andererseits Dauerläufe mit variablen zufälligen Fahrzyklen durchgeführt. Die vorgestellte Arbeit zeigt die Methodik und Durchführung der Entwicklung von Testzyklen mit dem Ziel, das Endkundenfahrverhalten sowie den Diagnosefunktions-Umfang der Motorsteuerung möglichst gut abzudecken.

1.1 Die gesetzliche Onboard-Diagnose

Ihren Ursprung hat die Onboard Diagnose Mitte der 1960er-Jahre in Kalifornien. Damals wurden auf Grund der klimatischen und geographischen Beckenlage Kaliforniens die ersten Abgasgrenzwerte zur Entlastung der smoganfälligen Region erlassen. Zum Nachweis der Einhaltung dieser Grenzwerte genügte die Einhaltung dieser Grenzen während einer einmaligen Prüfung im Rahmen der Erstzulassung, weitere Überprüfungen waren nicht vorgesehen. Die Einführung von Abgasreinigungssystemen führte zu einer starken Reduktion der Abgasemissionen, gleichzeitig stieg der Anteil an emittierten Kohlenwasserstoffen von Fahrzeugen mit defektem Abgasreinigungssystem auf über 60 Prozent. 1988 forderte die Californian Air Resources Board (CARB) daher die Einführung technischer Systeme zur selbstständigen, permanenten Überwachung abgasrelevanter Systeme und fasst die Anforderungen unter dem Begriff OBD-I zusammen [2]. Gefordert wurde [3]:

- Erkennung von elektrischen Defekten emissionsrelevanter Bauteile ohne einen Bezug zu den tatsächlichen Emissionen herzustellen.
- Speichern des Fehlers sowie Auslesen des Fehlers über eingebaute Mittel (z.B. Blink-Codes).

- Diagnose-Lampe (Malfunction Indicator Lamp, MIL) um den Fahrer über den Fehler zu informieren.

1994 wurde von der CARB OBD-II als Weiterentwicklung eingeführt und schreibt folgende Aufgaben vor:

- Erkennen von Defekten emissionsrelevanter Bauteile, wenn deren Defekt zu einem Überschreiten der Emissionsgrenzwerte führt.
- Speichern des Fehlers sowie der relevanten Systemgrößen bei Eintreten des Fehlers.
- Auslesen der Fehlercodes über standardisierte Hard- und Software-Schnittstellen.
- Überwachung der Häufigkeit, mit der einzelne Diagnosen die Funktionalität prüfen.

In Europa wurde im Jahr 2000 die Europäische OBD (EOBD) eingeführt, sie entspricht im Wesentlichen der OBD-II und sieht im Hinblick auf die Grenzwerte unterschiedliche Abstufungen vor (EURO 1 - EURO 7), die je nach Erstzulassungsjahr eines KFZ zu erfüllen sind. Zwingend vorgeschrieben werden die Überwachung der folgenden Komponenten [3]:

- Katalysator
- Zündaussetzer-Erkennung
- λ -Sonden
- Alle weiteren Komponenten, deren Defekt ein Überschreiten der Grenzwerte zur Folge hat.

Eine weitere Verschärfung der Richtlinien wurde mit dem „In Use Monitoring Performance Ratio“ (IUPR) eingeführt. Das IUPR ist ein Maß für die Häufigkeit der Durchführung einer Diagnose und wird aus folgendem Verhältnis gebildet:

$$IUPR = \frac{\text{Anzahl der Situationen bei denen ein Fehler erkannt hätte werden können}}{\text{Anzahl der Fahrzyklen}}$$

Der Zähler wird inkrementiert, wenn die Diagnose angeschlossen wurde und ein möglicher Fehler erkennbar gewesen wäre. Der Nenner wird erhöht, wenn ein Zyklus mit folgenden Bedingungen gefahren wurde:

- Fahrzeit ≥ 600 Sekunden.
- Geschwindigkeit ≥ 40.2 km/h für mehr als 300 Sekunden in Summe.
- Umgebungstemperatur ≥ -6.7 °C.
- Höhe ≤ 2438 m.
- Leerlaufanteil ≥ 30 Sekunden zusammenhängend.

Schadstoff	Entstehung	Wirkung
Kohlenmonoxid (CO)	bei unvollständiger Verbrennung (in Folge von Luftmangel, Inhomogenitäten), hauptsächlich bei fettem Gemisch.	Farb- und geruchlos, verhindert O_2 -Aufnahme im Blut und führt zu Vergiftung.
Kohlenwasserstoffe (HC)	Unverbrannte Kraftstoffreste.	Geruchlos oder geruchlich wahrnehmbar. Krebserregend bei Dauereinwirkung.
Stickoxide (NO_x)	Bei Verbrennung mit Luftüberschuss in Zusammenhang mit Stickstoff aus Luft. Hauptsächlich bei Dieselkraftstoff.	Farb- und geruchlos, reizend.
Partikel	Bei unvollständiger Verbrennung durch Aneinanderkettung von Kohlenstoffteilchen	Lungengängig und krebserregend

Tabelle 1.1: Überwachte Schadstoffe, diese machen rund ein Prozent der gesamten Abgasmenge aus. Partikel sind hauptsächlich bei Dieselmotoren problematisch, bei Ottomotoren bisher vernachlässigt, ab Jahr 2014 ebenfalls reglementiert [3].

Tabelle 1.1 führt jene Schadstoffe auf, deren Emission überwacht werden muss, zusammen mit ihrer Entstehung und ihren Auswirkungen auf den menschlichen Organismus. Die Einhaltung der Emissionsgrenzen wird in den USA von der Environmental Protection Agency (EPA) sowie der CARB, in der EU direkt vom Gesetzgeber bei der Erstzulassung geprüft. Dabei kommen spezielle vorgegebene Fahrzyklen zum Einsatz, ein solcher Fahrzyklus beschreibt ein definiertes Geschwindigkeitsprofil über der Zeitachse. Abbildung 1.1 und Abbildung 1.2 zeigen zwei typische Fahrzyklen, den New European Drive Cycle (NEDC) der in der EU benutzt wird, sowie die Federal Test Procedure 75 (FTP-75), die in den USA benutzt wird. Abbildung 1.3 zeigt die von der EU mit dem Ziel der besseren Abbildung realer Fahrsituationen neu entwickelten Artemis-Zyklen, die jedoch noch nicht bei Erstzulassung geprüft werden. Tabelle 1.2 zeigt einige Kenngrößen der erwähnten Fahrzyklen.

Die eigentlichen Überprüfungen auf Einhaltung der Emissionsgrenzen finden während der Typprüfung, bei stichprobenartigen Kontrollen während der Fertigung sowie im Rahmen von Feldüberwachungen statt. Die erwähnten Fahrzyklen müssen im Rahmen der Typprüfung auf einem Rollenprüfstand nachgefahren werden, dabei werden Abgase im Rahmen eines Constant Volume Sampling-Verdünnungsverfahrens in Beuteln gesammelt und im Anschluss analysiert. Die stichprobenartigen Kontrollen werden von den Herstellern durchgeführt, dabei kommen die gleichen Verfahren zum Einsatz wie bei der Typprüfung. Im Rahmen von Feldüberwachungen werden im Betrieb befindliche Fahrzeuge anhand von Laufleistung und Alter ausgewählt und überprüft.

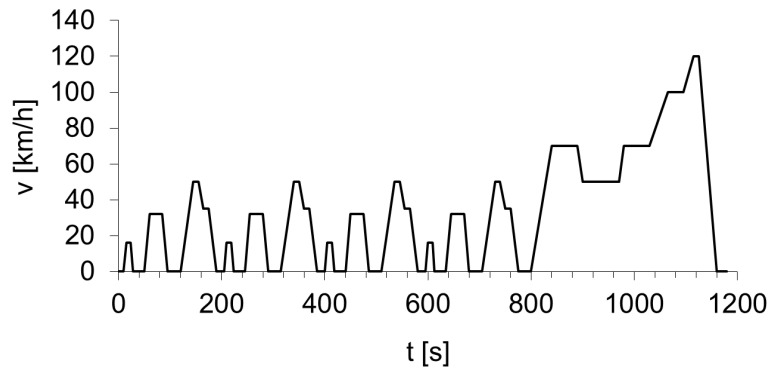


Abbildung 1.1: Der NEDC besteht aus zwei Phasen, einer innerstädtischen in den ersten 800 Sekunden und einer außerstädtischen in den letzten 400 Sekunden [4].

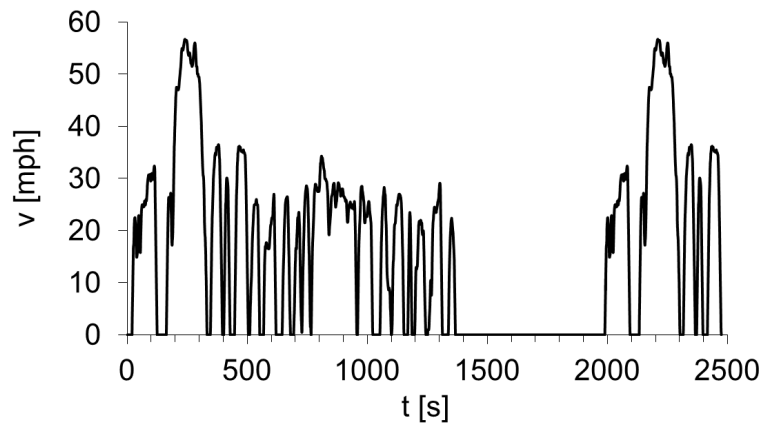


Abbildung 1.2: Der FTP-75-Zyklus ist dem Fahrverhalten in Los Angeles während des Berufsverkehrs nachempfunden, er ist die Abbildung einer speziellen, gemessenen Fahrt. Er besteht aus drei Phasen, einer Kalttest-Phase mit einer Dauer von 505 Sekunden, einer 867 Sekunden dauernden „stabilisierten“ Phase gefolgt von 600 Sekunden Motor aus und anschließend 595 Sekunden Heißphase [4].

Zyklus	t [s]	s [km]	v_{\ominus} [km/h]	v_{\max} [km/h]
NEDC	1180	11	33,6	120
FTP75	2477	11,87	34,1	91,2
ARTEMIS Städtisch	920	4,47	17,5	
ARTEMIS Überland	1081	17,27	57,5	
ARTEMIS Autobahn	1067	29,55	99,7	

Tabelle 1.2: Kenngrößen der häufig verwendeten Testzyklen NEDC und FTP75 [4] sowie ARTEMIS [5].

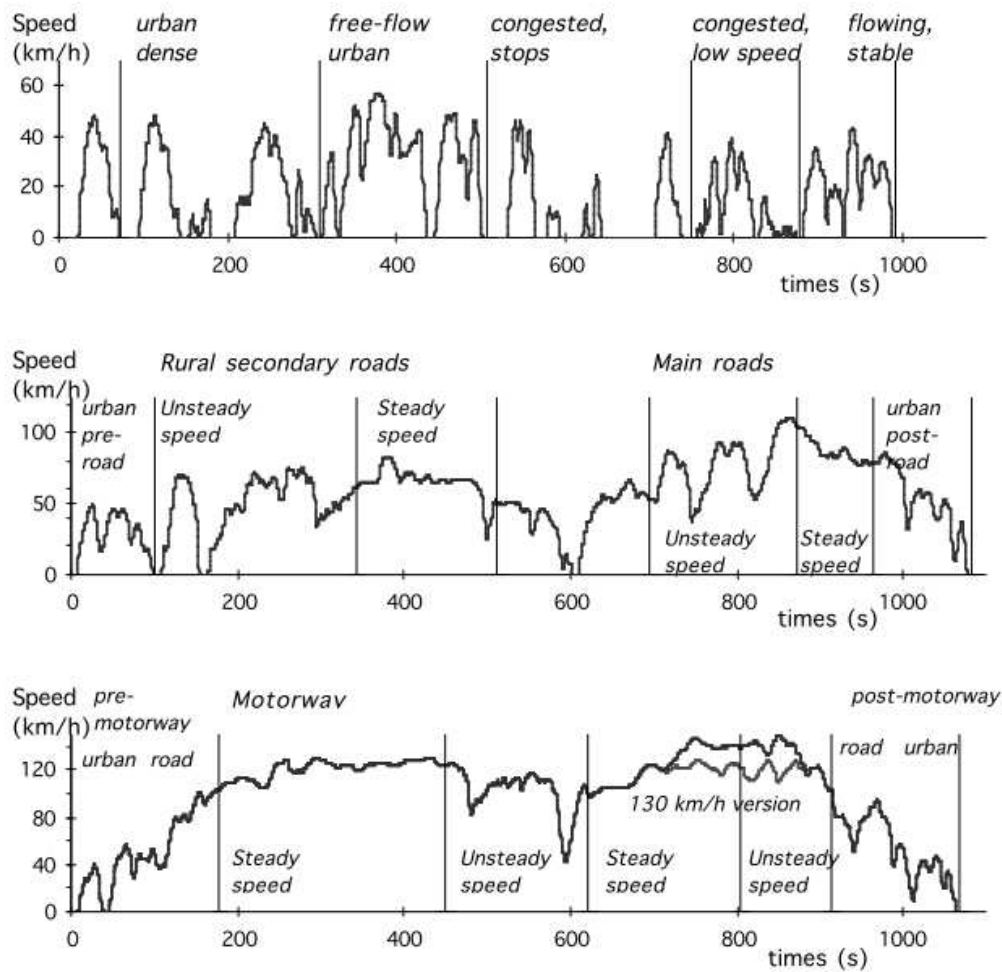


Abbildung 1.3: Die ARTEMIS-Zyklen wurden im Auftrag der EU entwickelt und sollen das reale Fahrverhalten besser abbilden. Sie bestehen aus drei Testzyklen die eine städtische Fahrt mit entsprechenden Beschleunigungen nachbilden, einem Überlandzyklus sowie einem Autobahnzyklus [5].

1.2 Einfluss der Motorsteuerung

Die Motorsteuerung hat neben der benutzten Hardware einen maßgeblichen Einfluss auf die Emissionen eines Fahrzeuges. Ihre Software wird im Rahmen der Applikation mit bis zu 30000 Fixwerten (z.B. Temperaturschwellen) sowie Kennlinien (z.B. temperaturabhängige Drehzahlschwellen) und Kennfeldern (z.B. Zündwinkelkennfelder) bedatet [3]. Die Applikation unterteilt sich in die vier Hauptbereiche Basis (grundlegende Motorsteuerung), Emission, Fahrbarkeit und die Onboard Diagnose. Basis, Emission und Fahrbarkeit erfüllen folgende Aufgaben:

- Abstimmung der Luft- bzw. Treibstoffzufuhr.
- Bauteileschutz.
- Thermodynamische Optimierung.
- Abstimmung des Startvorganges.
- Wärmemanagement, Katalysator-Heizen.
- Lambda-Regelung.
- Abstimmung der gesamten Fahrzeugcharakteristik.
- Ladedruckregelung.

Die Onboard Diagnose hingegen dient ausschließlich der Überprüfung auf Einhaltung der Emissionsgrenzwerte. Aufgrund ihrer Wichtigkeit zur Sicherstellung der Grenzwerteinhalten nimmt der Aufwand der Entwicklung der Onboard-Diagnose-Funktionen ca. 30 Prozent der gesamten Motorsteuerungs-Anpassung ein. Durch geeignete Wahl der Parameter werden die Einschaltbedingungen definiert, die zur Durchführung einer Diagnose notwendig sind. Weiters bestimmen die Parameter maßgeblich die Empfindlichkeit einer Diagnose, d.h. unter welchen Betriebszuständen die Emissionen als abgasschädigend erkannt werden und die MIL aktiviert wird. Entsprechend sorgfältig müssen die Werte gewählt werden. Zu frühes Aktivieren führt zur Meldung von Fehlern die nicht vorhanden sind (Kunden werden verunsichert), zu spätes Aktivieren (MIL nicht aktiviert obwohl ein emissionsverschlechternder Fehler vorliegt) bewirkt im Falle einer Überprüfung eventuell einen Rückruf. Abbildung 1.4 zeigt unterschiedliche MIL-Aktivierungsstrategien.

1.3 Motivation

Während der Typprüfung werden speziell zur Überprüfung der Onboard Diagnose-Funktionen defekte Komponenten eingebaut bzw. Defekte mittels präparierter Bauteile simuliert. Diese Veränderung am Fahrzeug stellt ein Überschreiten der OBD-Emissionsgrenzwerte um nicht mehr als 20 Prozent sicher. Ein fehlerfrei arbeitendes Diagnose-System muss diese Überschreitung während der Typprüfung erkennen und mit Hilfe der MIL melden [7]. Ist das Diagnose-System nicht in der Lage, den Fehler zu erkennen wird dem Fahrzeug die Typzulassung nicht erteilt, der Hersteller muss in diesem Fall nachbessern und die Typprüfung erneut durchführen lassen.

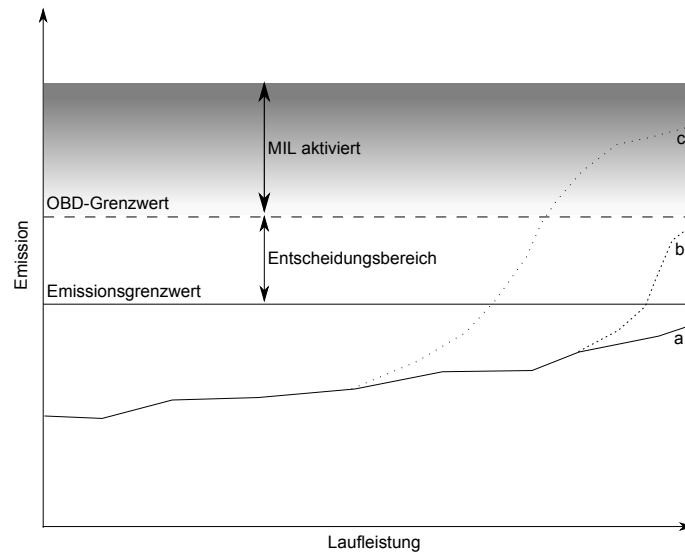


Abbildung 1.4: Unterschiedliche Strategien zur Aktivierung der MIL. Die Verläufe (a),(b) und (c) zeigen unterschiedliche Emissionsanstiege durch Alterung. Zum Ende der Laufleistung hin zeigt Kurve (a) einen Verlauf ohne Überschreitung der Grenzwerte, Kurve (c) ein deutliches Übersteigen der Grenzen - entsprechend darf kein Fehler bzw. muss ein Fehler gemeldet werden. Kurve (b) zeigt einen Verlauf im Entscheidungsbereich, ein Fehler kann, muss jedoch nicht gemeldet werden [6].

Weitere Überprüfungen können bei bereits im Einsatz befindlichen Fahrzeugen stattfinden. Auf diesem Weg will der Gesetzgeber sicherstellen, dass die Grenzwerte auch bei entsprechend gealterten Fahrzeugen bzw. Komponenten eingehalten werden bzw. die Diagnosefunktionen wie vorgeschrieben funktionieren. Wird hierbei ein Fehlverhalten einer Diagnosefunktion festgestellt, die eine Aktivierung der MIL verhindert bzw. zu spät auslöst, kann der Hersteller zu einem Rückruf verpflichtet werden [3]. Ein solcher Rückruf ist für einen Hersteller mit hohen finanziellen Einbußen sowie mit einer Schädigung des Ansehens verbunden [8].

Dementsprechend aufwändig und zeitintensiv ist die Überprüfung der Diagnose-Funktionen, sie wird typischerweise durch einzelne Testfahrten, Überprüfungen auf Rollenprüfständen, durch Hardware in the Loop (HiL)-Tests sowie durch verschiedene Erprobungen wie z.B. Hitze/Kälte-Erprobungen und Höhenerprobungen sichergestellt [3]. Dabei werden die Tests von Applikateuren gefahren, die ihre jeweilige Erfahrung und persönlichen Fahrstil haben. Die benutzten Testzyklen sind zumeist sehr synthetisch und spiegeln das reale Fahrverhalten von Endkunden nur schlecht wider. Die Folge sind Lücken in der Überprüfung der Diagnosen, unter anderem weil manche Diagnosen nur in bestimmten Betriebszuständen aktiv sind bzw. abhängig vom vorhergehenden Betriebsverlauf unter Umständen andere Ergebnisse liefern. Hinzu kommen eine steigende Komplexität der Motorsteuerungen sowie der benutzten Hardware, verbunden mit neuen Diagnosefunktionen. Gleichzeitig steigt die Anzahl der zu entwickelnden Fahrzeugvarianten, jede mit zumindest teilweise unterschiedlicher Bedatung und zusätzlichen Diagnosefunktionen. Hinzu kommen steigender Zeit- und Kostendruck, mit dem sich Hersteller und Entwicklungsfir-

frontiert sehen.

Diese Umstände führen zum Wunsch nach optimierten Testverfahren, die folgende Eigenschaften vereinen sollen:

- Reduzierte Entwicklungsdauer durch Verringerung der Entwicklungs/Test-Iterationen.
- Reduzierter Entwicklungsaufwand durch gezielte Nutzung der Ressourcen von z.B. Prototypen.
- Daraus resultierend: geringere Kosten

Gleichzeitig soll dabei Folgendes erreicht werden:

- Gleichbleibende oder gesteigerte Qualität
- Verbesserte Absicherung

1.4 Zielsetzung

Als Hauptziele können die Reduktion der Entwicklungskosten sowie eine Steigerung der Absicherungsqualität identifiziert werden. Zur Erreichung dieser Hauptziele sind sowohl eine Reduktion der Entwicklungsdauer und des Entwicklungsaufwandes sowie eine Methode zur Steigerung der Qualität der Absicherung notwendig. Dazu ist es erforderlich, möglichst genaue Kenntnis über das reale Fahrverhalten von Kunden zu erlangen. Diese Information soll eine Nutzraum-Analyse liefern, die Aufschluss über angefahrene Betriebspunkte sowie dabei vorkommende Dynamiken bietet.

Die so gewonnene Information soll genutzt werden um die Absicherungsqualität von Diagnose-Ergebnissen der OBD-Software einer ECU zu verbessern. Dazu ist es notwendig, durch Analyse der OBD-Software der ECU den Diagnoseräum zu bestimmen, d.h. jene Bedingungen zu identifizieren, bei denen die einzelnen Diagnosen aktiv sind. Im speziellen sind jene Bereiche des Diagnoseräums zu selektieren, bei denen die Stabilität des Diagnose-Ergebnisses abnimmt, d.h. falsche Ergebnisse geliefert werden oder das IUPR verschlechtert wird. Aus diesen Informationen soll Kenntnis über speziell zu prüfende Betriebsbereiche gewonnen werden.

Zur Überprüfung dieser Betriebsbereiche sollen Testzyklen synthetisiert werden, die folgende Eigenschaften besitzen:

- Testzyklen umfassen jene Betriebsbereiche, in denen die vorgegebenen Diagnosen aktiv sind, das heißt, die Einschaltbedingungen erfüllt sind.
- Eigene Testzyklen für innerstädtischen Betrieb, Überlandbetrieb sowie Autobahnbetrieb.
- Dauer bzw. Distanz der Testzyklen kann vorgegeben werden.
- Die Zyklen basieren auf dem Fahrverhalten realer Kunden.
- Die Zyklen enthalten keine Dynamiken oder Betriebspunkte, die in der Realität nicht vorkommen oder von realen KFZ nicht gefahren werden können.

Eine möglichst geringe Anzahl an Wiederholungen von Fahrten basierend auf diesen Testzyklen soll sicherstellen, dass alle Diagnosen ausreichend getestet werden. Zur Verifikation der erstellten Zyklen sollen die Ergebnisse im realen Fahrbetrieb oder mit Hilfe von HiL getestet werden. Somit soll gezeigt werden, dass die betrachteten Diagnosen bei Nachfahren der Testzyklen aktiviert werden.

1.5 Aktueller Stand der Technik

Allgemein eingesetzte Methoden zur Qualitätssteigerung bzw. Absicherung sind z.B. die Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) wie von Shridhar in [9] vorgestellt. Diese ist jedoch nicht in der Lage, ein zuverlässiges Endprodukt zu garantieren [10]. Hierbei wird eine generelle Analyse von Fehlerzuständen, deren Entstehung und beitragende Parameter bzw. Komponenten durchgeführt. Ziel ist es, sich nachfolgend auf die identifizierten Fehlerzustände (in Abhängigkeit einer vergebenen Priorität) zu konzentrieren. Im Idealfall wird von der FMEA jeder mögliche Fehlerfall berücksichtigt, in der Praxis ist sie jedoch stark abhängig von der Erfahrung der erstellenden Mitarbeiter.

Eine alternative Methode zur Reduktion von Aufwand und Material ist die Methode von Hardware in the Loop (HiL). Dabei wird eine ECU an ein Computersystem angeschlossen, der Computer simuliert die Systeme des KFZ, berechnet Systemgrößen und stellt der ECU benötigte Eingangssignale zur Verfügung, die Ausgangssignale werden entsprechend analysiert. Die Anwendung dieser Methode wird z.B. von Boost in [11] diskutiert.

Aktuell eingesetzte Testzyklen variieren nach Erstzulassungsort des Fahrzeugs und können unterteilt werden in rein synthetische Zyklen mit konstanten Beschleunigungen und Geschwindigkeiten (z.B. der europäische NEDC) sowie in repräsentative reale Fahrten (z.B. die FTP-75 sowie der SC03- und US06-Zyklus) [3]. Eine Zwischenvariante bilden aus realen Fahrzyklen abgeleitete Testzyklen. Das von der EU geförderte ARTEMIS-Projekt aus [5] basiert auf einer umfangreichen Sammlung von Fahrzyklen und zeigt eine solche Entwicklung von Fahrzyklen sowohl für städtischen, Überland- als auch Autobahnbetrieb. Dabei werden Eigenschaften wie Dynamik und generelles Fahrverhalten der originalen Fahrten beibehalten, das Vorgeben anderer Parameter wie z.B. Distanz, Anzahl an Stopps usw. kann jedoch erfolgen.

Die Anwendung der Nutzraum-Analyse im Rahmen des firmeneigenen AVL Load Matrix Prozesses wird von Schauer [12] gezeigt. Weitere Anwendung findet die Nutzraum-analyse bei Denkmayr [13] im Rahmen eines Konzeptes zur Zuverlässigkeitsabsicherung im Bereich von Fahrzeugsystemen. Unter dieser Analyse versteht man die Unterteilung von Betriebsbereichen in Schwerpunkte sowie Randbereiche die im normalen Fahrbetrieb erreicht werden. Je nach Zielsetzung erfolgt eine Konzentration auf diese Schwerpunkte oder Randbereiche, gegebenenfalls auf eine Kombination beider Bereichsarten.

Lineare Hauptkomponenten-Analyse als Methode zur Dimensionsreduktion für die Fehlererkennung durch eine Motorsteuerung wird sowohl von Hanwu [14] als auch von Routray [15] und von Fu [16] sowie Dai [17] zur Analyse von Fahrzyklen vorgestellt. Die nichtlineare

Hauptkomponenten-Analyse wird bei McDowell [18] sowie bei Antory [19] Wang [20] und in der Anwendung zur Fehlerdiagnose von Verbrennungsmotoren benutzt.

Die Cluster-Analyse als Methode zur Identifikation von verwandten Daten im Automobilbereich wird allgemein von Routray in [15] sowie von Mengliang im speziellen zur Analyse von Fahrzyklen in [21] vorgestellt.

Bei Chrenko [22] wird die Synthese von Fahrzyklen basierend auf Normalverteilung von im ARTEMIS-Projekt [5] gesammelten Fahrdaten beschrieben. Weitere Methoden zur Synthese werden vorgestellt von Liu et al. [1], von Jiang et al. [23] basierend auf der Erstellung von Übergangsmatrizen angewendet auf Mikrozyklen, von Lee et al. [24] basierend auf Betriebspunkten mit Hilfe von Markov-Ketten.

Kapitel 2

Darstellung der Methodik

Um die geforderten Testzyklen generieren zu können, war es notwendig, eine Methodik zu entwickeln, die ausgehend von Messdaten Testzyklen mit geforderten Eigenschaften generieren kann. Die gewählte Methodik soll anhand Abbildung 2.1 erläutert werden. Die einzelnen Teilschritte werden im Folgenden erläutert.

Definition der Randbedingungen:

Hierbei sollen generelle Beschränkungen und Umstände vor Beginn der eigentlichen Arbeit definiert werden. Wesentlich sind die Herkunft und Definition des Datenformats der Messdaten sowie die Einschränkung der zu behandelnden Diagnosen. Kriterium für die Auswahl der Diagnosen ist der zeitliche Aufwand bzw. die Komplexität der Überprüfung der entsprechenden Diagnose bei bisherigen Absicherungen. Bei der Herkunft der Daten muss darauf geachtet werden, eine genügend große Menge an Messdaten zur Verfügung zu haben. Zusätzlich werden die zu benutzenden Softwarepakete festgelegt.

Vorverarbeitung der Messdaten:

Die Vorverarbeitung der Messdaten soll in erster Linie eine Vereinheitlichung der Daten bewirken und fehlerhafte sowie unplausible Messungen aus der Datenbasis entfernen. Die Vereinheitlichung der Messdaten ist notwendig, da Messgrößen bei unterschiedlichen Messungen verschieden benannt sein können und darüber hinaus die Abstraten der Größen variieren können.

Erstellung der Nutzerprofils:

Um grundlegende Kenntnisse über das Nutzungsverhalten der KFZ zu erlangen, wird eine Nutzraumanalyse durchgeführt. Dazu werden aus den Messdaten geeignete, abgeleitete statistische Größen bestimmt, um die Charakteristik eines Fahrzyklus beschreiben zu können. Die berechneten Größen werden anschließend graphisch als Punktwolken dargestellt und Schwerpunkte identifiziert, um Informationen über den Leistungsbedarf, Geschwindigkeiten und Einsatzbereich der Fahrzeuge zu erlangen.

Untersuchung von Diagnosefunktionen:

Die Untersuchung der Diagnosefunktionen soll zeigen unter welchen Bedingungen die Diagnosen aktiv sind. Bedingungen unter denen die Diagnose-Ergebnisse instabil sind werden basierend auf Erfahrung identifiziert. Dazu werden die einzelnen Diagnosefunktionen anhand der Dokumentation der Motorsteuerung analysiert.

Eingangsgrößen werden nach Wichtigkeit für das Diagnoseergebnis klassifiziert und konkrete Werte für Schwellen und Grenzen aus der Steuerungssoftware ermittelt. Die gewonnenen Informationen werden anschließend in Form einer FMEA aufbereitet. Die Bestimmung wann eine Diagnose aktiv ist erfolgt mit Hilfe eines Matlab-Modells, das alle Systemgrößen verarbeitet und einen Vektor mit den Diagnose-Aktivierungen zurück gibt.

Parameter-Reduktion:

Die Reduktion der notwendigen Parameter zur Beschreibung des momentanen Fahrzeugzustandes soll nachfolgende Schritte vereinfachen. Dazu können die zeitbasierten Messgrößen selbst, oder davon abgeleitete Größen, mit Hilfe der Hauptkomponenten-Analyse untersucht werden. Die Analyse der zeitbasierten Werte hat den Vorteil, dass der komplette zeitliche Verlauf einer Fahrt erhalten wird. Die Analyse abgeleiteter Größen kann nur eine generelle Charakteristik einer Fahrt abbilden. Die Anzahl der notwendigen Parameter zur Beschreibung des Fahrzyklus wird anhand von Pareto- oder Scree-Plots bestimmt. Lassen sich die Parameter bei Untersuchung der zeitbasierten Größen nicht auf maximal drei Parameter reduzieren wird versucht eine entsprechende Reduktion bei Analyse der abgeleiteten Größen zu erreichen. Anschließend werden die Fahrzyklen mit Hilfe der ermittelten Hauptkomponenten im Hauptkomponenten-Raum dargestellt.

Cluster-Analyse:

Die Cluster-Analyse dient der Auswahl repräsentativer Bereiche bzw. Fahrzyklen aus den Messdaten. Dazu werden die Fahrzyklen im Hauptkomponenten-Raum mit Hilfe des Struktur-entdeckenden Verfahrens „Partitionierung um Medoide“ analysiert. Dieses Verfahren beruht auf der Vorgabe einer fixen Anzahl an Clustern. Diese Anzahl wird mit Hilfe der Silhouetten-Breite (ein Maß wie „gut“ Objekte innerhalb eines Clusters liegen) im Vorhinein bestimmt. Für jeden identifizierten Cluster liefert die Cluster-Analyse einen Vertreter, der die Eigenschaften aller Fahrten im Cluster möglichst gut vereint.

Synthese der Testzyklen:

Um Testzyklen synthetisieren zu können werden die identifizierten Medoide in weiterer Folge analysiert. Jede Fahrt wird in diskrete Zustände unterteilt. Die Zustandsübergänge werden ausgewertet und eine Übergangs-Wahrscheinlichkeits-Matrix erstellt. Basierend auf dieser Matrix wird mit Hilfe einer Markov-Kette eine Zustandsabfolge gewählt bis eine festgelegte Maximaldauer erreicht ist. Anschließend werden charakteristische Größen für den derart erstellten Zyklus bestimmt und mit Sollwerten verglichen. Weichen die Sollwerte von den Istwerten weniger als einen bestimmten Prozentsatz ab, wird der erstellte Zyklus als Testzyklus akzeptiert.

Verifikation:

Die Verifikation soll zeigen, ob der generierte Testzyklus die Diagnosen aktiviert. Dazu wird während der Fahrt mit Hilfe eines Tools das Geschwindigkeitsprofil auf einem Display dargestellt. Gleichzeitig werden mit Hilfe der Messsoftware die Systemgrößen ermittelt und abgespeichert. Anschließend werden die realen Diagnose-Aktivierungen mit den vom Modell vorhergesagten Aktivierungen verglichen.

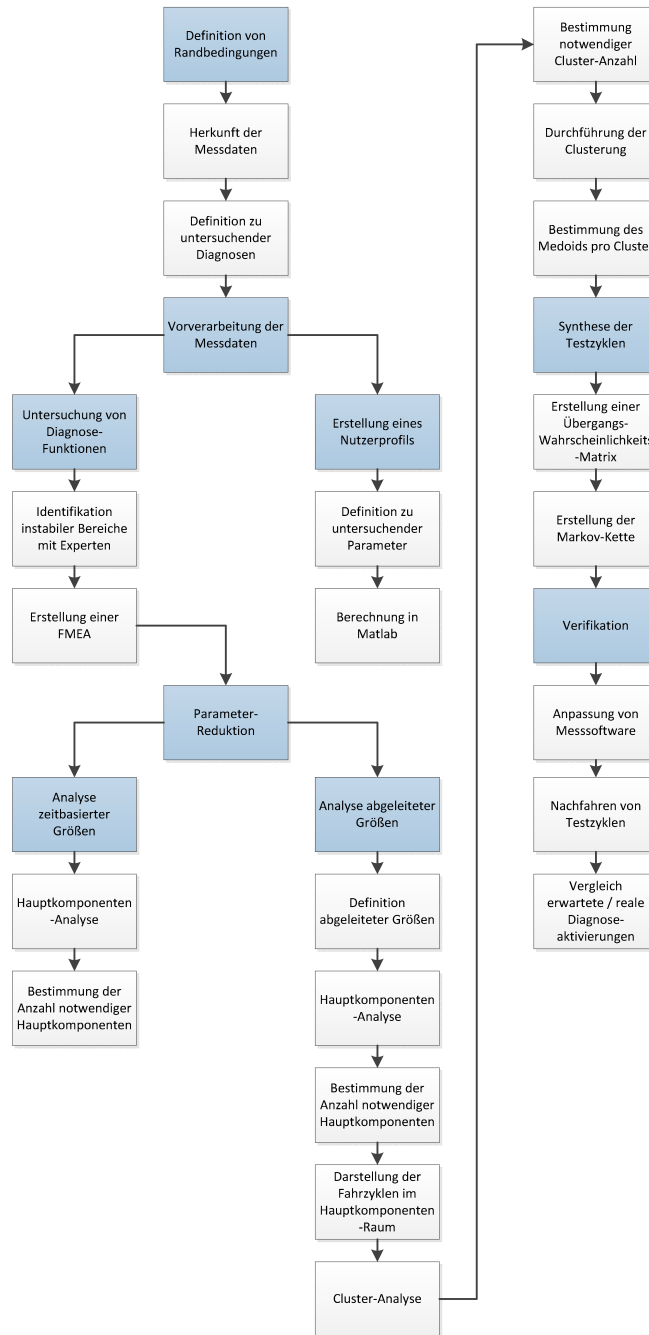


Abbildung 2.1: Darstellung der Methodik als Flußdiagramm. Die Hauptabschnitte sind farblich hervorgehoben und umfassen die Erstellung eines Nutzerprofils, Untersuchung der Diagnosefunktionen zur Identifikation relevanter Parameter der Motorsteuerung, anschließender Reduktion der Parameter zur Vereinfachung der nachfolgenden Zyklus-Synthese. Abschließend wurden die Ergebnisse verifiziert.

Kapitel 3

Durchführung der Nutzraum-Analyse

Die Nutzraum-Analyse soll einen grundlegenden Überblick über den Einsatz der untersuchten KFZ ermöglichen. Informationen über benötigte Leistung, Geschwindigkeiten sowie Einsatzbereich sollen grafisch dargestellt werden, um somit Schwerpunkte identifizieren zu können. Als Datenbasis dienen Messungen von 4 Fahrzeugvarianten, einer Handschalter-Variante sowie einer Automatik-Variante, jeweils mit beziehungsweise ohne Turbolader.

3.1 Erstellung des Nutzerprofils

Vor der Durchführung der Nutzraum-Analyse mussten die Daten aufbereitet werden, dies soll sicher stellen, dass keine fehlerhaften oder unplausiblen Messdaten vorkommen sowie eine Vereinheitlichung der Variablennamen und Abtastraten bewirken. Diese Vorverarbeitung ist in Anhang B beschrieben. Die eigentliche Nutzraumanalyse der Messdaten wurde wiederum mit Hilfe von Matlab durchgeführt. Für jede Messfahrt wurde eine Menge zuvor definierter charakteristischer Größen ermittelt und die Ergebnisse einem Array hinzugefügt. Für jede der Varianten ergibt sich somit ein Daten-Array welches als Basis für die Auswertung diente. Die nachfolgende Auflistung zeigt die berechneten Größen:

Parameter zur Beschreibung der aktuellen Leistung:

Median der Fahrzeuggeschwindigkeit [km/h]

Der Median der Fahrzeuggeschwindigkeit dient der Unterscheidung der Fahrten in Stadtfahrt sowie Fahrt auf der Autobahn bzw. Überlandfahrt.

Median der Leistung [kW]

Beschreibt die gelieferte Leistung in Abhängigkeit aller Einflussgrößen und von der geforderten Leistung.

Median des Gaspedalwinkels [%]

Dient der Beschreibung der Leistungs-Anforderung durch den Fahrer.

Zeitanteil mit Bremse aktiv [%]

Beschreibt die Anforderung nach negativer Leistung.

Parameter zur Beschreibung des Leistungsbedarfs:

Anzahl der Hochlast-Zyklen [1/h]

Beschreibt das transiente Verhalten der Leistung.

Median der Amplitude der Hochlast-Zyklen [kW]

Dient ebenfalls der Beschreibung des transienten Verhaltens der Leistung.

Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen [1/h]

Beschreibt das transiente Verhalten der Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen ist ein Indikator für den Verkehrsfluss. Dichter Verkehr bewirkt tendenziell mehr Geschwindigkeitsänderungen.

Anzahl der positiven Gaspedal-Winkeländerungen um 10 Prozent in einer Sekunde [1/h]

Beschreibt das transiente Verhalten der Leistungsanforderung des Fahrers.

Anzahl der Bremsaktivierungen [1/h]

Beschreibt das transiente Verhalten der Bremsanforderungen des Fahrers.

Anzahl der Kupplungsaktivierungen [1/h]

Beschreibt das transiente Verhalten der Gangwechsellanforderungen des Fahrers.

Maximale Leistung [kW]

Beschreibt die maximal angeforderte Leistung.

Anteil positiver Gaspedal-Änderungen [%]

Anteil negativer Gaspedal-Änderungen [%]

Parameter zur Beschreibung des Einsatzbereichs:

Anzahl der Luftdruck-Erhöhungen

Beschreibt die Höhenänderung als Funktion des Luftdrucks.

Summe der Luftdruck-Erhöhungen

Summierte Höhenänderung als Funktion des Luftdrucks.

Anteil der Zeit die das Fahrzeug sich bewegt [%]

Der Anteil der Zeit die sich das Fahrzeug bewegt ist ein Indikator für das Einsatzgebiet, d.h. Unterscheidung zwischen Stadtfahrten und Autobahnfahrten.

Anteil der Zeit in einem bestimmten Geschwindigkeits-Bereich [%]

Anteil der Zeit in einem bestimmten Gang [%]

Dauer der Fahrt [s]

Zurückgelegte Distanz [km]

Median der Temperatur [°C]

3.1.1 Ergebnisse der Messdaten-Analyse - Das Nutzer-Profil

Die Analyse wurde für jede der vier Varianten durchgeführt und grafisch ausgewertet. Exemplarisch seien im Folgenden die Ergebnisse der Fahrzeugvariante „Handscharter ohne Turbolader“ präsentiert und diskutiert. Die Abbildungen zur Beschreibung des Nutzungsverhaltens sind in die Bereiche „Geschwindigkeit“, „Leistung“, „Beschleunigung“ sowie weitere allgemeine Abbildungen unterteilt. Die Ergebnisse der drei restlichen Varianten sind in Anhang C.1 zu finden.

Diskussion der Fahrdaten:

Anhand Abbildung 3.2 ist zu erkennen, dass der Median der Leistung bei ca. 10-15 kW für die Mehrzahl der Zyklen liegt. Die Leistungsänderung übersteigt bei der Mehrzahl der Zyklen 17 kW nicht. Das Maximum der Leistung wird nur bei einer geringen Anzahl an Fahrten genutzt, die meisten Fahrten übersteigen eine Leistung von 45 kW nicht, wie in Abbildung 3.5 zu sehen.

Abbildung 3.9 zeigt den unterschiedlichen Leistungsbedarf bei Fahrten im Ortsgebiet sowie bei Fahrten auf der Autobahn. Im Stadtgebiet liegt der Leistungsbedarf zwischen 10 kW und 30 kW, Zyklen auf der Autobahn haben einen Leistungsbedarf von 40-50 kW.

Diskussion des Einsatzbereichs:

Deutlich zu erkennen sind Geschwindigkeitsschwerpunkte bei ca. 0-20 km/h, ca. 40 km/h sowie 120-130 km/h, z.B. in Abbildung 3.9. Die niedrigeren Geschwindigkeitsschwerpunkte entsprechen Fahrten im Ortsgebiet und lassen sich in zwei Teilschwerpunkte unterscheiden - Ortsfahrten mit geringen Geschwindigkeiten sowie Ortsfahrten mit größeren Geschwindigkeiten. Fahrten mit Geschwindigkeitsmedien über 100 km/h lassen sich deutlich zu Fahrten mit großem Autobahnanteil zuordnen. Weiters ist an Abbildung 3.8 zu erkennen, dass Beschleunigungen mit großem Hochgeschwindigkeits-Anteil größer ausfallen als jene mit überwiegendem Niedriggeschwindigkeits-Anteil. Abbildung 3.9 zeigt den Leistungsbedarf in Abhängigkeit der gefahrenen Geschwindigkeit. Man erkennt einen deutlich höheren Leistungsbedarf bei Fahrten mit hohem Geschwindigkeitsanteil (Überland-/Autobahnfahrten). Im Vergleich dazu ist der Leistungsbedarf bei innerstädtischen Fahrten deutlich niedriger. Die Betrachtung des Bewegungsprofils in Abb. 3.10 zeigt ebenfalls deutliche Unterschiede zw. Autobahn und Stadtfahrten. Innerstädtischen Fahrten lässt sich ein Bewegungsanteil von ca. 65-70 Prozent zuordnen während außerstädtischen Fahrten ein Anteil von 90-100 Prozent zugeordnet werden kann. Anhand Abbildung 3.11 kann ein Vergleich der Geschwindigkeitsänderungen zwischen innerstädtischen und außerstädtischen Fahrten erfolgen. Es zeigt sich eine Anzahl von ca. 75 Geschwindigkeitsänderungen pro Stunde bei Fahrten auf der Autobahn während Fahrten im städtischen Bereich entsprechende Anzahlen von ca. 125-175 Änderungen pro Stunde aufweisen.

Diskussion der Unterschiede zw. Varianten „ohne bzw. mit Turbolader“:

Der Vergleich der Fahrzeugvariante „Handscharter ohne Turbolader“ mit der Variante „Handscharter mit Turbolader“ zeigt die zu erwartenden Unterschiede im Bereich der Leistung. Abb. 3.2 und Abb. C.2 zeigen bei der Variante mit Turbolader um ca. 15 kW höhere Leistungsmediane, die Amplituden der Leistungsänderungen sind bei Varianten mit Turbolader ca. 10 kW größer als entsprechende Änderungen bei Varianten ohne Turbolader. Die Abbildungen 3.5 und C.5 zeigen den Leistungsunterschied zwischen den Varianten. Fahrzeuge mit Turbolader weisen ein um ca. 30 kW größeres Leistungsmaximum auf.

Unterschiede zw. Varianten „Handscharter“ und „Doppelkupplungs-Automat“:

Der Vergleich dieser beiden Fahrzeugvarianten zeigt erwartungsgemäß keine nennenswerten Unterschiede.

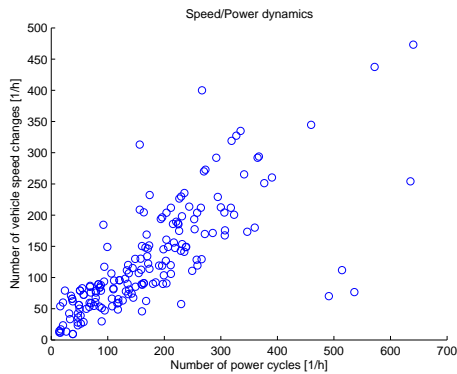


Abbildung 3.1: Zusammenhang zw. Anzahl der Leistungsänderungen und Anzahl der Geschwindigkeits-Änderungen. Die Mehrzahl der Zyklen weist weniger als 350 Laständerungen und 250 Geschwindigkeits-Änderungen pro Stunde auf.

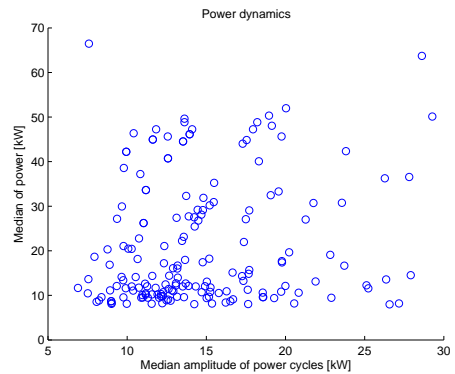


Abbildung 3.2: Zusammenhang zw. Betrag der Leistungsänderungen und Leistungs-Median der Zyklen. Eine Mehrzahl der Zyklen wird mit einem Leistungsmedian von weniger als 15 kW gefahren.

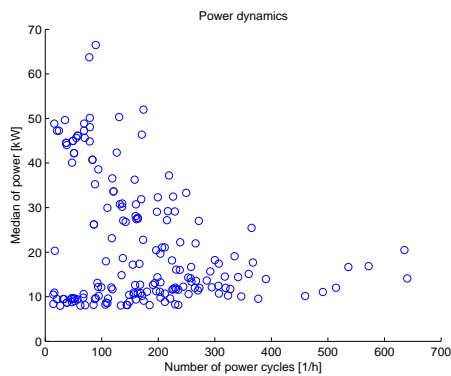


Abbildung 3.3: Zshg. zw. Anzahl der Leistungsänderungen und dem Median der Leistung der Zyklen. Erkennbar sind Anhäufungen bei geringer Leistung bis 350 Änderungen pro Stunde sowie bei ca. 45kW bis 100 Leistungsänderungen pro Stunde.

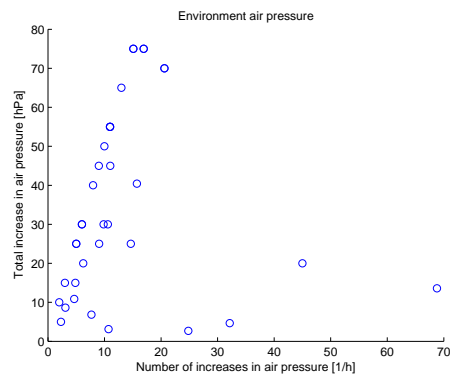


Abbildung 3.4: Die Luftdruckänderung ist ein schwacher Indikator für Höhenänderungen. Gezeigt ist der Zusammenhang zw. der Anzahl der Druckänderungen und dem Gesamtbeitrag der Änderungen.

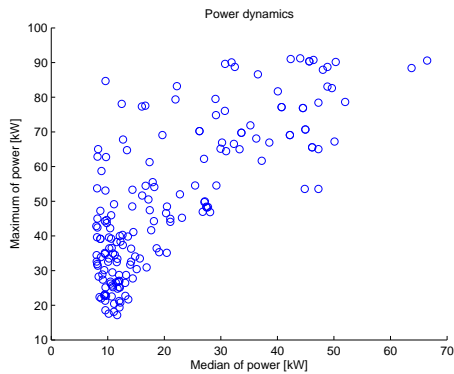


Abbildung 3.5: Zusammenhang zwischen dem Leistungsmedian und der maximalen vorkommenden Leistung im Zyklus. Die Mehrzahl der Fahrten wurde mit geringer maximaler Leistung und geringem Leistungsmedian gefahren.

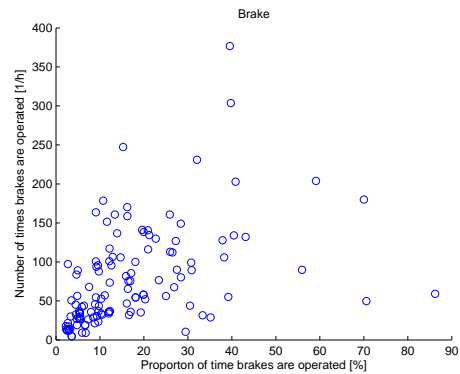


Abbildung 3.6: Beschreibung des Bremsverhaltens, die Mehrzahl der Zyklen wurde mit bis zu 50 Bremsungen pro Stunde und 10 Prozent zeitlichem Anteil durchgeführt.

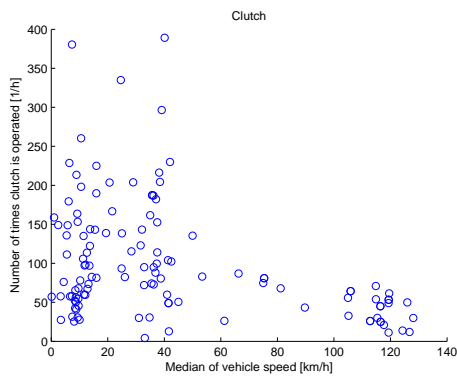


Abbildung 3.7: Beschreibung der Kuppelungsbenutzung als Indikator für Schaltvorgänge. Schwerpunkte sind bei geringen Geschwindigkeiten sowie bei Autobahn-Geschwindigkeiten zu erkennen.

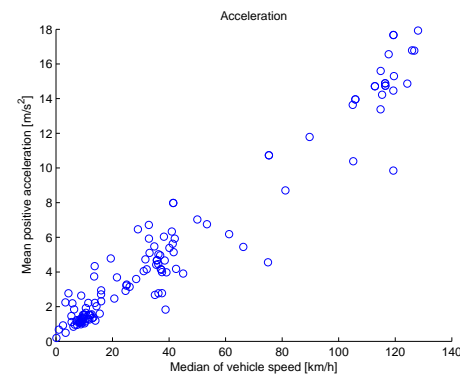


Abbildung 3.8: Beschreibung des Beschleunigungs-Verhaltens. Starke Beschleunigungen treten besonders bei Fahrten mit hohem Geschwindigkeitsmedian auf. Niedrigere Beschleunigungen besonders bei Fahrten mit Medianen die Ortsgeschwindigkeiten repräsentieren.

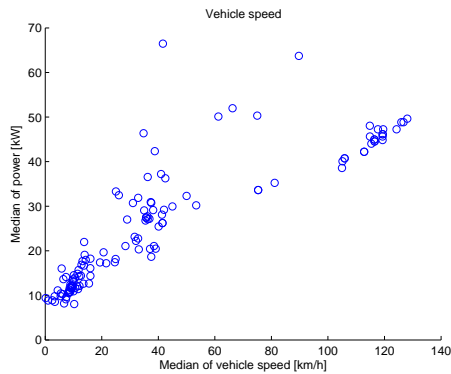


Abbildung 3.9: Zusammenhang zw. Fahrzeuggeschwindigkeit und benötigter Leistung. Schwerpunkte sind bei Ortsgeschwindigkeiten mit bis zu 30 kW sowie Autobahngeschwindigkeiten bei ca. 40-50 kW zu erkennen.

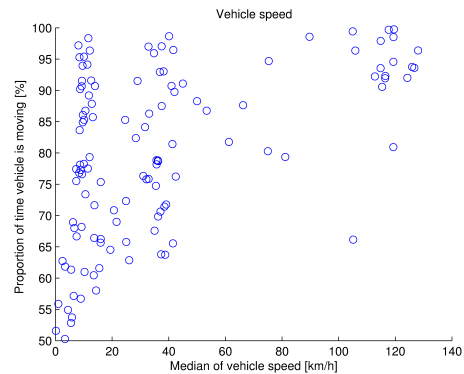


Abbildung 3.10: Zusammenhang zw. Fahrzeuggeschwindigkeit und zeitlichem Anteil der Bewegungsphasen. Zu erkennen ist ein hoher zeitlicher Anteil an Bewegungsphasen bei Fahrten auf der Autobahn.

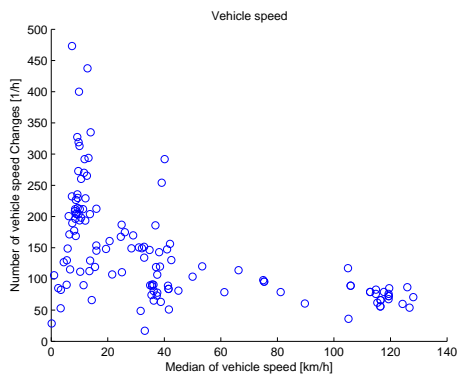


Abbildung 3.11: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen pro Stunde. Zyklen mit sehr hohem Geschwindigkeitsmedian weisen auffallend wenig Geschwindigkeitsänderungen auf. Dem Stadtgebiet zuzuordnende Fahrten weisen entsprechend mehr Geschwindigkeitsänderungen auf.

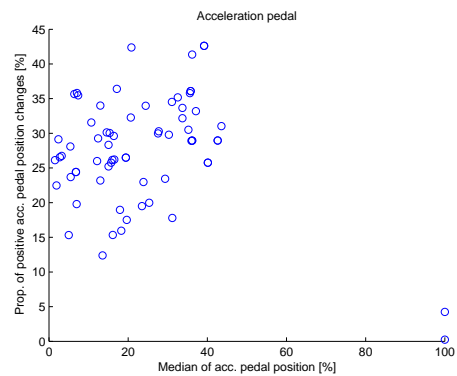


Abbildung 3.12: Beschreibung der Gaspedalbetätigung. Der Großteil der Zyklen wurde mit max. 40 Prozent Gaspedalposition gefahren.

Kapitel 4

Analyse der Diagnosen

Die benutzte Variante der Motorsteuerung verfügt (je nach Motorvariante) über ca. 290 Software-Funktionen von denen 64 Funktionen im Zusammenhang mit der Onboard-Diagnose stehen. Aus diesen 64 Funktionen wurden 8 Hauptdiagnosen für die Analyse identifiziert. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick über diese Diagnosen und ihre Aufgaben.

Nockenwellen-Diagnose:

Im Rahmen der Nockenwellen-Diagnose wird die Abweichung der einlassseitigen und auslassseitigen Nockenwelle von ihrem Vorgabewinkel bestimmt. Übersteigen diese Abweichungen einen Schwellwert wird ein Fehler diagnostiziert.

Katalysator-Diagnose:

Das Sauerstoff-Speichervermögen eines Katalysators bestimmt maßgeblich seine Fähigkeit, Schadstoffe zu reduzieren. Nimmt das Speichervermögen im Laufe der Zeit ab, so steigen die Emissionen, bei Unterschreiten einer Grenze wird ein Fehler diagnostiziert.

Diagnose des Schubumluft-Ventils:

Das Schubumluft-Ventil bewirkt eine Rückführung der Ladeluft bei geschlossener Drosselklappe um Beschädigungen des Laders zu vermeiden. Ein defektes Ventil wird durch Auftreten von Pulsationen im Ladedruck-Signal erkannt. Ein Fehler wird diagnostiziert wenn die Anzahl der Pulsationen einen Grenzwert übersteigt.

Diagnose des Kraftstoff-Versorgungssystems:

Das Kraftstoff-Versorgungssystem stellt ein gewünschtes Luft-Kraftstoff-Gemisch her. Abweichungen werden mit Hilfe von additiven und multiplikativen Korrekturwerten ausgeglichen. Übersteigen diese Korrekturwerte definierte Grenzwerte wird ein Fehler diagnostiziert.

Diagnose des Leerlauf-Reglers:

Der Regelwert des Leerlauf-Reglers wird mit Schwellen verglichen, werden diese überstiegen wird ein Fehler erkannt.

Diagnose des Tankentlüftungs-Ventils:

Das Tankentlüftungs-Ventil führt im Tank entstehende Treibstoff-Gase der Verbrennung im Motor zu. Die Diagnose prüft die Durchflusssteuerung und erkennt ein

permanent geöffnetes sowie ein permanent geschlossenes Ventil. In beiden Fällen wird ein Fehler erkannt.

Diagnose der Lamdasensor-Alterung:

Die Lambdasensor-Diagnose setzt definierte Sprünge im Luft-Kraftstoff-Gemisch mit den Ausgangssignalen der Lambdasonden in Beziehung. Vergrößert sich die Reaktionszeit der Lambdasonden wird auf einen Alterungseffekt geschlossen, bei Überschreiten einer Schwelle wird ein Fehler ausgegeben.

Turbolader-Diagnose:

Die Diagnose prüft die Abweichung des aktuellen Ladedrucks vom vorgegebenen Sollwert. Überschreitet die Abweichung eine Schwelle wird von einem Fehler des Turboladers ausgegangen.

Von manchen Diagnosen werden mehrere Teildiagnosen durchgeführt, wie Tabelle 4.1 zu entnehmen ist.

Diagnose	Teildiagnose
Nockenwelle	Einlass-Aktuator in Endposition Abweichung des Einlass-Sollwinkels vom aktuellen Winkel Auslass-Aktuator in Endposition Abweichung des Auslass-Sollwinkels vom aktuellen Winkel
Katalysator	Bestimmung der Sauerstoff-Speicherkapazität
Schubumluftventil	Überprüfung auf feststehendes Ventil
Kraftstoff-Versorgungssystem	Additive Gemischadaption-Korrektur Multiplikative Gemischadaption-Korrektur
Leerlaufregler	Abweichung der Motordrehzahl vom Sollwert
Tankentlüftungs-Ventil	Bestimmung eines Qualitätsmaßes
Lambdasonden	Periodendauermessung der Lambdasonde vor Katalysator Verzögerungsbestimmung der Lambdasonde vor Katalysator Verzögerungsbestimmung der Lambdasonde nach Katalysator
Turbolader	Abweichung des Ladedrucks vom Sollwert

Tabelle 4.1: Auflistung der analysierten Diagnosen mit entsprechenden Teildiagnosen.

Jede dieser Diagnosen wird nur unter bestimmten Bedingungen, den sogenannten Einschaltbedingungen, aktiviert. Betriebszustände, in denen die Einschaltbedingungen erfüllt sind, werden Einschaltbereich genannt. Einschaltbedingungen umfassen typischerweise Größen wie Temperaturen, Drücke, Drehzahlen, Momente, Gradienten aber auch logische Größen die einen bestimmten Betriebszustand (wie z.B. Schubabschaltung) beschreiben. Zusätzlich können Umgebungseinflüsse wie Luftdruck und Umgebungstemperatur die Aktivierung von Diagnosen beeinflussen. Darüber hinaus müssen zeitliche Anforderungen eingehalten werden, diese können z.B. die Ausführung einer Diagnose nach Erfüllen der Einschaltbedingungen verzögern. Die Identifikation relevanter Parameter basiert auf der Analyse der Dokumentation der Motorsteuerungs-Software. Diese liegt in Form eines sogenannten Funktionsrahmens vor und enthält alle Softwarefunktionen in Form von

ASCET-Diagrammen. Abbildung 4.1 zeigt beispielhaft einen kleinen Ausschnitt aus einer der Funktionen. Als relevante Parameter wurden die folgenden Größen identifiziert:

Diagnose	Parameter
Schubumluftventil-Diagnose	Umgebungsdruck Ladedruck-Sollwert Druck vor Drosselklappe
Lambdasonden-Diagnose	Motordrehzahl Abgastemperatur Relative Luftfüllung Betriebszustand „Schubabschaltung“ Luftmasse Kraftstoff/Luftverhältnis (Lambdawert) Zeitliche Anforderungen zur Berechnung
Leerlaufregler	Betriebszustand „Leerlauf“ Motortemperatur Saugrohrtemperatur Höhenkorrekturfaktor
Turbolader	Motordrehzahl Umgebungsdruck Ladedruck-Sollwert
Nockenwellen-Steller	Motordrehzahl Motortemperatur Öltemperatur
Katalysator	Motordrehzahl Relative Luftfüllung Lambda-Regelfaktor Abgastemperatur im Katalysator
Kraftstoff-Versorgungssystem	Luftmassenstrom Motordrehzahl Motortemperatur Relative Luftfüllung
Tankentlüftung	Betriebszustand „Leerlauf“

Tabelle 4.2: Auflistung relevanter Parameter für die einzelnen Diagnosen.

Nach Identifikation der relevanten Parameter wurden Grenzwerte bzw. Schwellen für die Größen definiert. Der Einschaltbereich wurde dabei in einen allgemeinen Bereich sowie in einen kritischen Bereich unterteilt. Der allgemeine Bereich umfasst alle Betriebszustände, in denen die Diagnose aktiviert wird. Im Gegensatz dazu umfasst der kritische Bereich alle Betriebspunkte mit den folgenden Eigenschaften:

- Verschlechterung der Stabilität des Diagnoseergebnisses, d.h. die Diagnose liefert ein falsches OK-Ergebnis oder Nicht OK-Ergebnis
- Verschlechterung des IUPR

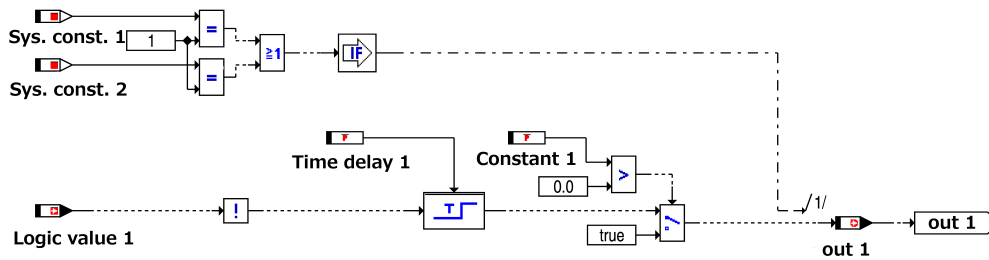


Abbildung 4.1: Teilfunktion einer Diagnose in Form von ASCET-Diagrammen dargestellt. In dieser Form liegen die Funktionen in der Dokumentation vor. Der obere Pfad kontrolliert die Berechnung des unteren Pfades. Nur wenn Systemkonstante 1 oder 2 gleich „1“ ist, wird der zeitverzögerte logische Wert 1 in die Ausgangsvariable „out 1“ geschrieben.

Die Unterteilung der Einschaltbedingung in generellen und kritischen Bereich erfolgte basierend auf Erfahrung in Form einer abgewandelten FMEA (ohne Vergabe von Prioritäten). Dabei werden, basierend auf Erfahrung, für jeden Parameter Bereiche identifiziert, die eine erhöhte Instabilität des Diagnoseergebnisses bewirken können. Beispielhaft soll das Vorgehen an Hand der Nockenwellen-Diagnose erläutert werden. Der Nockenwellen-Steller wird über Öldruck gesteuert. Unerwünschte Änderungen dieses Öldrucks bewirken ein unbeabsichtigtes Verstellen der Nockenwelle. Die Motordrehzahl kann sich direkt auf den Öldruck auswirken, bei zu geringen Drehzahlen sinkt der Öldruck ab, bei zu hohen Drehzahlen schäumt das Öl auf und der Öldruck kann sinken. Ähnliche Auswirkungen hat eine Temperaturveränderung des Öls. Zu niedrige Temperatur bewirkt zähes Öl, zu hohe Temperatur führt zur Verdünnung des Öls. Weitere Teilergebnisse dieser Form der FMEA sind zusammen mit konkreten Werten für die Schwellen und Grenzwerte in Tabelle 4.2 dargestellt.

Basierend auf den ermittelten Einschaltbedingungen wurde in weiterer Folge für jede der analysierten Testfahrten bestimmt, welche Diagnosen zu welchem Zeitpunkt aktiv waren. Diese Informationen wurden in den vorliegenden Messdaten nicht mit abgespeichert und müssen entsprechend aus den ermittelten Einschaltbedingungen und den notwendigen Messgrößen selbst berechnet werden. Dazu wurden mit Hilfe von Matlab/Simulink Modelle erstellt die folgende Schritte pro Diagnose durchführen:

- Einlesen der Messdaten aus dem Matlab Workspace
- Berechnung von Größen, die von der Motorsteuerung nicht direkt gemessen werden
- Berechnung über den gesamten zeitlichen Verlauf, wann alle Einschaltbedingungen erfüllt sind
- Rückgabe eines Vektors mit booleschen Werten wann/ob die jeweilige Diagnose aktiv war

Abbildung 4.4 zeigt das Hauptmodell mit den Blöcken zum Einlesen der Messdaten sowie den Block zur Berechnung der Diagnose-Aktivierungen. Abbildung 4.5 und Abbildung 4.6 zeigen beispielhaft die Berechnung der zusätzlich benötigten logischen Größen

Diagnose	Überwachungsstrategie	Parameter	Untere Grenze	Oberer Grenze	Einheit	Begründung / Erklärung
idle speed control	diff. of idle speed precontrol > thresh.	engine temp.	80.3		120 °C	Kritisch im gesamten Bereich in dem die ESB erfüllt sind
idle speed control	diff. of idle speed precontrol > thresh.	intake air temp.	20.3		140 °C	Kritisch im gesamten Bereich in dem die ESB erfüllt sind
idle speed control	diff. of idle speed precontrol > thresh.	altitude corr. factor	0.746		3,984775 -	Kritisch im gesamten Bereich in dem die ESB erfüllt sind
idle speed control	diff. of idle speed precontrol < thresh.	engine temp.		80.3	120 °C	Kritisch im gesamten Bereich in dem die ESB erfüllt sind
idle speed control	diff. of idle speed precontrol < thresh.	intake air temp.	20.3		140 °C	Kritisch im gesamten Bereich in dem die ESB erfüllt sind
idle speed control	diff. of idle speed precontrol < thresh.	altitude corr. factor	0.746		3,984775 -	Kritisch im gesamten Bereich in dem die ESB erfüllt sind
dump valve f. turbo charger	detect. of pulsation of boost press.	negative load gradient	true		-	Zur Erfassung von hoher Dynamik
dump valve f. turbo charger	detect. of pulsation of boost press.	pressure upstream throttle valve				
dump valve f. turbo charger	detect. of pulsation of boost press.	engine temp.	1100		hPa	kritischer Bereich liegt knapp über Grundladedruck
dump valve f. turbo charger	detect. of pulsation of boost press.	intake air temp.				
turbo charger	deviation from reference (min.)	engine speed	500		6300 1/min	in allen Drehzahlbereichen notwendig
turbo charger	deviation from reference (min.)	des. boost press. - min. des. boost press.	100		1270 hPa	beginnender Ladebereich, nahe Grundladedruck
turbo charger	deviation from reference (min.)	ambient pressure	550		1100 hPa	in allen Druckbereichen
camshaft actuator	deviation desired/actual inlet camsh. angle	engine speed	1000		5000 1/min	unterer Bereich kritisch wegen Öldruckabfall, oberer Bereich wegen Aufschäumung von Öl
camshaft actuator	deviation desired/actual inlet camsh. angle	engine temp.	20.3		120 °C	Einfluss auf boek (siehe Begründung dort)
camshaft actuator	deviation desired/actual inlet camsh. angle	oil temp	-48.009		179,991 °C	unterer Bereich: Öl zäh, Druckänderung, oberer Bereich Öl dünn, daher wieder Druckänderung
camshaft actuator	deviation desired/actual inlet camsh. angle	engine speed	1000		5000 1/min	unterer Bereich kritisch wegen Öldruckabfall, oberer Bereich wegen Aufschäumung von Öl
camshaft actuator	deviation desired/actual inlet camsh. angle	engine temp.	20.3		120 °C	Einfluss auf boek (siehe Begründung dort)
camshaft actuator	deviation desired/actual inlet camsh. angle	oil temp	-48.009		179,991 °C	unterer Bereich: Öl zäh, Druckänderung, oberer Bereich Öl dünn, daher wieder Druckänderung
lambda sensor aging upstream cat	mean cycle duration monitoring	engine speed	1640		3000 1/min	lange Periodendauer, geringer Durchsatz -> daher kombiniert Mein notwendig
lambda sensor aging upstream cat	mean cycle duration monitoring	relative air charge	21.8		50.3 %	kritisch wegen Erwärmung Sonde und Kat
lambda sensor aging upstream cat	mean cycle duration monitoring	exhaust gas temp. upstream cat.	430		°C	äußerer Rand des Fensters (B_1rhk)
lambda sensor aging upstream cat	integrator value inside lower thresh.	engine speed	1720		2200 1/min	
lambda sensor aging upstream cat	integrator value inside lower thresh.	relative air charge	20.3		45 %	
lambda sensor aging upstream cat	integrator value inside upper thresh.	engine speed	1720		2200 1/min	
lambda sensor aging upstream cat	integrator value inside upper thresh.	relative air charge	20.3		45 %	
lambda sensor aging downstream cat	sensor voltage in overrun > thresh.	fuel cutoff	true		true -	ausreichend SA-Phasen aus unterschiedl. Betriebsp. damit Diagn. auch wirklich laufen kann
lambda sensor aging downstream cat	sensor voltage in full load <= thresh.	req. lambda value (formation of "full load")			0.80005 -	
lambda sensor aging downstream cat	sensor voltage in full load <= thresh.	air mass (formation of "full load")	60		kg/h	ausreichend Vollast-Phasen
lambda sensor aging downstream cat	sensor voltage in full load <= thresh.	time (formation of "full load")	5		s	ausreichend SA-Phasen aus unterschiedl. Betriebsp. damit Diagn. auch wirklich laufen kann
lambda sensor aging downstream cat	sensor dyn. in overrun mode	exhaust gas temp. at sens. downstr. cat.	350,006		°C	kritisch wegen Erwärmung Sonde und Kat
lambda sensor aging downstream cat	sensor dyn. in overrun mode	engine speed	1000		3500 1/min	beide kombiniert ersetzbar durch ml, relevant z.B. wegen Massendurchsatz einfluss auf Temp.
catalyst	O2 storage capacity	relative air charge	15		70 %	Gemisch muss innerhalb Grenzen um Sollpunkt sein
catalyst	O2 storage capacity	fr-deviation ("1-fr")	-10		10 %	Anspringtemp. von Kat. muss ausreichend überschritten sein
catalyst	O2 storage capacity	exhaust temp. inside cat.	350		800 °C	
fuel system	additive mixture adaption corr. /lime	air mass	10		13 kg/h	oberer Rand des Bereiches für aktive add.-Adaption
fuel system	additive mixture adaption corr. /lime	engine speed			1000 1/min	
fuel system	additive mixture adaption corr. /lime	engine temp.	75		°C	minimal-Temp. für LPA
fuel system	mult. mixture adaption corr. (lower)	air mass	24		88 kg/h	äußerer Rand des Fensters (B_1ra)
fuel system	mult. mixture adaption corr. (lower)	relative air charge	21.8		50.3 %	
fuel system	mult. mixture adaption corr. (lower)	engine speed	1600		2680 1/min	
fuel system	mult. mixture adaption corr. (lower)	engine temp.	75		°C	minimal-Temp. für LPA
purge control valve	measurment. of quality of PCV	idle speed active	true		-	purge control valve diag. nur in LL aktiv

Abbildung 4.2: Einschaltbedingungen für einzelne Diagnosen mit Grenzwerten und Schwellen.

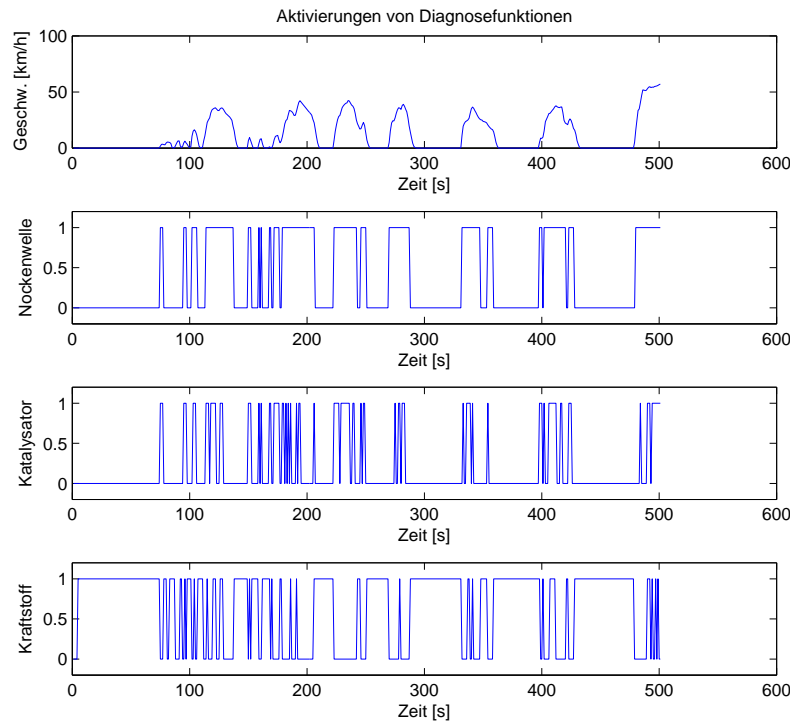


Abbildung 4.3: Darstellung eines Geschwindigkeitsprofils mit den korrespondierenden Diagnose-Aktivierungen anhand drei beispielhaft gewählter Diagnosen.

„Starker Lastwechsel“ bzw. „Vollast-Betrieb“. Weitere zusätzlich berechnete Größen umfassen den Grundladedruck, Lambdakontroll-Abweichung, Lambdaregelschleife aktiv sowie die Ermittlung des negativen Lastgradienten. Die so ermittelten Zusatzgrößen und eingelesenen Messdaten wurden in weiterer Folge zur Berechnung der einzelnen Diagnose-Aktivierungen benutzt. Beispielhaft wird in Abbildung 4.7 die Ermittlung von Aktivierungen der Turbolader-Diagnose gezeigt. Dabei müssen sowohl Motordrehzahl als auch der Umgebungsdruck über Schwellwerten liegen. Weiters muss die Differenz des Sollladedrucks und des Grundladedrucks innerhalb bestimmter Grenzen liegen. Sind alle diese Anforderungen zu einem bestimmten Zeitpunkt erfüllt, so muss die Turbolader-Diagnose zu diesem Zeitpunkt aktiv gewesen sein. Die Berechnung der Aktivierungen erfolgte in einem 1 Hz Zeitraster. Für jede der untersuchten Diagnosen werden die Aktivierungen in einem Rückgabvektor gespeichert. Somit lassen sich die zeitlichen Bereiche mit aktivierten Diagnosen in weiterer Folge leicht bestimmen. Abbildung 4.3 zeigt einen Teil der Ergebnisse für eine spezielle Fahrt. Dargestellt sind sowohl das Geschwindigkeitsprofil als auch der korrespondierende zeitliche Verlauf der Ergebnisse für die Aktivierung der Nockenwellen-, Katalysator- sowie Kraftstoffversorgungssystem-Diagnose.

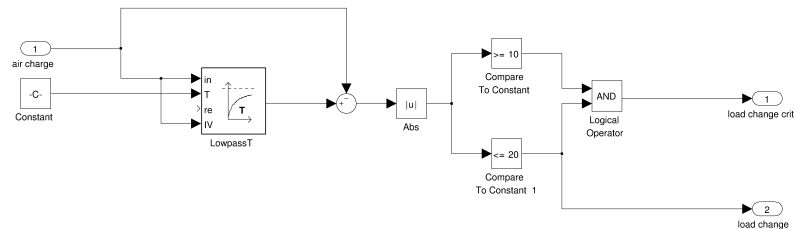


Abbildung 4.5: Matlab-Modell zur Ermittlung starker Lastwechsel. Das Signal der relativen Luftfüllung wird mit einem Hochpass gefiltert und der Betrag zur Bildung der logischen Zustände „Starker Lastwechsel“ sowie „Kritischer, starker Lastwechsel“ gegen Schwellwerte verglichen.

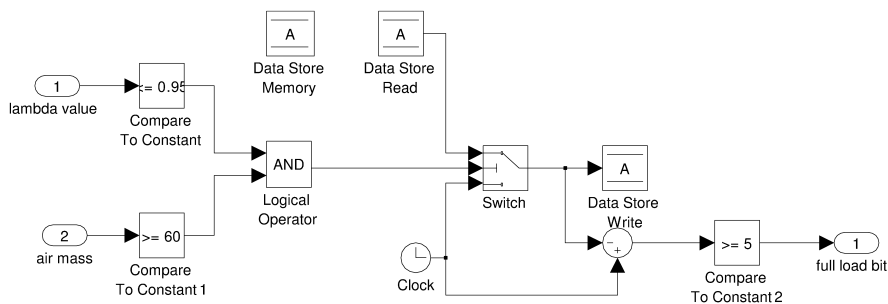


Abbildung 4.6: Matlab-Modell zur Ermittlung von Volllast-Zuständen. Das Luft/Kraftstoff-Verhältnis wird gegen Schwellwerte verglichen. Diese müssen für mindestens fünf Sekunden eingehalten werden damit der logische Zustand „Volllast“ erreicht wird.

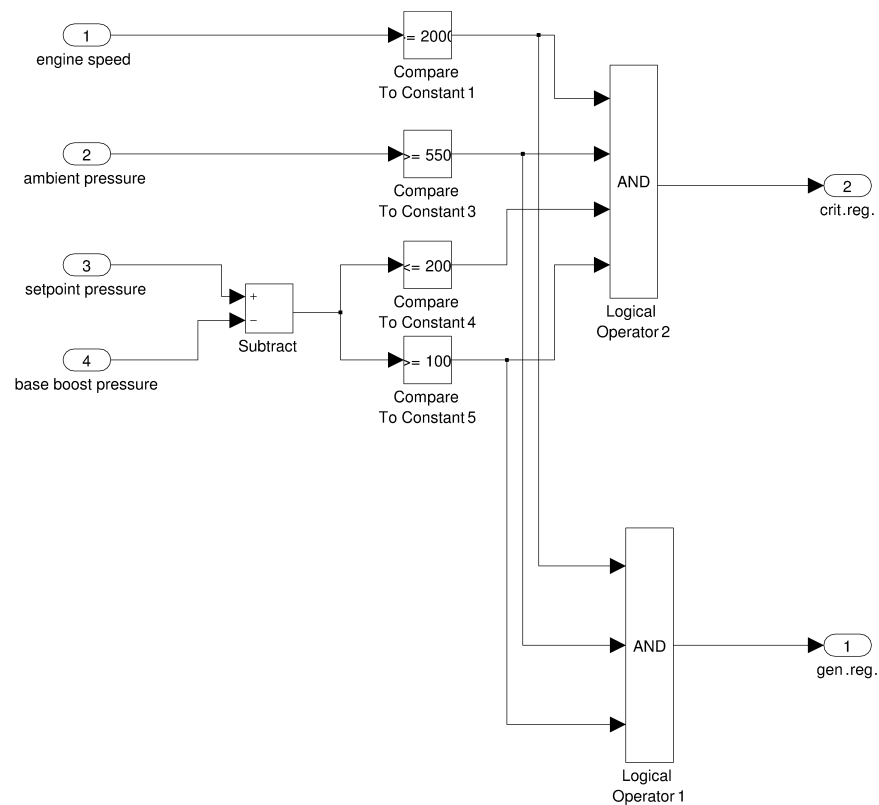


Abbildung 4.7: Matlab-Modell zur Ermittlung der Aktivierungen der Turbolader-Diagnose. Motordrehzahl, Umgebungsdruck, Sollladedruck und Grundladedruck werden mit Schwellwerten verglichen. Die Diagnose wurde in der entsprechenden Fahrt aktiviert wenn zum entsprechenden Zeitpunkt alle Bedingungen erfüllt waren.

Kapitel 5

Reduktion der relevanten Parameter

Die bisher durchgeführte Nutzraumanalyse liefert einen Überblick über das reale Fahrverhalten von Applikateuren. Sie zeigt sowohl Schwerpunkte wie auch ungenutzte Bereiche auf und kann genutzt werden, um Überprüfungsfahrten gezielt in Betriebsbereichen durchzuführen, die häufig im täglichen Einsatz gefahren werden. Ebenso können auch jene Betriebsbereiche gezielt getestet werden, die normalerweise selten vorkommen. Somit kann man entweder gezielt Schwerpunkte oder atypische Fahrten überprüfen. Basierend auf den bisher ermittelten Informationen sollen schlussendlich Testzyklen entworfen werden. Die Analyse der Diagnosen liefert die für weitere Untersuchungen notwendigen Messgrößen, die alle in Kapitel 4 erwähnten Größen umfassen. Zusätzlich wurden die folgenden Größen zur Analyse identifiziert, da diese indirekt für die Berechnung der Diagnose-Aktivierungen benötigt werden:

- Katalysator-Temperatur
- Abgasstrom-Temperatur hinter dem Katalysator
- Differenz des Soll-Ladedrucks und des Grundladedrucks

Insgesamt sind somit Betriebszustände zu analysieren die jeweils mit einem Tupel von 19 Messgrößen beschrieben werden. Der von diesen Größen aufgespannte Nutzungsraum hat 19 Dimensionen, eine direkte Analyse dieses Raumes hätte eine entsprechend hohe Komplexität, graphische Darstellungen wären gänzlich unmöglich. Aus diesem Grund entsteht der Bedarf nach einer Reduktion der Komplexität, das heißt einer Dimensionsreduktion des aufgespannten Raums wie in Abbildung 5.1 dargestellt. Erwünscht wäre eine Anzahl von zwei, maximal drei Dimensionen um die weiteren Analysen durchführen zu können.

5.1 Multivariates Verfahren der Hauptkomponenten-Analyse

Die Hauptkomponenten-Analyse ist ein multivariates Verfahren, das zuerst von Pearson (1901) und Hotelling (1933) entwickelt wurde [25]. Mehrere Variablen werden dabei gleichzeitig analysiert. Sie ist ebenfalls unter den Namen „Hotelling Transformation“,

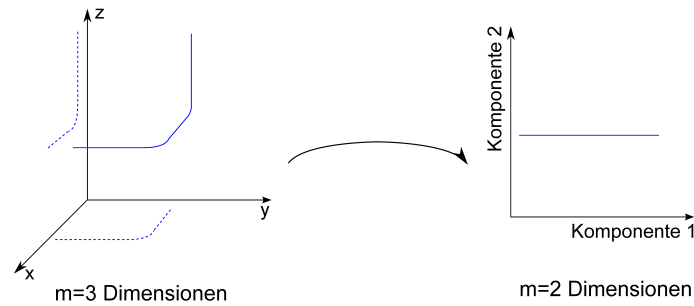


Abbildung 5.1: Beispielhafte Darstellung der Ausgangssituation und dem gewünschten Resultat. Der vorliegende Ausgangsraum ist 20-dimensional, der gewünschte Zielraum ist 2-dimensional.

„Karhunen-Loeve-Transformation“ oder Eigenwertzerlegung bekannt. Das Grundprinzip der Hauptkomponenten-Analyse ist die Verarbeitung hochdimensionaler Datensätze unter Ausnutzung der Zusammenhänge der Variablen mit dem Ziel, die Daten in neuer Form mit weniger Dimensionen darzustellen, ohne dabei relevante Informationen zu verlieren [26]. Folgende Fähigkeiten werden von der Hauptkomponenten-Analyse geboten:

- Erkennen versteckter Strukturen in den Daten.
- Zusammenhänge der Variablen erkennen, um Veränderungen des Systems zu erklären.
- Reduktion der Dimensionalität.
- Entfernung von Redundanz in den Daten.

Diese Eigenschaften prädestinieren die Hauptkomponenten-Analyse zur Aufbereitung von Daten zur weiteren Analyse mit anderen Verfahren [27]. Die prinzipielle Funktionsweise soll nachfolgend erläutert werden. Gegeben sei eine Beobachtung von p Merkmalen, die zu einem Vektor x zusammengefasst werden. Im ersten Schritt sucht die Hauptkomponenten-Analyse nach einer Linearkombination $\alpha'_1 x$ der Elemente des Vektors x , sodass die Varianz $\text{var}(\alpha'_1 x)$ maximiert wird [26]:

$$\alpha'_1 x = \alpha_{11}x_1 + \alpha_{12}x_2 + \dots + \alpha_{1p}x_p = \sum_{j=1}^p \alpha_{1j}x_j \quad (5.1)$$

Die Konstanten α_{1j} bilden dabei einen Vektor α_1 , der 1.Hauptkomponente genannt wird. Im nächsten Schritt wird eine weitere Linearkombination $\alpha'_2 x$ gesucht, sodass $\alpha'_1 x$ und $\alpha'_2 x$ unkorreliert sind und die Varianz von $\alpha'_2 x$ maximiert wird [26]:

$$\alpha'_2 x = \sum_{j=1}^p \alpha_{2j}x_j \quad (5.2)$$

Der Vektor α_2 wird nun 2.Hauptkomponente genannt. Allgemein gilt für die k -te Hauptkomponente:

$$\alpha'_k x = \alpha_{k1}x_1 + \alpha_{k2}x_2 + \dots + \alpha_{kp}x_p = \sum_{j=1}^p \alpha_{kj}x_j \quad (5.3)$$

Es können maximal p Hauptkomponenten gefunden werden. Die Identifikation der Hauptkomponenten α_i wird nachfolgend erklärt. Man betrachte $\alpha'_1 x_1$ mit der Kovarianzmatrix S . α_1 maximiert $\text{var}(\alpha_1) = \alpha'_1 S \alpha_1$ wobei als zusätzliche Beschränkung $\alpha'_1 \alpha_1 = 1$ gelten soll um endliche Werte für α_1 zu erzwingen, es wird somit eine Normalisierung durchgeführt. Die Maximierung erfolgt mit Hilfe der „Lagrange Multiplikatorregel“, man maximiere

$$\alpha'_1 S \alpha_1 - \lambda(\alpha'_1 \alpha_1 - 1) \text{ mit } \lambda \dots \text{Lagrangemultiplikator} \quad (5.4)$$

Durch Differenzieren nach α_1 erhält man [26]:

$$(S - \lambda E)\alpha_1 = 0 \text{ mit } E \dots \text{Einheitsvektor} \quad (5.5)$$

Somit sind λ die Eigenwerte und α_1 der zugehörige Eigenvektor. Es ergibt sich [26]:

$$\alpha'_1 S \alpha_1 = \alpha'_1 \lambda \alpha_1 = \lambda \underbrace{\alpha'_1 \alpha_1}_{=1} = \lambda \quad (5.6)$$

Es zeigt sich somit, dass zur Maximierung der Varianz von $\alpha'_1 S \alpha_1$ der Eigenwert λ maximal sein muss und weiters jener Eigenvektor mit dem größten korrespondierenden Eigenwert die Varianz maximiert. Es ergibt sich allgemein, dass die k -te Hauptkomponenten von x $\alpha'_k x$ ist, wobei α_k der Eigenvektor mit dem k -größten Eigenwert λ_k von S ist [26].

Die resultierenden Hauptkomponenten können nun genutzt werden um die Varianz des betrachteten Systems in einem neuen p -dimensionalen Raum darzustellen. Jene Hauptkomponenten mit den größten Eigenwerten beschreiben dabei den größten Anteil der Varianz und bestimmen somit die Abbildung maßgeblich. Hauptkomponenten mit geringeren Eigenwerten können unter Umständen vernachlässigt werden. Dies bewirkt die gewünschte Dimensionsreduktion, die jedoch mit einem bestimmten Informationsverlust einhergeht.

5.2 Analyse der zeitbasierten Größen

Das Verfahren der Hauptkomponenten-Analyse soll direkt auf die zeitbasierten Messgrößen angewendet werden. Das heißt, es werden Linearkombinationen der Messgrößen entsprechend Gleichung 5.1 gesucht, sodass die Varianz der jeweiligen Linearkombination maximal wird. Dabei soll die Menge der zur Beschreibung notwendigen Hauptkomponenten möglichst klein sein. Der durch die Hauptkomponenten aufgespannte Raum soll eine Dimension kleiner oder gleich drei haben, um die nachfolgende Verarbeitung zu ermöglichen. Im nächsten Schritt werden die Messfahrten in diesen niedrigdimensionalen Raum übertragen und dort Einschaltbereiche für alle Diagnosen identifiziert. Dies soll eine weitere Analyse der zeitlichen Verläufe im transformierten Raum ermöglichen, auf deren Basis genaue Kenntnis über Vorkommen von Dynamik, stationären Betriebspunkten sowie den Verlauf um die Einschaltbereiche der Diagnosen gewonnen werden sollen. Anschließend sollen entsprechend den Anforderungen Testzyklen aus diesen Informationen abgeleitet werden, die das beobachtete Verhalten abbilden, dabei jedoch Schwerpunkte auf die Einschaltbereiche legen.

5.2.1 Durchführung

Als erster Schritt soll geprüft werden ob die Messdaten überhaupt zur Hauptkomponenten-Analyse geeignet sind. Dazu wurde das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium sowie der Bartlett-Test auf Sphärizität durchgeführt [26]. Das Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium berechnet einen Vergleichswert dessen Betrag angibt, wie gut sich die gesammelten Daten durch Faktoren darstellen lassen, der Bartlett-Test berechnet einen Vergleichswert der angibt wie groß die Korrelation der Variablen ist [16]. Beide Berechnungen wurden mit Hilfe von Matlab für jede der Varianten durchgeführt, die Ergebnisse sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

Variante	Kaiser-Meyer-Olkin	Spherentest von Bartlett
Variante 1	0,6325	0.0
Variante 2	0,7677	0.0
Variante 3	0,6442	0.0
Variante 4	0,7062	0.0

Tabelle 5.1: Ergebnisse des Kaiser-Meyer-Olkin-Kriteriums und des Bartlett-Tests. Liegt das KMO-Kriterium über 0,6 sind die Daten geeignet um durch Faktoren dargestellt zu werden. Der Bartlett-Test liefert als Ergebnis die Wahrscheinlichkeit für die Sphärizität der Daten. Die Daten sind zur Analyse geeignet, wenn die Wahrscheinlichkeit Null ist [28].

Im nächsten Schritt wurden die Daten als Vorbereitung zur Hauptkomponenten-Analyse standardisiert. Dieser Schritt ist notwendig, um Größen mit unterschiedlichen Einheiten miteinander vergleichen zu können. So hat z.B. eine Drehzahl die zwischen 0 bis 6000 Umdrehungen schwankt eine größere Varianz als z.B. das Luft-/Kraftstoffverhältnis das nur gering um den Wert 1 schwankt. Die Standardisierung erfolgt entsprechend Gleichung 5.7 wobei \bar{x} den Mittelwert und $\sigma(x)$ die Standardabweichung angibt.

$$x' = \frac{x - \bar{x}}{\sigma(x)} \quad (5.7)$$

Dadurch wird der gewichtete Mittelwert des multivariaten Datensatzes Null. Anschließend können die Daten direkt dem Algorithmus der Hauptkomponenten-Analyse übergeben werden, die Durchführung der Analyse wurde wiederum mit Matlab durchgeführt. Zur Erhöhung der Robustheit wurde eine spezielle Variante der Hauptkomponenten-Analyse benutzt, die in [29] beschrieben ist. Der Vorteil der erhöhten Robustheit ist die Widerstandsfähigkeit gegen Ausreißer in den Datensätzen, die ansonsten zu verfälschten Ergebnissen führen würden. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Hauptkomponenten-Analyse exemplarisch für die Fahrzeugvariante „Handscharter ohne Turbo“ dargestellt. Die Ergebnisse der restlichen Varianten sind im Anhang C.1.3 zu finden.

5.2.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Hauptkomponenten-Analyse können mit Hilfe des Pareto-Plots übersichtsmäßig veranschaulicht werden [30]. Dabei werden die Hauptkomponenten anhand des von ihnen erklärten Anteils der Varianz, aufsteigend sortiert, als Balken dargestellt. Je größer der erklärte Anteil der Varianz ist, umso wichtiger ist die entsprechende Hauptkomponente. Jene mit nur sehr geringem erklärten Varianzanteil können vernachlässigt

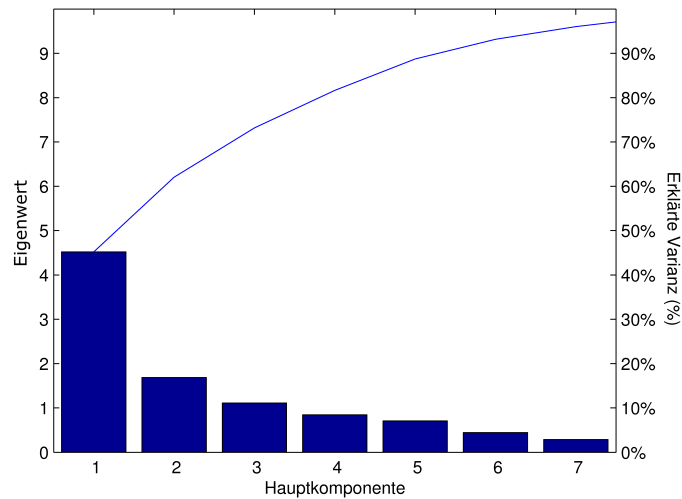


Abbildung 5.2: Pareto-Plot der Hauptkomponenten-Analyse der Variante „Handscharter ohne Turbo“. Als Balken dargestellt sind die Anteile der Varianz die durch die jeweilige Hauptkomponente erklärt werden. Die Kurve zeigt den kumulierten Anteil der erklärten Varianz. Man erkennt, dass zur Erklärung von 80 Prozent der Varianz zumindest die ersten fünf Hauptkomponenten benötigt werden.

werden. Zusätzlich ist der kumulierte Anteil der erklärten Varianz als Linie eingetragen. Bei der Durchsicht der Ergebnisse zeigt sich deutlich, dass das Ziel der Dimensionsreduktion auf 2, maximal 3 Hauptkomponenten bei gleichzeitigem geringen Informationsverlust nicht zu erreichen ist. Abbildung C.35 zeigt, dass zumindest fünf Hauptkomponenten benötigt werden um 80 Prozent der Varianz zu erklären und weitere 2 um 90 Prozent zu erklären. Weiters können die Hauptkomponenten nicht näher interpretiert werden, da alle Ursprungsgrößen zu annähernd gleichem Anteil einfließen. Die Anzahl der notwendigen Hauptkomponenten steht im Widerspruch zum ursprünglich gesetzten Ziel einer Dimensionsreduktion auf maximal drei Hauptkomponenten. Die Methodik ist also ungeeignet um basierend auf den vorliegenden Daten die gewünschte Vereinfachung zu erreichen. Ursache dafür ist die sehr breite Streuung der Daten selbst, die zu einer homogenen Verteilung der Betriebspunkte führt. Hervorgerufen wird dies durch den, für realen Fahreinsatz, untypischen Fahrstil der Applikateure während dem Testen der Software-Funktionen. Resultat ist eine schlechtere Eignung der Ausgangsdaten für die Hauptkomponenten-Analyse und bedingt die größere Anzahl benötigter Hauptkomponenten.

5.3 Analyse charakteristischer Größen

Die Analyse der zeitbasierten Messgrößen führte wie zuvor gezeigt nicht zur gewünschten Dimensionsreduktion, daher wurde ein alternativer Ansatz gewählt, bei dem nicht die zeitbasierten Größen sondern davon abgeleitete charakteristische Kenngrößen analysiert werden. Diese charakteristischen Größen wurden derart gewählt, dass ein möglichst großer Informationsumfang über die Zyklen erhalten bleibt, das heißt, dass sowohl Dynamik als auch das generelle Betriebsverhalten abgebildet werden. Zusätzlich wurden charakteristi-

sche Größen für die Aktivierungen der einzelnen Diagnosen berechnet und in die weitere Analyse einbezogen. Die derart gewonnenen Informationen geben den Charakter einer Fahrt wider und werden in weiterer Folge mit Hilfe der Hauptkomponenten-Analyse untersucht, um unter Ausnutzung der Zusammenhänge zwischen diesen Größen, die auch hier benötigte Dimensionsreduktion durchführen zu können.

5.3.1 Durchführung

Im ersten Schritt wurden die charakteristischen Größen zur Beschreibung der Fahrten definiert. Diese entsprechen den in Abschnitt 3.1 identifizierten Größen und umfassen die benötigten Informationen zu Dynamik, Stationärpunkten sowie allgemeinen Fahrdaten. Darüber hinaus wurden für jede Diagnose, getrennt nach kritischem und allgemeinem Einschaltbereich, die folgenden Informationen ermittelt:

- Anzahl der Aktivierungen pro Stunde, [1/h]
- Gesamtdauer der aktiven Phasen, [s]
- Gesamtdauer der aktiven Phasen, [%]
- Mittlere Dauer der aktiven Phasen, [s]

Die eigentliche Berechnung wurde wieder mit Hilfe von Matlab und entsprechenden Skripten durchgeführt. Als Datenbasis dienten die vorgefilterten Messdaten, die wieder zentriert und skaliert wurden. Die somit vorliegenden Daten sind für die Hauptkomponenten-Analyse geeignet, benutzt wurde wiederum die robuste Variante der Hauptkomponenten-Analyse aus [29]. Die so erhaltenen Hauptkomponenten ermöglichen die Transformation der ursprüngliche Messdaten in einen neuen, von den Hauptkomponenten aufgespannten Raum. Dieser neue Raum geringerer Dimension stellt die Basis für die weitere Analyse dar. Die Anzahl der notwendigen Hauptkomponenten wurde mit Hilfe von Scree-Plots ermittelt [26]. Diese stellen graphisch die zu den Hauptkomponenten korrespondierenden Eigenwerte nach deren Betrag sortiert dar. Die Kurve fällt für die wichtigsten Hauptkomponenten steil ab und geht ab den vernachlässigbaren Hauptkomponenten in eine flache Kurve über. Jene Hauptkomponenten links dieser Abflachung sind relevant und dürfen nicht verworfen werden, alle anderen Hauptkomponenten werden vernachlässigt [25].

5.3.2 Ergebnisse der Hauptkomponenten-Analyse

Abbildung 5.3 zeigt beispielhaft einen Zyklus der Variante „Handschalter ohne Turbo“, Tabelle 5.2 zeigt einige zugehörige berechnete Kenngrößen. Die auf alle abgeleiteten Größen angewendete Hauptkomponenten-Analyse ergibt die gesuchten Hauptkomponenten von denen die ersten zwei der vier Varianten jeweils den größten Anteil der Varianz erklären. Abbildung 5.4 zeigt den entsprechenden Scree-Plot auf dem anhand des Knicks der Kurve bei Komponente 2 die Anzahl der relevanten Komponenten entnommen werden kann. Abbildung 5.5 zeigt exemplarisch die gesamten Zyklen der Variante 4 im neuen, von diesen beiden Hauptkomponenten aufgespannten Raum. Dabei entspricht jeder einzelne Zyklus einem Messpunkt in der Abbildung. In Anhang C.37 sind die restlichen Ergebnisse für die Varianten 1 bis Variante 3 zu finden.

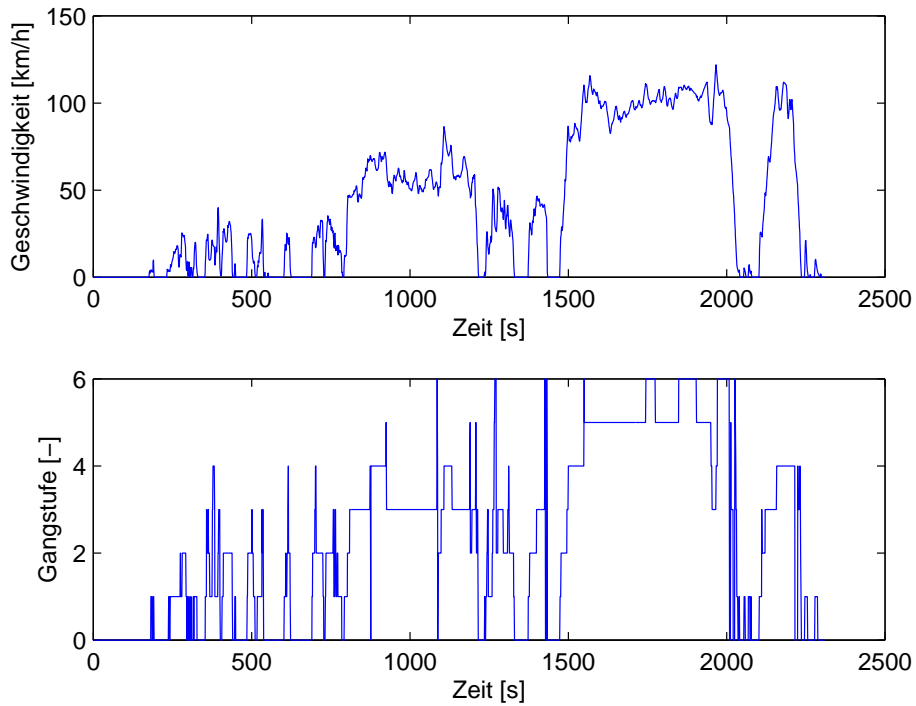


Abbildung 5.3: Die Abbildung zeigt einen beispielhaften Zyklus der Variante 4. Das Geschwindigkeitsprofil ist zusammen mit der gewählten Gangstufe aufgetragen. Tabelle 5.2 zeigt ausgewählte zugehörige charakteristische Größen.

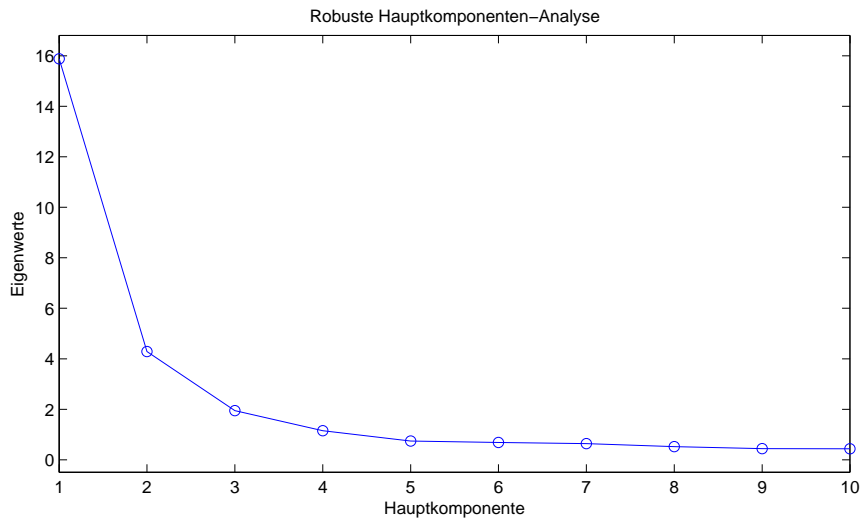


Abbildung 5.4: Der Scree-Plot wurde benutzt um die Anzahl der notwendigen Hauptkomponenten zu bestimmen. Er zeigt die Hauptkomponenten mit den entsprechenden Eigenwerten. Die Hauptkomponenten 3 bis 10 haben verhältnismäßig kleine Eigenwerte und werden somit vernachlässigt.

Charakteristische Größen	Berechneter Wert	Einheit
Median der Fahrzeuggeschwindigkeit	32,9	[km/h]
Median der Leistung	31,5	[kW]
Maximale Leistung	90,07	[kW]
Zeitanteil mit Bremse aktiv	26,4	[s]
Zeitanteil in Bewegung	75,8	[%]
Anzahl Lastsprünge	144	[1/h]
Median Amplitude der Lastsprünge	26	[kW]
Fahrdauer	0,64	[h]
Gefahrene Distanz	27,3	[km]

Tabelle 5.2: Die Tabelle zeigt ausgewählte charakteristische Größen zur Beispielfahrt aus Abbildung 5.3.

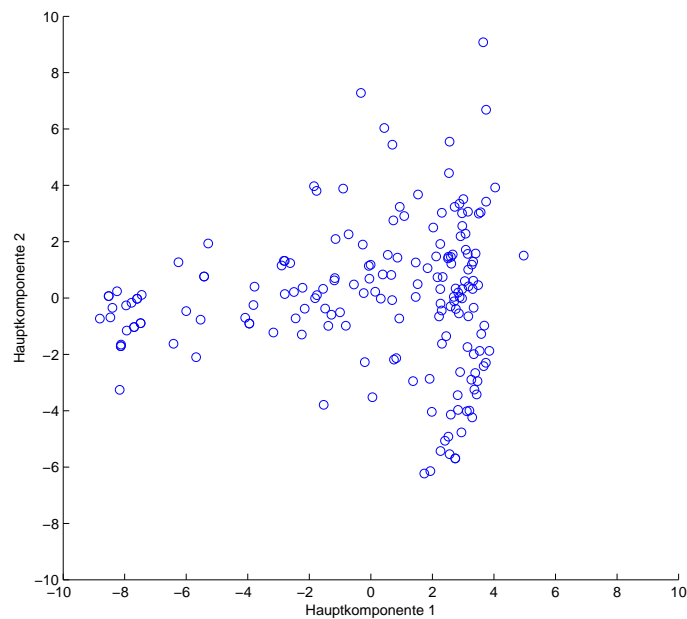


Abbildung 5.5: Die gesamten Zyklen der Variante 4 wurden mit Hilfe der Hauptkomponenten in den neu erzeugten Raum mit Dimension 2 abgebildet. Jeder Zyklus entspricht einem Messpunkt.

Kapitel 6

Durchführung der Cluster-Analyse

Die nun vorliegenden transformierten Daten stellen die Basis für die folgende Cluster-Analyse dar. Mit Hilfe dieser Analyse sollen Ähnlichkeitsstrukturen in den Daten gefunden werden sowie repräsentative Zyklen für die gefundenen Cluster identifiziert werden. Die Menge der repräsentativen Zyklen einer Variante bildet alle vorkommenden Fahrten mit möglichst geringen Datenmengen ab. Die Repräsentanten sollen in einem späteren Schritt die Basis für die Zyklus-Synthese bilden.

6.1 Mathematische Grundlagen

Die Cluster-Analyse geht von einer Menge von Objekten aus. Für diese Menge sollen Untermengen, sogenannte Cluster mit bestimmten Eigenschaften gefunden werden:

- Jeder Cluster soll in sich möglichst homogen sein, d.h. die zu einem Cluster gehörenden Objekte sollen möglichst ähnlich sein.
- Die Cluster selbst sollen möglichst gut getrennt sein. D.h. Objekte in unterschiedlichen Clustern sollen möglichst unähnlich sein.

Man unterscheidet hierarchische Clusterung (startet in einem Zustand in dem jedes Objekt bereits einem Cluster zugeordnet ist) und partitionierende Clusterung (ausgehend von einer geringen Menge an Clustern werden die übrigen Objekte zugeordnet). Die gewählte Methode „Partitionierung um Medoide“ (PAM) verwendet ein partitionierendes Verfahren, dabei werden keine speziellen Cluster vorgegeben, der Algorithmus wählt selbst eine (vorgegebene Anzahl) an Clustern als Ausgangszustand [31]. Der Vorteil von PAM gegenüber anderen Cluster-Verfahren ist die Robustheit gegen Ausreißer (bei geeigneter Wahl des Distanzmaßes) sowie die Möglichkeit der Erzeugung eines Silhouetten-Plots zur Bestimmung der optimalen Anzahl an Clustern. Diese Anzahl ist dem Algorithmus vorzugeben. Die prinzipielle Funktionsweise ist wie folgt:

Berechnung der Ähnlichkeit von Objekten:

Die Ähnlichkeit wird anhand eines Distanzmaßes zwischen den p Objekten x_{ij} bestimmt. Als Maß können z.B. die euklidische Distanz

$$d(i, j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{ip} - x_{jp})^2}, \quad (6.1)$$

die Manhattan-Distanz

$$d(i, j) = |x_{i1} - x_{j1}| + |x_{i2} - x_{j2}| + \dots + |x_{ip} - x_{jp}| \quad (6.2)$$

oder die Minkowski-Distanz

$$d(i, j) = (|x_{i1} - x_{j1}|^q + |x_{i2} - x_{j2}|^q + \dots + |x_{ip} - x_{jp}|^q)^{1/q} \text{ mit } q \geq 2 \quad (6.3)$$

benutzt werden. Die Wahl des Distanzmaßes bestimmt die Qualität des Ergebnisses, so ist z.B. die euklidische Distanz anfällig für Ausreißer in den Daten, die Manhattan-Distanz jedoch wesentlich robuster. Gemein sind folgende Eigenschaften für das Distanzmaß $d(i, j)$ und die Objekte i und j :

- $d(i, j) \geq 0$
- $d(i, i) = 0$
- $d(i, j) = d(j, i)$
- $d(i, i) \leq d(i, h) + d(h, j)$

Erstellung der Ähnlichkeits-Matrix:

Das gewählte Distanzmaß wird zwischen allen Objekten berechnet und bildet somit die Ähnlichkeits-Matrix. Diese stellt wiederum die Grundlage für das eigentliche Clustern dar.

Wahl der initialen Medoide:

Für eine Lösung mit k Clustern werden k Medoide aus der Gesamtmenge der Objekte gewählt. Es sei S die Menge der ausgewählten Medoide und U die Menge der übrigen Objekte. Als erster Medoid wird jenes Objekt gewählt dessen Summe der Distanzen zu allen anderen Objekten minimal ist und somit zu S hinzugefügt. Sodann wird als neuer Kandidat für einen Medoid ein Objekt $i \in U$ gewählt. Es wird ein weiteres Objekt $j \in U \setminus \{i\}$ gewählt und der Abstand D_j von j zum nächsten Medoid aus S ermittelt. Wenn $D_j > d(i, j)$, dann bestärkt Objekt j die Wahl von Objekt i zu einem weiteren Medoiden. Der Beitrag von j zu dieser Entscheidung ergibt sich zu $C_{ij} = \max\{D_j - d(i, j), 0\}$. Dieser Beitrag wird für alle $j \in U$ berechnet und zum Entscheidungsmaß $g = \sum_{j \in U} C_{ij}$ summiert. Dies wird für alle $i \in U$ durchgeführt, gesucht werden jene k Objekte, welche das Entscheidungsmaß g maximieren. Diese k Objekte stellen die initialen Medoide dar [31].

Zuweisen verbliebener Objekte zu Medoiden: Sodann wird jedes verbliebene Objekt, entsprechend dem Distanzmaß, seinem nächsten Medoid zugewiesen. Auf diese Weise entsteht eine initiale Clusterung.

Optimieren des Ergebnisses: Zur Verbesserung des Ergebnisses werden paarweise ein Objekt $i \in S$ und ein weiteres Objekt $h \in U$ vertauscht. Findet sich ein Tausch, der das Entscheidungsmaß weiter optimiert, werden die beiden Objekte i und h vertauscht. Dies wird solange durchgeführt bis keine Verbesserung mehr erreicht wird.

Zuweisen der verbliebenen Objekte: Die verbliebenen Objekte werden im letzten Schritt anhand ihres Distanzmaßes zu den Medoiden zugeordnet und bilden somit die Clusterung.

6.2 Durchführung

Die Umsetzung dieser Schritte erfolgte mit dem freien Statistikprogramm „R“ mit Hilfe der Bibliothek „cluster“ [32]. Zuerst wurde die Ähnlichkeitsmatrix berechnet, als Distanzmaß wurde der euklidische Abstand gewählt, die vorausgegangene Normierung und Hauptkomponenten-Analyse minimiert Probleme mit Ausreißern. Die Ähnlichkeitsmatrix selbst wird als Basis für die Berechnung des PAM-Algorithmus benutzt. Die Anzahl der notwendigen Cluster für eine optimale Aufteilung wird anhand eines Plots der durchschnittlichen Silhouetten-Breite bestimmt. Die Silhouette ist ein Maß dafür wie „gut“ ein Objekt innerhalb seines Clusters liegt. Sie wird wie folgt berechnet:

- Wähle ein Objekt $i \in A$, A ... Cluster zu dem das Objekt gehört.
- Berechne $a(i)$... durchschnittl. Ähnlichkeit von i zu allen anderen Objekten aus A .
- Berechne $d(i, C)$... durchschnittl. Ähnlichkeit von i zu allen Objekten aus einem anderen Cluster $C \neq A$ für alle anderen C .
- Wähle b als minimales $d(i, C)$ mit B als zugehörigen Cluster.
- Silhouette $s(i)$ folgt aus $s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$

Zur Erstellung des Plots wird für eine Cluster-Anzahl von $k = 2$ bis $k = 20$ jeweils die durchschnittliche Silhouetten-Breite $s(i)$ berechnet und gegen den entsprechenden Wert k aufgetragen. Als optimale Cluster-Anzahl wurde jenes k mit der maximalen mittleren Silhouetten-Breite gewählt und die Clusterung mit der entsprechenden Cluster-Anzahl durchgeführt.

6.3 Ergebnisse

Die nachfolgende Diskussion der Ergebnisse stützt sich wieder auf die Resultate für Variante 4. Die Ergebnisse der restlichen Fahrzeugvarianten sind in Anhang D aufgeführt. Abbildung 6.1 zeigt den Silhouetten-Plot, man erkennt ein Maximum der Silhouetten-Breite für eine Anzahl von zwei Clustern. Die Durchführung der Cluster-Analyse liefert als Ergebnis die Grafik in Abbildung 6.2. Darin eingezeichnet sind die einzelnen Zyklen sowie die berechneten Cluster. Darüber hinaus ist der jeweilige Medoid eines jeden Clusters markiert. Fahrten, die nahe diesem Medoid liegen, sind innerhalb des Clusters dem Medoid ähnlicher als jene die näher am Rand des Clusters liegen, Fahrten aus unterschiedlichen Clustern weisen generell unterschiedliche Charakteristiken auf. Die Medoide stellen die Repräsentanten für die jeweiligen Cluster dar und sind die Basis für die nachfolgende Zyklus-Synthese. Abbildung 6.3 und Abbildung 6.4 zeigen die Profile der somit gewählten Zyklen. Tabelle 6.1 zeigt die unterschiedlichen Charakteristiken der beiden Repräsentanten. Medoid 1 repräsentiert eine Fahrt mit großem Hochgeschwindigkeits-Anteil und großem Leistungsbedarf während Medoid 2 eine Fahrt mit niedrigen Geschwindigkeiten und geringem Leistungsbedarf darstellt.

Größe	Einheit	Medoid 1	Medoid 2
Dauer	[h]	0,99	0,05
Distanz	[km]	93,48	0,4
\tilde{v}	[km/h]	117	7
$\leq 20\text{km/h}$	[%]	12	89
$\geq 80\text{km/h}$	[%]	73	0
Gang 1 + Gang 2	[%]	1,6	45
Gang 6	[%]	78,5	0
Leerlauf	[%]	18	57
Stoppanteil	[%]	7,7	37
\tilde{p}	[kW]	44	10,7
Lastwechsel	[1/h]	44	152

Tabelle 6.1: Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Charakteristiken der beiden berechneten Medoide. Medoid 1 zeigt eine typische Charakteristik für eine Fahrt auf einer Autobahn während Medoid 2 eine Fahrt mit niedriger Geschwindigkeit repräsentiert.

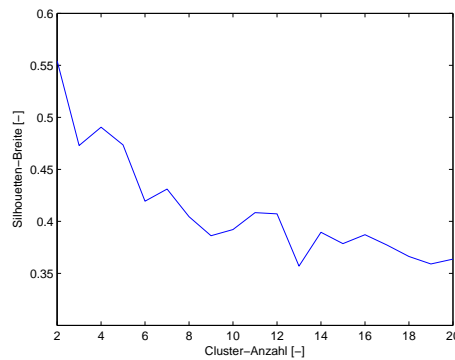


Abbildung 6.1: Silhouetten-Plot der Variante „Handschalter ohne Turbo“, anhand des Maximums der Kurve kann die optimale Anzahl der Cluster gewählt werden.

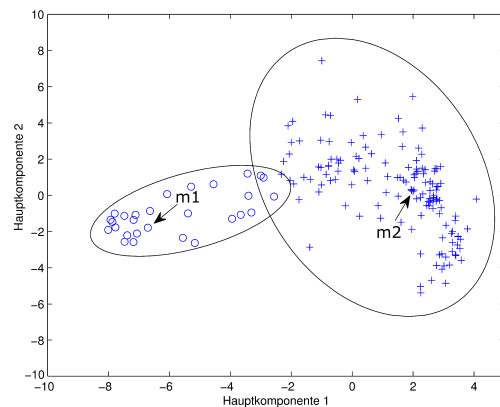


Abbildung 6.2: Ergebnis der Cluster-Analyse der Variante „Handschalter ohne Turbo“. Die Medoide sind hervorgehoben, die Ellipsen dienen der Veranschaulichung der Cluster.

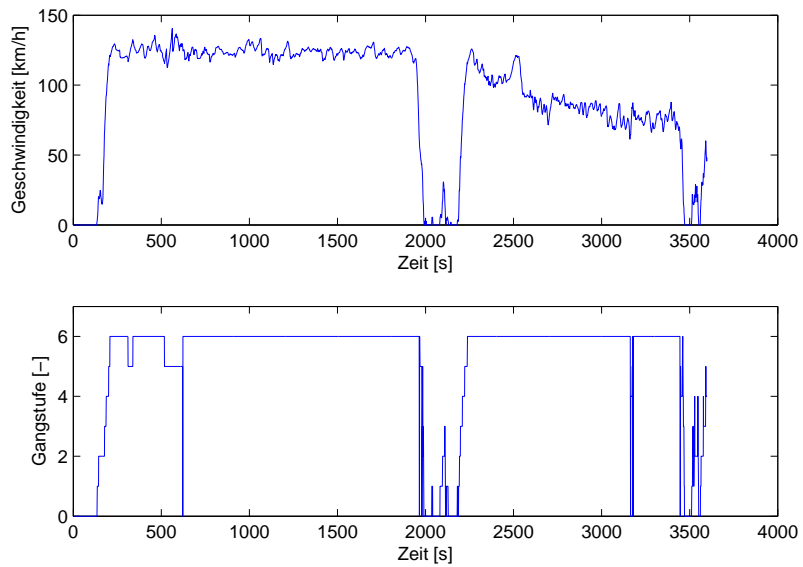


Abbildung 6.3: Das Geschwindigkeitsprofil des Medoid 1 zeigt einen Zyklus mit großem Anteil hoher Geschwindigkeit, die Dauer der Fahrt ist entsprechend groß.

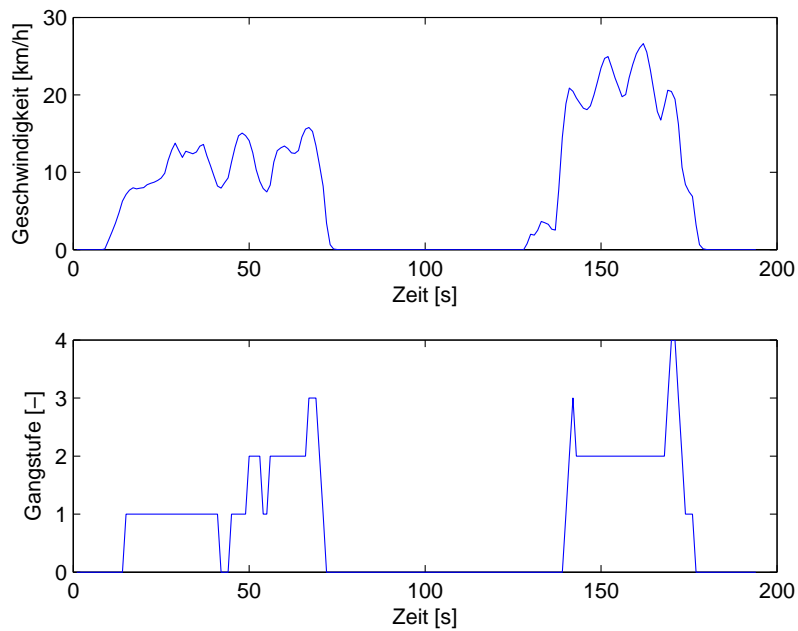


Abbildung 6.4: Im Gegensatz zum Profil des Medoid 1 zeigt das Profil des Medoid 2 eine kurze Fahrt mit geringer Geschwindigkeit und entsprechend niedrigeren Gängen.

Kapitel 7

Synthese der Fahrzyklen

Unter der Synthese von Fahrzyklen versteht man das Erzeugen neuer Fahrzyklen, typischerweise basierend auf gesammelten Daten. Diese neuen Zyklen sollen die zugrundeliegenden Daten möglichst gut verkörpern und deren Zustandsabfolgen entsprechend abbilden.

Der Vergleich von berechneten Kenngrößen der Ursprungsdaten bzw. von Kenngrößen aus anderen Untersuchungen (wie z.B. dem Artemis-Projekt [5]) mit jenen der synthetisierten Zyklen ermöglicht Aussagen über die Qualität. Kenngrößen können z.B. mittlere und maximale Geschwindigkeiten, Dynamiken oder Beschleunigungen sein, aber auch Häufigkeiten von Ereignissen bzw. deren zeitlicher Anteil an einem Zyklus [23]. Die in Kapitel 6 für jede der vier Varianten identifizierten Repräsentanten dienen im Folgenden als Ausgangsdaten für weitere Berechnungen.

7.1 Grundlagen

7.1.1 Diskrete Markov-Ketten

Die Markov-Kette wurde als Methode zur Zyklussynthese auf Grund der Einfachheit der Implementierung gewählt. Darüber hinaus ermöglicht die Markov-Kette das Einbringen einer Varianz in die Zykluserzeugung, die für die Generierung mehrerer unterschiedlicher Testzyklen gewünscht ist. Mit Hilfe der Markov-Kette ist die Angabe einer Wahrscheinlichkeit für das Erreichen eines speziellen Zustandes x_i eines Systems in Abhängigkeit der Vorgeschichte dieses Systems möglich. Die Markov-Kette ist ein stochastischer Prozess X auf einem diskreten Zustandsraum (7.1) mit der Eigenschaft P , x_1 bis x_m stellen die endliche Menge möglicher Zustände dar. Die Eigenschaft P (7.2) besagt allgemein, dass der zukünftige Zustand X_{n+1} nur von den m vergangenen Zuständen abhängt [23].

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\} \tag{7.1}$$

$$\begin{aligned} P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_0 = x_0) = \\ = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, \dots, X_{n-m+1} = x_{n-m+1}) \end{aligned} \tag{7.2}$$

Von besonderem Interesse sind Markov-Ketten erster Ordnung, dabei vereinfacht sich die Eigenschaft P wie in Gleichung (7.3) dargestellt [24] [23]. Das heißt der zukünftige Zustand X_{n+1} ist nur mehr vom aktuellen Zustand X_n abhängig:

$$P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n, X_{n-1} = x_{n-1}, \dots, X_0 = x_0) = P(X_{n+1} = x_{n+1} | X_n = x_n) \quad (7.3)$$

Dies bedeutet, dass der jeweilige Folgezustand mit Hilfe der Markov-Kette berechnet werden kann, wenn alle möglichen Zustände bekannt sind und der Anfangszustand vorgegeben ist.

7.1.2 Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix

Die Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix soll genutzt werden, um ausgehend von einem Startzustand eine möglichst wahrscheinliche Abfolge von Folgezuständen abzuleiten. Dazu muss jedoch erst ermittelt werden welcher Folgezustand für einen gegebenen Zustand der wahrscheinlichste ist. Die Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix enthält für jeden möglichen Zustand die Übergangswahrscheinlichkeiten in jeden anderen Zustand sowie die Wahrscheinlichkeit für das Verbleiben im aktuellen Zustand. Dementsprechend ergibt sich die Dimension dieser Matrix für m mögliche Zustände zu m^2 . Die Wahrscheinlichkeiten $p_{ij} := P(x_{n+1} = j | x_n = i)$ geben die Übergangswahrscheinlichkeit für einen Übergang von Zustand X_i nach X_j an. Für die Summe der Übergangswahrscheinlichkeiten von einem Zustand ausgehend muss gelten [24]:

$$\sum_j p_{ij} = \sum_j P(x_{n+1} = j | x_n = i) = 1 \quad (7.4)$$

Um diese Matrix erstellen zu können ist es notwendig, den kontinuierlichen Zustandsraum zu diskretisieren. Durch Vorgabe einer genügend kleinen konstanten Schrittweite, bzw. Angabe einer genügend großen Anzahl von Schritten, lässt sich z.B. der Betrag der Geschwindigkeit in verschiedene Stufen diskretisieren, die zeitliche Diskretisierung erfolgt durch entsprechende zeitdiskrete Verarbeitung der Messsignale. Im derart diskretisierten Zustandsraum kann nun die Anzahl der Übergänge von Zustand x_i nach x_j gezählt werden. Es ergibt sich eine Übergangshäufigkeits-Matrix mit der gleichen Dimension der Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix.

Mit Hilfe der Übergangshäufigkeits-Matrix lassen sich die Übergangswahrscheinlichkeiten für N_{ij} Übergänge von Zustand x_i nach x_j sowie insgesamt N_i Übergängen von Zustand x_i ausgehend bestimmen [23]:

$$p_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i} \quad (7.5)$$

Durch Berechnung dieser Wahrscheinlichkeit für jeden der m^2 möglichen Übergänge kann die Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix gebildet werden. Sie hat somit folgende Eigenschaften:

- Für jeden, in den zugrundeliegenden Daten, vorkommenden Übergang enthält die Matrix die entsprechende Übergangswahrscheinlichkeit.

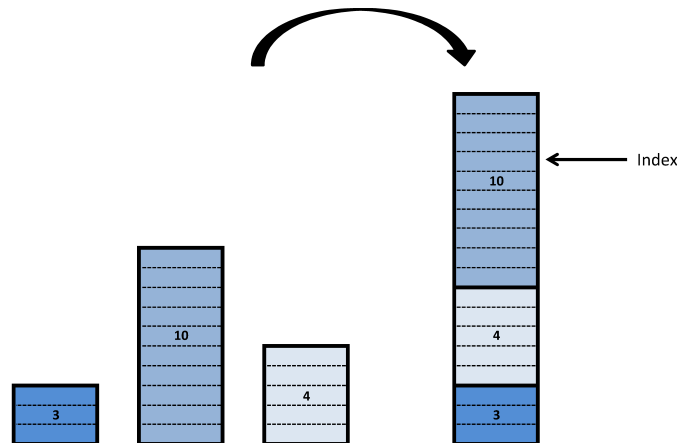


Abbildung 7.1: Der gewichtete Zufallsgenerator repräsentiert die Gewichte als Vektoren, durch Konkatenieren der Einzelvektoren ergibt sich der rechte Summenvektor aus dem per Zufall ein Index ausgewählt wird.

- Für Zustandsübergänge, die in den Ursprungsdaten nicht vorkommen, beträgt die Übergangs-Wahrscheinlichkeit $p = 0$.
- Große Gradienten in den Ursprungsdaten bewirken einen Übergang in (in der Matrix) nicht benachbarte Zustände - die Dynamik wird entsprechend abgebildet. Dies bedeutet, dass in den gemessenen Zyklen vorkommende Dynamik korrekt abgebildet wird und Dynamik, die nicht in den Messdaten vorkommt von der Markov-Kette ebenfalls nicht erzeugt wird.

7.1.3 Ermittlung des nächsten Zustands

Basis für die Ermittlung des nächsten Zustands bildet die Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix sowie die Angabe eines Ausgangszustands. Um mit einer einzigen Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix mehrere Kandidaten für Fahrzyklen ableiten zu können, dürfen nicht nur die wahrscheinlichsten Übergänge als nächster Übergang gewählt werden. Um die Wahl des nächsten Zustandsübergangs zu ermöglichen und eine Varianz in den Prozess einzuführen wird ein gewichteter Zufallsgenerator eingesetzt, als Gewichte dienen die Zustandsübergangs-Wahrscheinlichkeiten. Dieser gewichtete Zufallsgenerator wurde in Form einer Matlab-Funktion implementiert. Das Funktionsprinzip des gewichteten Zufallsgenerators wird anhand der Abbildung 7.1 dargelegt. Die Gewichte werden als Vektoren unterschiedlicher Länge repräsentiert. Durch Konkatenieren ergibt sich ein Gesamtvektor. Die unterschiedlichen Längen der Teilvektoren bewirken die Gewichtung bei zufälliger Wahl eines Index aus dem Gesamtvektor.

Auf diese Weise werden auch weniger wahrscheinliche Übergänge gewählt und bewirken bei jedem erneuten Durchlauf des Prozesses eine Variation des Ergebnisses. Durch wiederholtes Bestimmen des nächsten Zustands lässt sich aus der Zustandsabfolge ein Kandidat für einen Test-Zyklus ermitteln.

7.2 Durchführung

Der gesamte Algorithmus zum Diskretisieren der kontinuierlichen Größen, zum Zählen der Übergangshäufigkeiten, zum Erstellen der Übergangshäufigkeitsmatrix und Durchführung der Markov-Kette wurde wiederum in Matlab als Skripte und Funktionen umgesetzt. Die einzelnen Messdateien der repräsentativen Zyklen wurden eingelesen, anschließend erfolgt die Diskretisierung der Daten. Dazu werden die kontinuierlichen Messwerte in Abhängigkeit ihres Betrags auf eine vorgegebene Anzahl an Stufen umgerechnet. Bei der Durchführung der Synthese wurden 120 Stufen benutzt. Dies bedeutet beispielsweise für die Fahrzeuggeschwindigkeit bei einer angenommenen Maximalgeschwindigkeit von 200 km/h eine Intervallbreite von 1,7 km/h. Entsprechend kleinere Intervallbreiten sind durch Vorgabe einer größeren Stufenanzahl möglich, jedoch bewirkt die mit der Ordnung $O(m^4)$ wachsende Größe der Übergangsmatrix im Zusammenspiel mit der Speicherverwaltung von Matlab eine Limitierung. Eine Erhöhung der Stufenanzahl auf 200 (Verringerung der Intervallbreite auf 1km/h) ließ sich auf Grund des hohen Speicherbedarfs nicht mehr berechnen. Eine Stufenbreite von etwa 2 km/h wird jedoch problemlos verarbeitet und ist für den geforderten Zweck ausreichend. Eine Einschränkung des Maximalwertes auf geringere Werte lässt weiteren Spielraum offen. Ein Beschränken auf die jeweiligen in der Messung vorkommenden Maximalwerte ist nur möglich wenn die Übergangsmatrix ausschließlich auf einem einzigen Zyklus basierend gebildet wird. Nach der Diskretisierung der Messdaten werden die Zustandsübergänge analysiert und die Häufigkeiten für alle vorkommenden Übergänge gezählt und in die Übergangshäufigkeits-Matrix eingetragen.

Parallel dazu werden die Startzustände der verarbeiteten Messdaten separat in einem Vektor gespeichert. Dies ist notwendig um für nachfolgende Schritte einen Anfangszustand wählen zu können von dem ausgehend eine Zustandskette abgeleitet werden kann. D.h. der gewählte Anfangszustand muss zwingend Übergangswahrscheinlichkeiten größer als Null in Folgezuständen besitzen. Nach Berechnung der Übergangswahrscheinlichkeiten entsprechend Formel 7.5 liegt die Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix vor. Tabelle 7.1 zeigt schematisch die Struktur dieser Matrix. Im eigentlichen Synthese-Schritt wird aus der Menge der Startzustände zufällig ein Vertreter gewählt und die Markov-Kette, d.h. die Zustandsabfolge von diesem Startzustand aus gebildet.

Typischerweise ist ein Testzyklus nicht beliebig lange, da er in der Praxis auf einem Rollenprüfstand oder einer Teststrecke nachgefahren werden können soll. Nach jedem Zustandsübergang werden Dauer und Distanz des bisher ermittelten Zyklus als Abbruchbedingung für die Erstellung der Markov-Kette geprüft. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nicht jede beliebige Kombination dieser beiden Größen möglich ist. Die zu Grunde liegenden realen Zyklen bestimmen die gefahrenen Geschwindigkeiten und somit direkt die zurückgelegte Distanz. Deshalb wird ausschließlich die Zyklusdauer als obere Grenze für die Länge des berechneten Testzyklus, und somit als Abbruchbedingung für die Markov-Kette, eingeführt. Weiters zu beachten ist die Möglichkeit vor Erreichen der Abbruchbedingung einen Endzustand der zugrundeliegenden Daten zu erreichen. Die Summe der Übergangswahrscheinlichkeiten aus einem solchen Endzustand ist typischerweise Null, der Zyklus würde bis zum Erreichen der Abbruchbedingungen in diesem Zustand verweilen. Dementsprechend ist ein solcher Fall abzufangen und bei Eintreten die Synthese erneut zu starten.

Nachdem die Abbruchbedingung der Markov-Kette erfüllt ist, liegt der fertige Fahr-

Von:	Nach:	$X_{1,1}$	$X_{1,2}$	...	$X_{i,j}$	...	$X_{m,m}$
$X_{1,1}$		$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	...	$p_{i,j}$	...	$p_{1,m}$
$X_{1,2}$		$p_{2,1}$					
.		.					
.		.					
.		.					
$X_{i,j}$		$p_{i,j}$					
.		.					
.		.					
.		.					
$X_{m,m}$		$p_{m,1}$			...		$p_{m,m}$

Tabelle 7.1: Die Übergangswahrscheinlichkeits-Matrix enthält für jeden möglichen Zustand die Übergangswahrscheinlichkeit in jeden anderen Zustand sowie die Wahrscheinlichkeit des Verweilens im aktuellen Zustand.

zyklus in Form eines Geschwindigkeitsverlaufes sowie eines dazu passenden Gangverlaufes vor. Abschließend werden die folgenden charakteristischen Größen für den erstellten Zyklus berechnet:

- Mittlere Geschwindigkeit
- Zurückgelegte Distanz
- Leerlauf-Anteil der Zyklus-Länge
- Anzahl der Stopps pro Kilometer
- Mittlere positive Beschleunigung
- Maximale Geschwindigkeit

Nachdem bei der Berechnung dieses Zyklus ein Zufallsgenerator Einfluss nimmt, ergeben sich für wiederholte Durchläufe jeweils Fahrzyklen mit unterschiedlicher Charakteristik. Diese wird nun mit vorgegebenen Zielwerten verglichen (siehe Tabelle 7.2), stimmen die Werte mit einer vorgebbaren Abweichung überein wurde ein passender Testzyklus generiert und der gesamte Algorithmus bricht ab und gibt für Geschwindigkeit und Ganginformationen je einen Vektor gleicher Länge zurück. Der Algorithmus erzeugt iterativ neue Zyklen wenn die Anforderungen nicht erfüllt wurden. Als Abweichung der Zielwerte wurde während der Berechnung ein Betrag von 20 Prozent definiert.

7.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Fahrzeugvariante „Handschalter ohne Turbo“ werden im Folgenden präsentiert, die Ergebnisse der anderen Varianten sind im Anhang E zu finden. Abbildung 7.2 zeigt das Profil des resultierenden Testzyklus für niedrige Geschwindigkeiten, Tabelle 7.2 können die charakteristischen Größen entnommen werden. Den Testzyklus für höhere

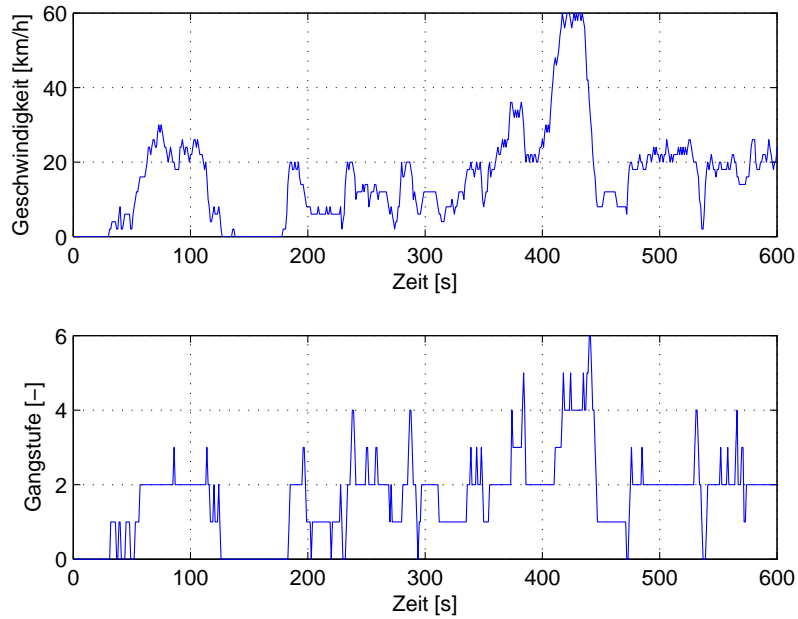


Abbildung 7.2: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante „Handschalter ohne Turbo“. Dieser Testzyklus zielt auf langsame Geschwindigkeiten ab. Die zugehörigen charakteristischen Größen sind Tabelle 7.2 zu entnehmen.

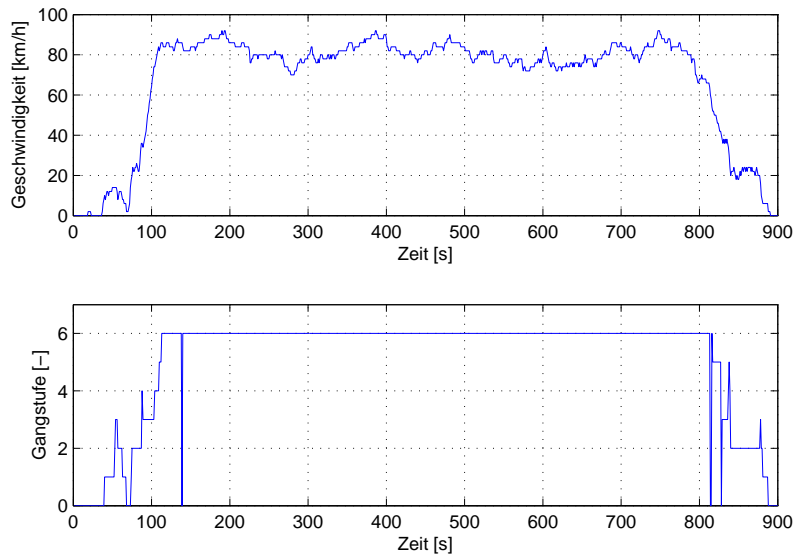


Abbildung 7.3: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante „Handschalter ohne Turbo“. Dieser Testzyklus zielt auf langsame Geschwindigkeiten ab. Die zugehörigen charakteristischen Größen sind Tabelle 7.2 zu entnehmen.

	Zielwerte			Charakteristische Größen					
	v_{max} [km/h]	\bar{v} [km/h]	Dauer [s]	\bar{v} [km/h]	v_{max} [km/h]	Distanz [km]	Leerlauf [%]	Stopps [1/km]	a [m/s ²]
langsam:	60	20	600	15,86	60	2,64	13	0,76	1,69
schnell:	150	80	900	67,85	92	16,96	5	0,12	3,53

Tabelle 7.2: Charakteristische Größen für die Testzyklen mit hoher sowie langsamer Geschwindigkeit der Variant 4.

Geschwindigkeiten stellt Abbildung 7.3 dar, die entsprechenden charakteristischen Größen sind ebenfalls der Tabelle 7.2 zu entnehmen.

Der Vergleich mit den charakteristischen Größen, die im Zuge des ARTEMIS-Projektes der EU (siehe [7]) gesammelt wurden, zeigt deutliche Unterschiede zu den berechneten Testzyklen. Die Zyklen wurden im Rahmen des ARTEMIS-Projektes in städtische Zyklen und Autobahnzyklen eingeteilt. Diesem Projekt zufolge haben Stadtzyklen eine mittlere Geschwindigkeit \bar{v} zwischen 19 km/h und 25 km/h, eine zurückgelegte Distanz zwischen 2 km und 5 km, einen Leerlaufanteil zwischen 20 Prozent und 36 Prozent sowie eine Stillstandshäufigkeit zwischen 1,8 und 2,1 Stopps pro Kilometer. Für Autobahnzyklen liegt \bar{v} bei ca. 92 km/h, der Leerlaufanteil bei ca. 5 Prozent und die Stillstandshäufigkeit bei ca. 0,09 Stops pro Kilometer. Durch Wiederholen der Zyklussynthese lassen sich weitere Testzyklen generieren deren charakteristische Größen variieren, allerdings nicht den Größen aus dem ARTEMIS-Projekt gleichen. Die Daten auf denen die Synthese basiert sind offenbar zu verschieden von den benutzten Zyklen des ARTEMIS-Projektes. Dies zeigt wiederum, dass für die Vergleichbarkeit mit realem Kundefahrverhalten die Messdaten ausschließlich aus derart freien Fahrten stammen sollten. Der Einfluss der Fahrcharakteristik von Applikateuren zeichnet sich ansonsten stark ab.

Kapitel 8

Verifikation

Die Verifikation dient der Überprüfung der erstellten Testzyklen. Sie soll zeigen ob die Diagnosen des OBD-Systems beim Nachfahren der Geschwindigkeitsprofile aktiv sind und ein gültiges Ergebnis berechnen. Zusätzlich soll gezeigt werden, ob die vom Modell berechneten Bereiche mit aktivierten Diagnosen mit den realen übereinstimmen. Dazu werden die Testzyklen exemplarisch für eine Variante geprüft indem sie auf einer Teststrecke sowie im Straßenverkehr überprüft werden.

8.1 Vorbereitung der Mess-Software

Um die Geschwindigkeitsprofile auf einer Teststrecke nachfahren zu können, ist es notwendig, zu jedem Zeitpunkt die korrekte Geschwindigkeit und den passenden Gang zu wählen. Um diese Informationen während der Fahrt verfügbar zu haben, wird die Software „Drivers Aid“ der Fa. AVL genutzt, diese stellt graphisch einen einzuhaltenden Geschwindigkeitskorridor mit entsprechender Ganginformation dar. Gleichzeitig ermöglicht die Software eine Verbindung zur eigentlichen Mess-Software INCA der Fa. ETAS herzustellen und die Aufzeichnung der Messwerte automatisch zu starten. Die Geschwindigkeits- sowie Ganginformationen werden von Drivers Aid im XML-Format erwartet und müssen aus den Matlab-Daten entsprechend erst erstellt werden. Nach Import der Daten zeigt sich die Oberfläche in Abbildung 8.1, hier für den Testzyklus mit niedriger Geschwindigkeit für die Fahrzeugvariante 4.

Zum Messen der Systemgrößen wurde die Software INCA der Fa. ETAS benutzt. Diese Software ermöglicht das Erstellen und Verwalten sogenannter Experimente und stellt die Verbindung über eine Schnittstelle mit der Motorsteuerung her. Die Anpassungen von INCA umfassen grundlegende Einstellungen wie die aktuell benutzte Software der Motorsteuerung, Anpassungen an das benutzte Interface sowie die Auswahl aller notwendigen Systemgrößen in einem wählbaren Zeitraster. Das benutzte Experiment ist in Abbildung 8.2 dargestellt, es unterteilt sich in einen Überblicks-Bereich mit graphischen Darstellungen zu den wichtigsten Größen sowie weitere Bereiche die alle notwendigen Größen wie Temperaturen und Drücke, Angaben zu Momenten und binär dargestellten Betriebszuständen zusammen mit dem Inhalt des Fehlerspeichers enthält. Es wurde der Arbeit aus [33] entnommen.

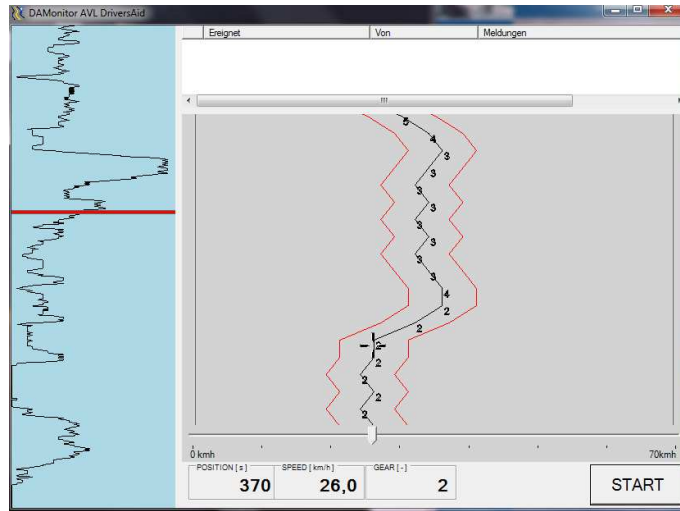


Abbildung 8.1: Drivers Aid dient dem Nachfahren von Fahrzyklen. Geschwindigkeit und Gang werden graphisch vorgegeben.

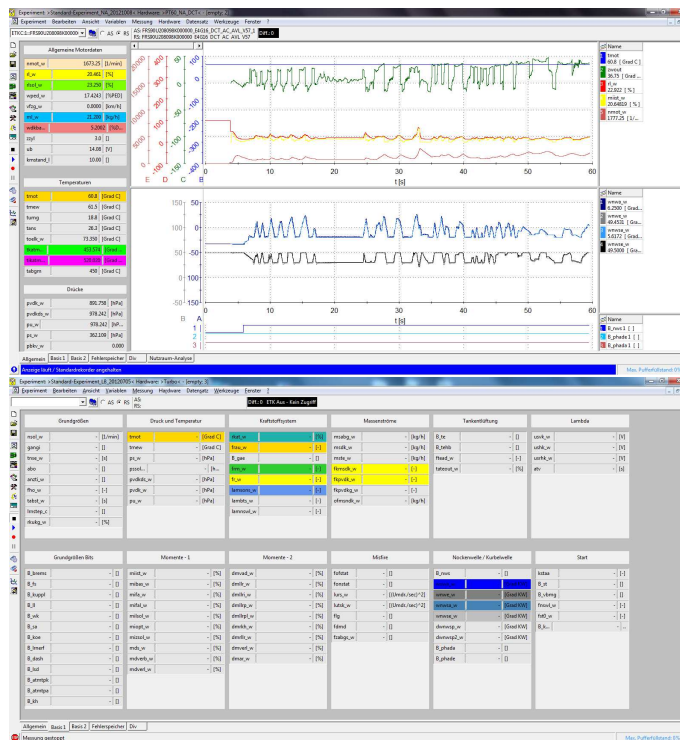


Abbildung 8.2: INCA der Fa. ETAS wurde zur Aufzeichnung des Messgrößen benutzt. Das hierzu erstellte Experiment unterteilt sich in einen Bereich graphischer Darstellungen sowie in weitere Bereiche mit textueller Darstellung.

8.2 Durchführung der Messungen

Die Messungen wurden für die Fahrzeugvariante 2 durchgeführt. Messfahrten für den Zyklus mit niedriger Geschwindigkeit wurden auf der Teststrecke der AVL LIST GmbH durchgeführt, sie ist ein Rondeau mit einer Länge von 1185m und erlaubt das sichere Fahren von Testzyklen abseits des realen Verkehrs. Die Fahrten für den Zyklus mit hohen Geschwindigkeiten wurden auf einer öffentlichen Autobahn durchgeführt, da Konstantfahrten mit einer Geschwindigkeit von 130 km/h auf der Teststrecke nicht möglich sind. Nach Start der Aufzeichnung wurden mit Hilfe von AVL Drivers Aid die Testzyklen nachgefahren und die sich ergebenden Systemgrößen mit INCA gemessen und jede Fahrt für die spätere Analyse abgespeichert. Im Anschluss daran wurden die Messdaten mit Hilfe der im Kapitel 4 entwickelten Matlab/Simulink-Modelle analysiert um die Aktivierungen der einzelnen Diagnosen zu analysieren. Zusätzlich wurden logische Signale mitgemessen die bei Diagnoseaktivierung auf „wahr“ gesetzt werden, somit kann das Modell mit den realen Diagnose-Aktivierungen verglichen werden. Die aktiven Zustände der Diagnosen können als farbliche Bereiche im Geschwindigkeitsprofil dargestellt werden sowie als Verlauf eines binären Signals unter dem Geschwindigkeitsprofil. Zusätzlich wurde in Matlab ein Skript zur Erzeugung von Heatmaps implementiert, diese stellen die Häufigkeit der Diagnoseaktivierungen sowie die Dauer der aktiven Phasen für einen schnellen Überblick graphisch dar.

8.3 Ergebnisse

Abbildung 8.3 zeigt das gemessene Geschwindigkeitsprofil im Vergleich zum vorgegebenen Profil. Die vorhandenen Unterschiede zwischen beiden Zyklen sind ausreichend gering um die Messwerte dieser Fahrt für die Verifikation zu qualifizieren. Abbildung 8.4 bis 8.6 zeigen die durch das Modell berechneten Aktivierungen der Diagnosen graphisch im Geschwindigkeitsprofil sowie zusätzlich die real gemessenen Diagnoseaktivierungen. Abbildung 8.4 ermöglicht den Vergleich zwischen den modellierten und den in der Realität mitgemessenen Aktivierungen. Man erkennt eine Übereinstimmung in den Aktivierungen der Nockenwellen-Diagnose. Ebenso gute Übereinstimmung erkennt man in Abbildung 8.5 sowohl für die additive als auch multiplikative Kraftstoffsystem-Diagnose. Die guten Übereinstimmungen für Nockenwellen- und Kraftstoffsystem-Diagnosen zeigen, dass das Modell in der Lage ist, die Diagnose-Aktivierungen korrekt zu bestimmen, wenn nicht zu viel Informationen während der Analyse der Diagnosen vernachlässigt werden. Darüber hinaus zeigt sich, dass der Testzyklus in der Lage ist die Diagnosen zu aktivieren und gültige Ergebnisse berechnen zu lassen. Weiters zeigt Abbildung 8.4 die Aktivität der Katalysator-Diagnose. Das Modell zeigt häufige und lange Aktivierungen, dem gegenüber steht die Messung der realen Aktivierungen die keine Aktivität der Diagnose zeigt. Die fälschlich angezeigten Aktivierungen der Katalysator-Diagnose können durch eine zu starke Vereinfachung der Einschaltbedingungen dieser speziellen Diagnose erklärt werden. Da die Ergebnisse der Berechnung der Diagnose-Aktivierungen in die Hauptkomponenten-Analyse einfließen, erfordert die Korrektur dieses Fehlers eine erneute Durchführung der gesamten Methodik ab der Analyse der Diagnosen. Die gute Übereinstimmung der Ergebnisse der anderen Diagnosen zeigt, dass die entsprechenden Einschaltbedingungen für diese Diagnosen ausreichend umfassend gewählt wurden. Es zeigt sich, dass der Schritt

der Auswahl der relevanten Parameter starken Einfluss auf die Qualität des Endergebnisses hat. Die Informationen über reale Aktivierungen der restlichen Diagnosen konnten nicht mitgemessen werden. Tabelle 8.1 stellt diese Informationen dar. Man erkennt, dass die Nockenwellen-Diagnose fast permanent aktiv ist und die einzelnen Phasen sehr lange dauern. Dem gegenüber steht z. B. die Diagnose der Lambdasonden-Zyklusdauer, diese wurde laut Modell zwar insgesamt 26 mal aktiviert, die Phasendauer ist mit ca. ein bis drei Sekunden kurz.

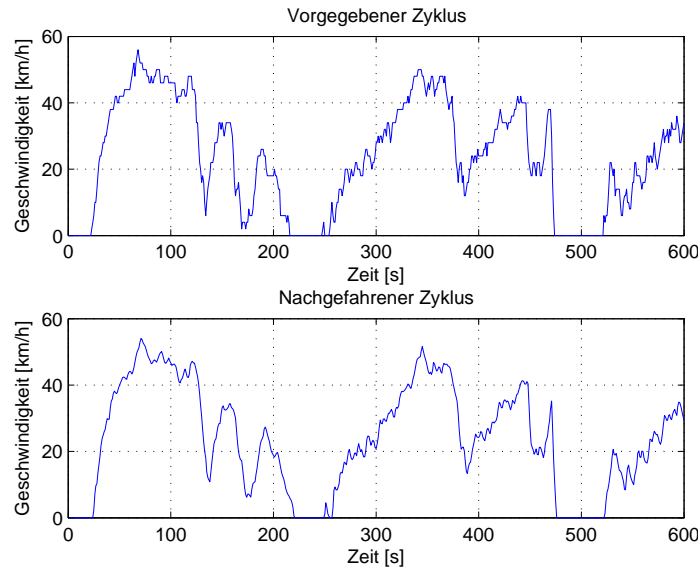


Abbildung 8.3: Die Abbildung zeigt den Vergleich des vorgegebenen Testzyklus mit dem nachgefahrenen Profil. Die Unterschiede sind ausreichend gering um diese Fahrt für die Verifikation zu qualifizieren.

Die Abbildungen 8.8 bis 8.12 zeigen die Häufigkeitsverteilung der modellierten Diagnosedauern. Aufgetragen sind die Häufigkeiten der unterschiedlichen Dauern der Diagnose-Aktivierungen. Zusätzlich farblich und als Zahlenwert dargestellt sind die Anteile dieser Längen an der gesamten Zyklusdauer. Man erkennt auch hier bei der Nockenwellen-Diagnose in Abbildung 8.8 die seltene Aktivierung, dafür jedoch mit sehr langen Phasen sodass die Diagnose fast die gesamte Fahrt aktiv ist. Die kritischen Bereiche führten zwar häufiger zu Diagnose-Aktivierungen, sind aber deutlich kürzer. Die Verteilung aus Abbildung 8.10 für die Lambdasonden-Diagnosen zeigt insgesamt häufige, aber mit ca. ein bis zwei Sekunden Dauer kurze Aktivierungen. Der Vergleich mit dem Zyklus für hohe Geschwindigkeiten zeigt Unterschiede z.B. bei der Lambdasonden-Zyklusdauerdiagnose. Diese ist beim schnellen Testzyklus 128 mal mit einer Gesamtdauer von 348 Sekunden aktiv gewesen. Ebenso zeigt sich ein großer Unterschied bei der Lambdasonden-Offsetdiagnose, diese startete 109 mal für eine Gesamtdauer von 460 Sekunden und war somit deutlich öfter und länger als beim langsamen Zyklus aktiv. Die Leerlaufregler-Diagnose hingegen war nur zwei mal aktiv. Die Katalysator-Diagnose wurde beim schnellen Zyklus tatsächlich aktiviert, die Dauer der aktiven Phasen war ausreichend lange (in Summe mind. 30 Sekunden) um ein gültiges Ergebnis im ersten Drittel der Fahrt berechnen zu können.

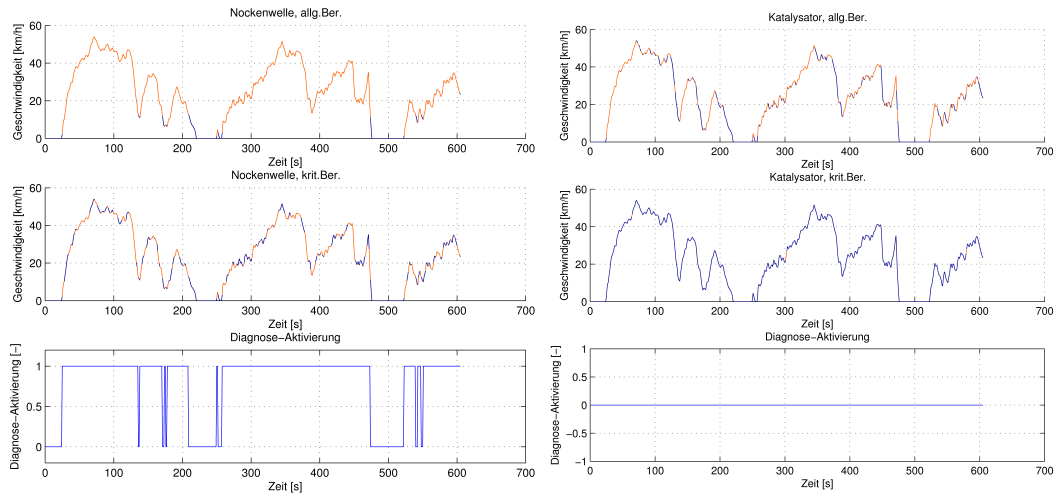


Abbildung 8.4: Aktivierungen der Nockenwellen- und Katalysatordiagnose für allgemeinen und kritischen Bereich. Farblich dargestellt sind die modellierten Diagnoseaktivierungen. Zusätzlich dargestellt sind die realen Diagnoseaktivierungen.

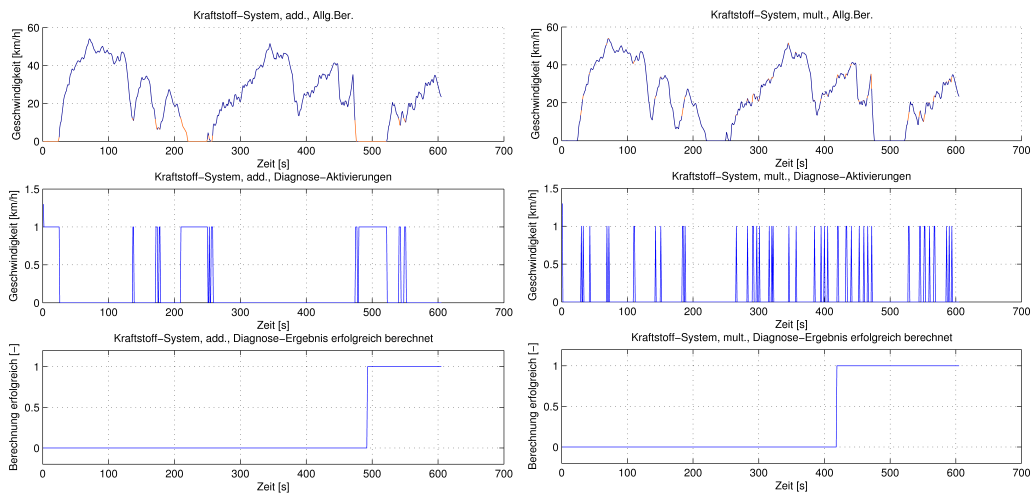


Abbildung 8.5: Aktivierungen der additiven und multiplikativen Kraftstoffsystem-Diagnose für den allgemeinen Bereich. Farblich dargestellt sind die modellierten Diagnoseaktivierungen. Zusätzlich dargestellt sind die realen Diagnoseaktivierungen sowie das Signal, das ein gültiges Diagnoseergebnis anzeigt.

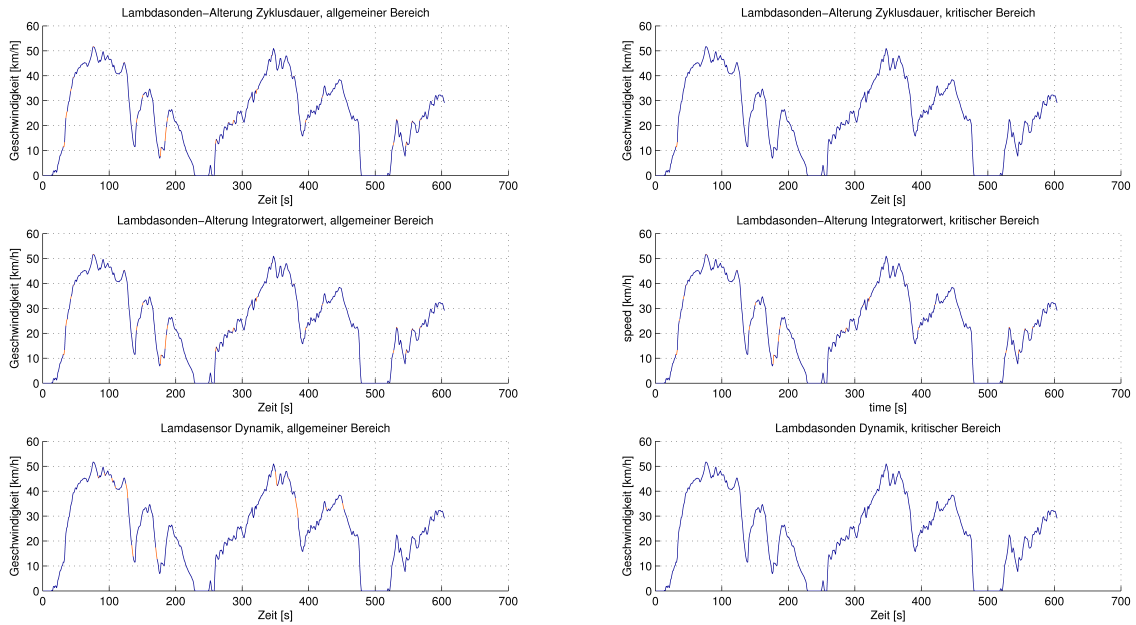


Abbildung 8.6: Aktivierungen der Lambdasonden-Diagnosen für allgemeine und kritische Bereiche.

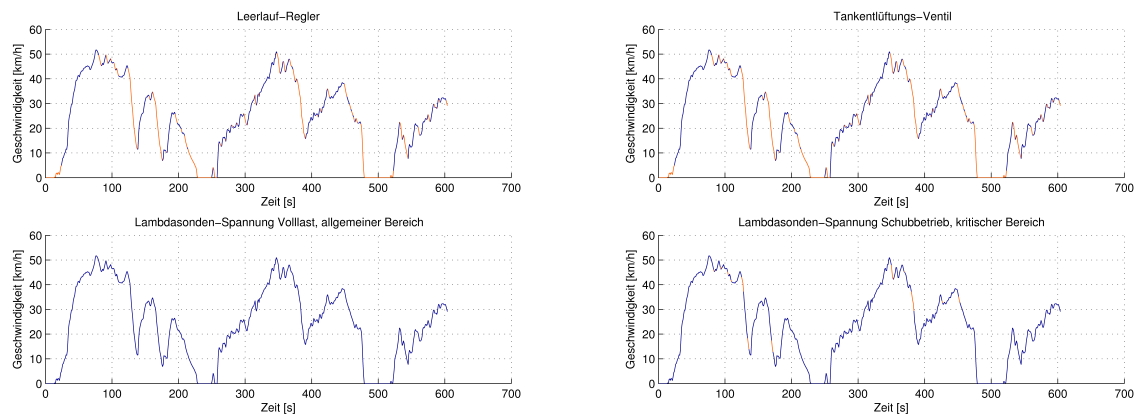


Abbildung 8.7: Aktivierungen der Leerlaufregler-Diagnose, Tankentlüftungsventil-Diagnose, Lambdasonden-Diagnose für Volllast und Schubbetrieb.

Diagnose	Anzahl	Gesamtdauer [s]	Durschnittl. Dauer [s]
Nockenwelle, allg. Ber.	7	478,3	68,3
Nockenwelle, krit. Ber.	44	363,3	8,23
Katalysator, allg. Ber.	78	312,3	4
Katalysator, krit. Ber.	4	5,3	1,33
Kraftstoff-System, additiv.	10	129,3	12,93
Kraftstoff-System, multipikativ	39	49,3	1,26
λ -Sonde Zyklus, allg. Ber.	25	31,3	1,25
λ -Sonde Zyklus, krit. Ber.	1	3,3	3,3
λ -Sonde Offset, allg. Ber.	25	32,3	1,29
λ -Sonde Offset, krit. Ber.	23	28,3	1,23
λ -Sonde Dynamik, allg. Ber.	12	23	1,94
Leerlauf-Regler	44	245,3	5,58
Tankentlüftung	44	245,3	5,58
λ -Sonde Spannung, Schub	12	23,3	1,94

Tabelle 8.1: Die Tabelle zeigt für jede lt. Modell durchgeführte Diagnose die Anzahl, die Gesamtdauer und die durchschnittliche Länge der Aktivierungen.

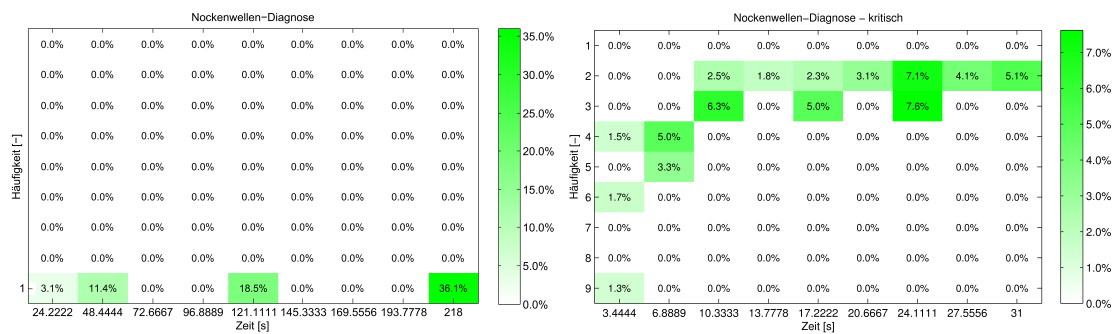


Abbildung 8.8: Häufigkeitsverteilung der Nockenwellendiagnose-Phasen und ihrer Längen. Aufgetragen sind die Häufigkeiten der jeweiligen Längen der Diagnose-Aktivierungen. Farblich und als Zahlenwert dargestellt sind zusätzlich die zeitlichen Anteile an der gesamten Zyklus-Dauer.

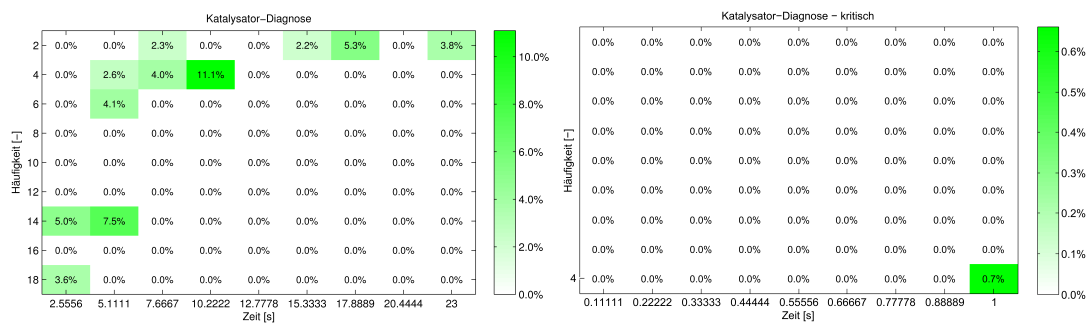


Abbildung 8.9: Häufigkeitsverteilung der Katalysatordiagnose-Phasen und ihrer Längen.

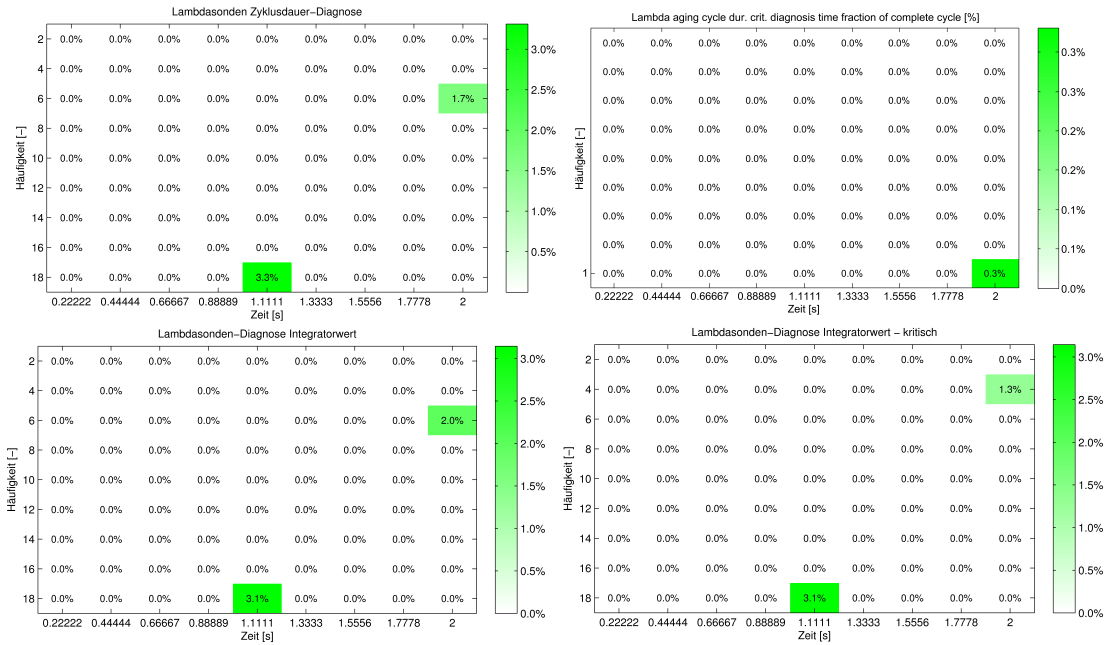


Abbildung 8.10: Häufigkeitsverteilung der Lamdasondendiagnose-Phasen und ihrer Längen.

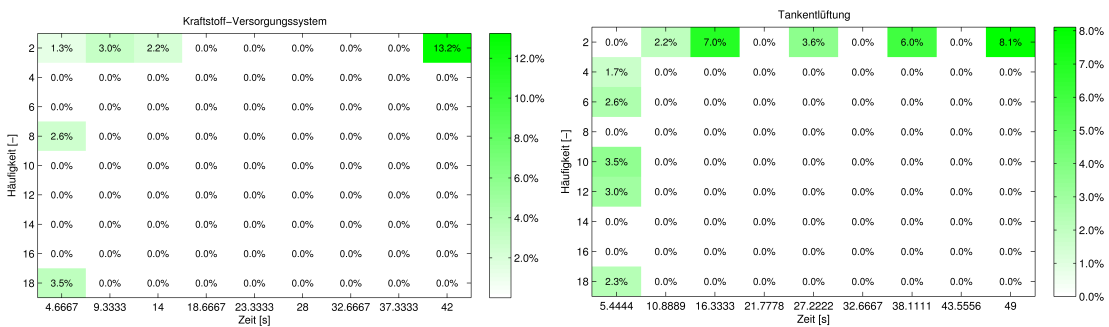


Abbildung 8.11: Häufigkeitsverteilung der Kraftstoffsystemdiagnose-Phasen sowie Tankentlüftungsdiagnose-Phasen und ihrer Längen.

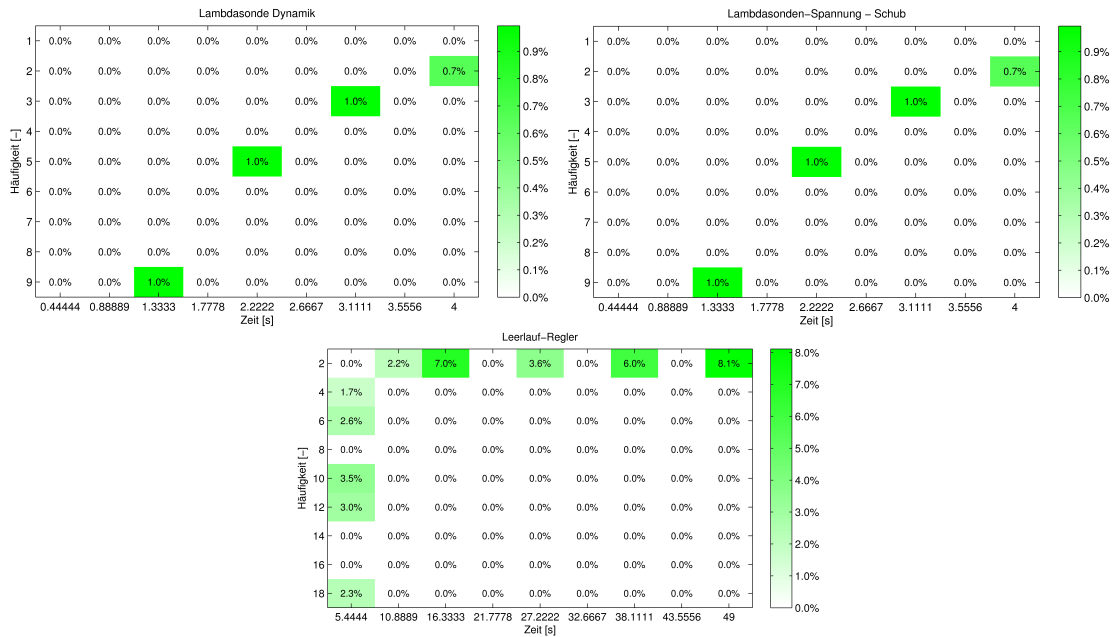


Abbildung 8.12: Häufigkeitsverteilung der Lambdasondendynamik-Diagnose, der Leerlaufregler-Diagnose und der Diagnose der Lambdasondorspannung im Schub.

Die Qualität des Gesamtergebnisses ist stark abhängig von den Messdaten auf denen die Analyse basiert. Diese Messdaten entstammen nicht aus gewöhnlichem Betrieb der Fahrzeuge sondern zu einem überwiegenden Teil aus Testfahrten zur Applikation von Steuerungsfunktionen. Dem geschuldet sind Testzyklen, die nicht das Fahrverhalten von Endkunden darstellen, sondern typische Fahrten aus dem Alltag der Applikations-Entwicklung. Ein besonderes Problem stellen die uneinheitlichen Experimente der Mess-Software INCA dar. Die gemessenen Größen sind nicht vereinheitlicht, das bedeutet, dass benötigte Messgrößen in vielen Zyklen nicht vorhanden und diese dadurch ungeeignet für die Analyse sind. Ein einheitliches Experiment würde hier Abhilfe leisten. Ebenfalls problematisch erwies sich die Identifikation der Messfahrten selbst. Die Einteilung in Testzyklen wie z.B. den FTP-75 musste über Berechnung typischer Werte erfolgen da die Kommentare in den Messdaten nicht ausreichend genutzt werden. Ein Rückschliessen vom Dateinamen auf den Inhalt der Daten war in der Regel ebenfalls nicht möglich. Die Qualität der Ergebnisse kann ebenfalls durch Optimierung der Vorverarbeitung der Daten gesteigert werden. Die Entwicklung einer hochrobusten Zentrierung und Skalierung der Ausgangsdaten unterdrückt Ausreißer effektiver und ergibt stabilere Ergebnisse. Die Vorverarbeitung wirkt sich ebenfalls günstig auf die Robustheit der Cluster-Analyse aus und führt zu kompakteren bzw. besser getrennten Gruppierungen. Weiters ließe sich die Verifikation in Kombination mit modellierten Motorsteuerungen auch ohne reale Testfahrt verifizieren und somit die Überprüfung deutlich vereinfachen.

Kapitel 9

Zusammenfassung

Zur Erfüllung der Auflagen des Gesetzgebers bezüglich einer permanenten Diagnose abgasrelevanter Systeme durch die Motorsteuerung sind umfangreiche Tests mit Prototypen notwendig. Diese Tests werden bisher basierend auf Erfahrung der Entwickler durchgeführt, sie können daher Lücken in der Überprüfung aufweisen. Zur Verbesserung der Absicherung von Diagnose-Ergebnissen wurden Testzyklen entwickelt, sie enthalten ein Geschwindigkeitsprofil und Informationen über die zu wählende Gangstufe und ausschließlich Betriebspunkte sowie Dynamiken die während der Entwicklungsfahrten vorkommen. In einem Vorbereitungsschritt wurden abzusichernde Diagnosen identifiziert und anhand der Dokumentation der Motorsteuerungs-Software dafür relevante Größen ermittelt. Als Grundlage dient eine Vielzahl von Messdateien für vier Varianten. Diese mussten vor der Verarbeitung von Messfahrten auf Rollenprüfständen und anderen Testzyklen bereinigt werden. Anschließend wurde das Nutzungsverhalten basierend auf den verbliebenen Messdaten hinsichtlich von Zusammenhängen der Geschwindigkeit, Leistung usw. analysiert und graphisch dargestellt. Dies ermöglicht einen Überblick über die Art der Benutzung der Fahrzeuge. Als Vorbereitung der Synthese von Testzyklen wurden die gemessenen Größen mit Hilfe der multivariaten Methode der Hauptkomponenten-Analyse auf eine geringe Menge relevanter abgeleiteter Größen, den Hauptkomponenten, reduziert und somit die Komplexität der weiteren Schritte verringert. Anschließend wurden unter Anwendung der Cluster-Analyse Repräsentanten für jede der Fahrzeugvarianten identifiziert, diese dienen in weiterer Folge als Grundlage für die Testzyklus-Synthese. Diese basiert auf der Erstellung einer Zustandsübergangs-Wahrscheinlichkeits-Matrix aus der mit Hilfe eines gewichteten Zufallsgenerators ein Nachfolgezustand zum aktuellen Zustand ermittelt wird. Die Synthese ist erfolgreich wenn der entwickelte Zyklus bestimmte Kriterien erfüllt. Abschließend wurden die ermittelten Testzyklen zur Verifikation auf einer Teststrecke nachgefahren und die Aktivierungen der Diagnosen analysiert und die Ergebnisse graphisch dargestellt. Es zeigt sich, dass bei geeigneter Wahl der zu analysierenden Eingangsgrößen der Diagnosen eine Modellierung der Diagnoseaktivierungen mit ausreichender Qualität möglich ist. Vernachlässigen von relevanten Parametern führt jedoch zu falschen Ergebnissen des Modells und somit zu fehlerhaften Berechnungen der Aktivierungen der entsprechenden Diagnose. Die erarbeitete Methodik dient als Basis für weitere Entwicklungen zur Optimierung der Absicherung und kann mit geringen Änderungen an beliebige Projekte und Motorsteuerungen angepasst werden. Somit können Testzyklen für die Applikations-Ingenieure vorgegeben werden die eine systematische Überprüfung der Diagnosen ermöglichen.

Anhang A

Randbedingungen der Arbeit

Die Definition der Randbedingungen soll generelle Beschränkungen festlegen. Dies umfasst die Festlegung von Herkunft sowie Format der Messdaten sowie der zu benutzenden Software. Weiters wurde eine Einschränkung der zu analysierenden Diagnosen getroffen.

Die Daten wurden bei Testfahrten mit den folgenden vier verschiedenen Fahrzeugvarianten mit Otto-Motor gesammelt:

- 1,6l Sauger, 4 Zylinder, 4 Ventile - Handschalter sowie Automatik mit Doppelkupplungsgetriebe
- 1,6l Turbo, 4 Zylinder, 4 Ventile - Handschalter sowie Automatik mit Doppelkupplungsgetriebe

Die Messdaten liegen im Format der Messsoftware INCA der Fa. ETAS vor. Da die Daten nicht im Hinblick auf die Erstellung der Nutzraum-Analyse gesammelt wurden, sind die Messgrößen und Abstraten nicht einheitlich und müssen entsprechend vorbereitet werden.

Die zu benutzenden Software-Pakete umfassen von der Fa. AVL bereits eingesetzte sowie frei erhältliche Pakete:

- Programmierumgebung Lazarus, eine freie Variante der Entwicklungsumgebung Delphi, für das Vorfiltern der Messdaten.
- Matlab zur Erstellung von Modellen und Durchführung von Analysen.
- „R“, ein freies Statistik-Paket, eingesetzt zur Berechnung der Cluster-Analyse.

Die folgenden Diagnosen wurden zur Analyse identifiziert:

- Nockenwellen-Steller-Diagnose.
- Katalysator-Diagnose.
- Schubumluft-Ventil-Diagnose.
- Kraftstoff-Versorgungssystem-Diagnose.
- Leerlaufregler-Diagnose.

- Tankentlüftungsventil-Diagnose.
- Lambdasonden-Diagnose.
- Turbolader-Diagnose.

Katalysator- und Lambdasondendiagnose weisen die größte Komplexität auf und sind somit von speziellem Interesse im Rahmen der Absicherung. Bei der Auswahl der restlichen Diagnosen wurde darauf geachtet keine Diagnosen elektrischer System (Durchgängigkeitsprüfung, Kurzschlussprüfung usw.) in die Analyse aufzunehmen.

Anhang B

Vorverarbeitung der Messdaten

B.1 Sammeln der Messdaten

Die zu analysierenden Messdaten stammen aus mehreren von der Fa. AVL durchgeführten Projekten und haben die gleiche Motorsteuerung als Basis. Die Daten wurden mit Hilfe der Messsoftware INCA der Fa. ETAS aufgezeichnet und entstammen unterschiedlichen Erprobungen (Höhe-, Hitze-, Kälteerprobung), diversen Applikationsfahrten und Transfers von und zu den Erprobungsorten. In Summe wurden ca. 11000 Messungen gesammelt und in weiterer Folge gefiltert, den entsprechenden Fahrzeugvarianten zugeordnet und anschließend der eigentlichen Nutzraumanalyse zugeführt.

B.2 Filtern der Messdaten

Die Messdaten mussten in einem ersten Schritt von Fahrten auf Rollenprüfständen, nachgefahrenen Testzyklen sowie unplausiblen Messungen bereinigt werden. Dazu wurden zuerst Kriterien zum Erkennen der jeweiligen Fahrten definiert und im Folgenden mit allen Fahrten verglichen.

Filtern von Fahrten am Rollenprüfstand:

Die Filterung erfolgte anhand von in den Messdaten abgespeicherten Kommentaren sowie anhand der Benennung der Messdaten selber. Zum automatisierten Auslesen und Filtern der Kommentare aus den binären Messdaten wurde mit Hilfe der Software „Lazarus“, einer freien Variante der Entwicklungsumgebung „Delphi“, in der Sprache „Pascal“ eine Anwendung entwickelt. Die entwickelte Software liest die Kommentare, die an einer fixen Position am Anfang der Messdaten abgespeichert sind aus, entfernt Steuerzeichen und filtert die so erhaltenen Kommentare im Klartext anhand von vorgegebenen Schlagworten zur Erkennung von Prüfstandsfahrten.

Erkennung unplausibler Messungen:

Eine erste Analyse der Messdaten offenbarte Messdateien mit unplausiblen Informationen. D.h. diese Messungen enthalten Angaben zu Geschwindigkeit, Distanz oder Dauer der Messung die in der Realität nicht erreicht werden können und somit offensichtlich fehlerhaft sind. Diese defekten Messdaten führten im ersten Durchlauf der

Analyse zu starken Verfälschungen der Ergebnisse und mussten entsprechend entfernt werden. Das Filtern dieser fehlerhaften Messungen wurde mit Hilfe von Matlab vorgenommen, dieses bietet frei verfügbare Bibliotheken und Funktionen zum Einlesen der Messdaten. Auf Grund fehlender Informationen über die gesamte Struktur der Messdateien wurde die Überlegung einer Auswertung mit selbst erstellter Software verworfen.

Filtern von nachgefahrenen Testzyklen:

Die Messdaten enthielten zu Beginn eine Vielzahl an nachgefahrenen Testzyklen, diese würden bei der Analyse ebenfalls das Ergebnis verfälschen und sind somit zu entfernen. Diese Testzyklen können anhand bestimmter Kenngrößen erkannt werden. Tabelle 1.2 listet für die zwei wichtigsten Zyklen NEDC und FTP-75 die benutzten charakteristischen Größen auf. Durch Definition einer Bandbreite um die jeweiligen charakteristischen Werte konnten auch geringfügig abweichende Zyklen erkannt werden.

Filtern von Messungen die benötigte Informationen nicht enthalten:

Eine große Menge der Messungen enthielt nicht die benötigten Informationen und musste aussortiert werden. Diese Filterung führte zur größten Reduktion an Messdaten.

Klassifizierung nach Fahrzeug-Variante:

Zur Vergleichbarkeit der Daten müssen sie zuerst in die vier untersuchten Fahrzeugvarianten eingeteilt werden:

- Handschalter mit Turbolader
- Handschalter ohne Turbolader
- Doppelkupplungsautomat mit Turbolader
- Doppelkupplungsautomat ohne Turbolader

Die Unterscheidung anhand der Kommentare bzw. Messdatei-Namen war nicht möglich, deshalb wurden die Messdaten selbst zur Klassifizierung benutzt. Aufgeladene und nicht aufgeladene, saugende Variante lassen sich sehr leicht anhand der relativen Luftfüllung unterscheiden. Die relative Luftfüllung wird standardmäßig bei Fahrten mitgemessen und ist ein Maß für den Luftgehalt des Zylinders. Sie wird definiert als das Verhältnis der aktuellen Luftmenge im Zylinder zur Luftmenge bei einem Druck $p_0 = 1013 \text{ hPa}$ und einer Temperatur $T_0 = 273 \text{ K}$. Somit lassen sich die Maxima der bei einer Fahrt erreichten relativen Luftfüllungen zum Klassifizieren nach folgender Regel nutzen:

$\text{Maximum}(\text{relative Luftfüllung}) \leq 100\text{Prozent} \implies \text{Frei saugender Motor}$

$\text{Maximum}(\text{relative Luftfüllung}) \geq 100\text{Prozent} \implies \text{Aufgeladener Motor}$

Die Unterscheidung nach Handschalter oder Doppelkupplungsautomat erfolgt über das logische Signal, das die Betätigung der Kupplung anzeigt. Dieses Signal ist bei der Doppelkupplungsvariante auch bei Gangwechseln permanent Null.

Anhand dieser Logik wurden alle verbliebenen Messdateien analysiert und entsprechend in die vier Varianten eingeteilt. Dabei ist anzumerken, dass einzelne Fahrten

Variante	Automatik	Turbolader	Analysierte Messfahrten
Variante 1	Ja	Ja	117
Variante 2	Ja	Nein	170
Variante 3	Nein	Ja	510
Variante 4	Nein	Nein	178
Gesamt			983

Tabelle B.1: Gefilterte Messdateien nach Varianten aufgeteilt

unter Umständen falsch klassifiziert werden (wenn z.B. nie richtig Gas gegeben wurde). Somit ergab sich nach Filterung der Messungen die Aufteilung und Anzahl der Messdateien aus Tabelle B.1.

Die so gefundenen Messdateien wurden in weiterer Folge analysiert und verarbeitet.

B.3 Qualität der Messdaten

Die Qualität der Messdaten wird anhand der folgenden Parameter beurteilt:

- Herkunft der Messdaten
- Vorhandensein benötigter Informationen

Die Messdaten stammen aus diversen Erprobungen, Überstellungen und Entwicklungsfahrten. Sie bieten ein großes Spektrum an Einsatzbereichen, -temperaturen und -höhen. Dennoch wurden die Messdaten nicht von Endkunden eingefahren, sondern von Mitarbeitern der Fa. AVL im Raum der EU. Dies bedeutet unter anderem, dass die Ergebnisse der Analyse nicht ohne Weiteres auf andere geographische Regionen übertragen werden können. Speziell Daten, die während Entwicklungsfahrten gewonnen wurden sind oft nicht repräsentativ für einen Endkunden. Fahrten zur Anpassung der Software-Funktionen weisen häufig lange Leerlaufphasen, sehr geringe Geschwindigkeiten und weitere Charakteristiken auf, die im normalen Betrieb nicht, oder zumindest seltener, vorkommen.

Jede Messfahrt besteht aus einer Menge an gespeicherten Sensorinformationen, die Wahl der gespeicherten Sensorinformationen obliegt dem jeweiligen Mitarbeiter und wird typischerweise anhand der zu bearbeitenden Funktion getroffen, somit enthalten nur sehr wenige Messdateien Informationen zu den Sensoren von allen Diagnosen. Wünschenswert wäre eine Standardisierung der gemessenen Sensorinformationen mit dem Ziel alle notwendigen Informationen für jede Diagnose einzubeziehen. Die Reduktion der großen Menge an Messdaten von ca. 11000 Messungen auf ca. 1000 verbleibende Messungen macht deutlich, dass die Qualität der Messdaten für die Analyse als mangelhaft einzustufen ist.

Anhang C

Abbildungen

C.1 Ergebnisse der Nutzraum-Analyse

C.1.1 Variante „Handschalter mit Turbolader“

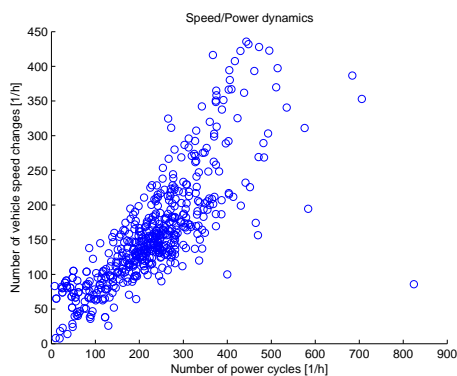


Abbildung C.1: Zusammenhang zwischen Anzahl der Leistungsänderungen und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen beim Handschalter mit Turbolader.

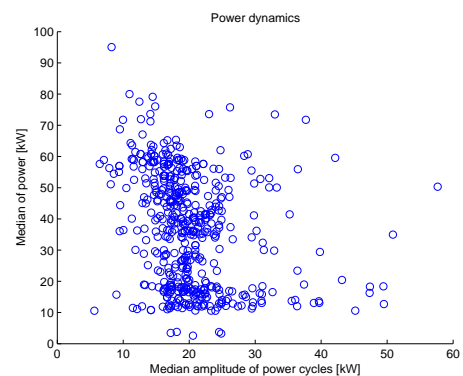


Abbildung C.2: Zusammenhang zwischen Betrag der Leistungsänderung und dem Leistungsmedian der Zyklen beim Handschalter mit Turbolader.

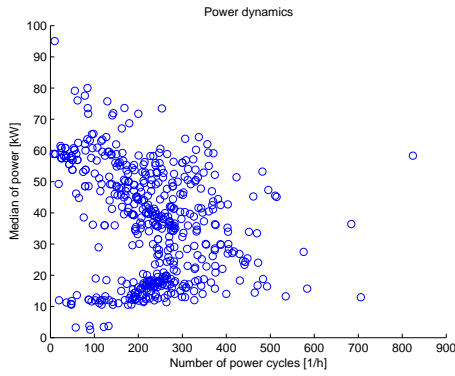


Abbildung C.3: Zusammenhang zwischen Anzahl der Leistungsänderungen und dem Leistungsmedian der Zyklen beim Handschalter mit Turbolader.

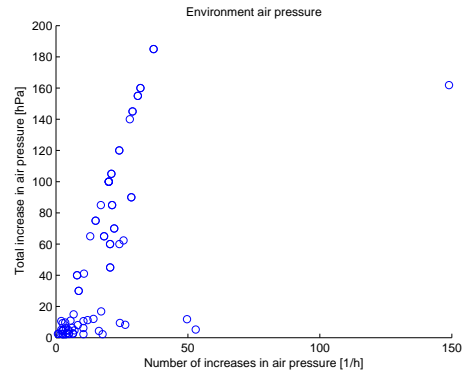


Abbildung C.4: Die Luftdruckänderung als schwacher Indikator für Höhenänderungen beim Handschalter mit Turbolader.

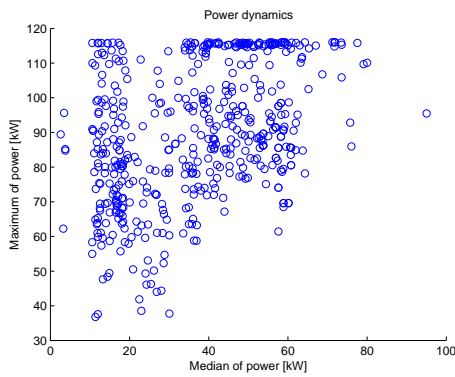


Abbildung C.5: Zusammenhang zwischen dem Leistungsmedian und der maximal vorkommenden Leistung im Zyklus beim Handschalter mit Turbolader.

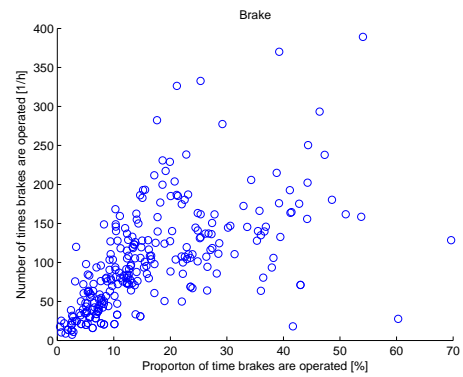


Abbildung C.6: Das Bremsverhalten beim Handschalter mit Turbolader.

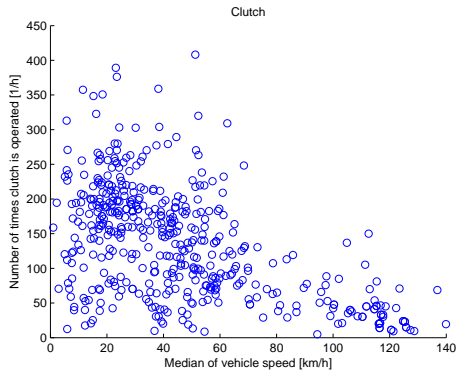


Abbildung C.7: Die Kupplungsbenutzung beim Handschalter mit Turbolader.

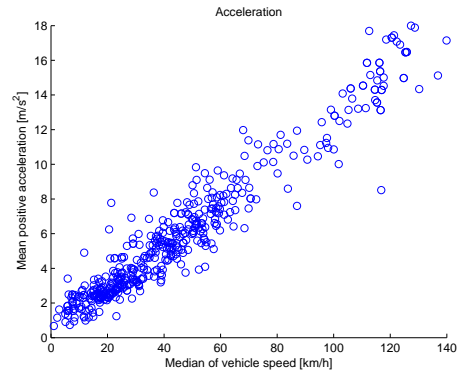


Abbildung C.8: Zusammenhang zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit eines Zyklus beim Handschalter mit Turbolader.

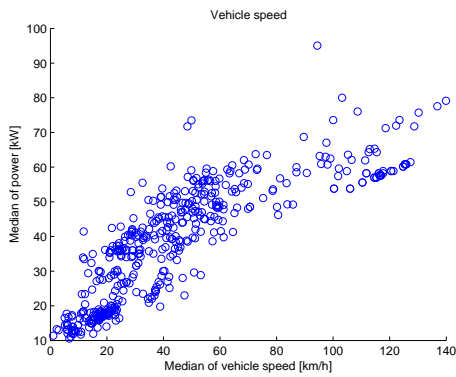


Abbildung C.9: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und dafür benötigter Leistung beim Handschalter mit Turbolader.

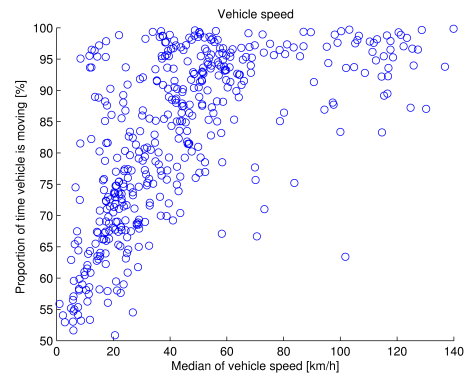


Abbildung C.10: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und zeitlichem Anteil der Bewegungsphasen beim Handschalter mit Turbolader.

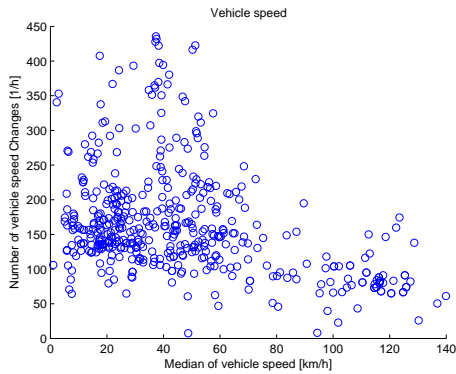


Abbildung C.11: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen beim Handschalter mit Turbolader.

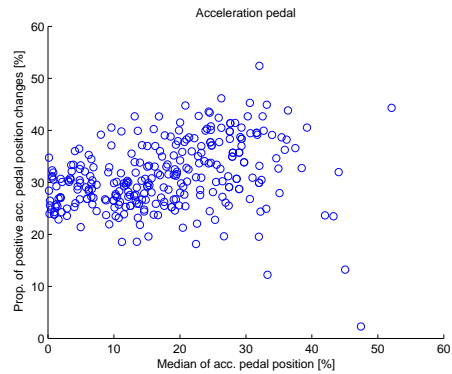


Abbildung C.12: Beschreibung der Gaspedalbetätigung beim Handschalter mit Turbolader.

C.1.2 Variante „Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader“

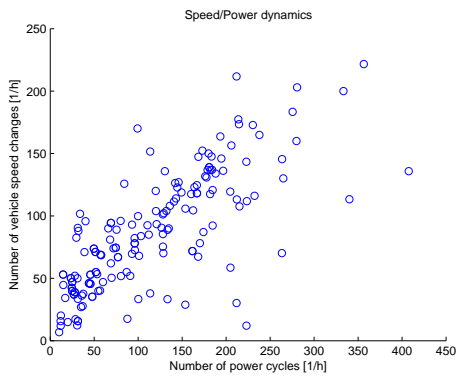


Abbildung C.13: Zusammenhang zwischen Anzahl der Leistungsänderungen und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

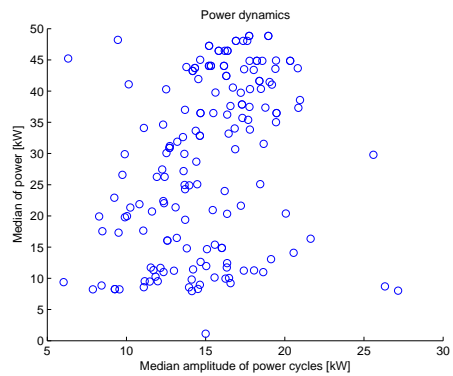


Abbildung C.14: Zusammenhang zwischen Betrag der Leistungsänderung und dem Leistungsmedian der Zyklen beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

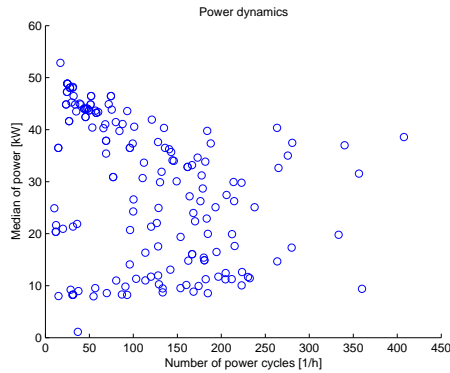


Abbildung C.15: Zusammenhang zwischen Anzahl der Leistungsänderungen und dem Leistungsmedian der Zyklen beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

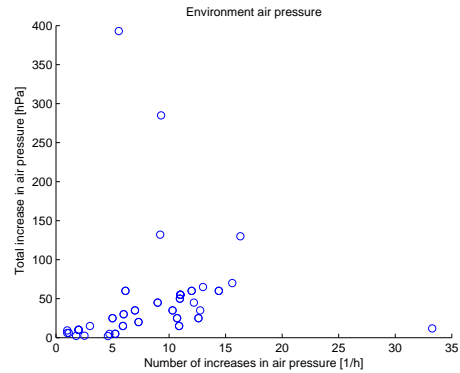


Abbildung C.16: Die Luftdruckänderung als schwacher Indikator für Höhenänderungen beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

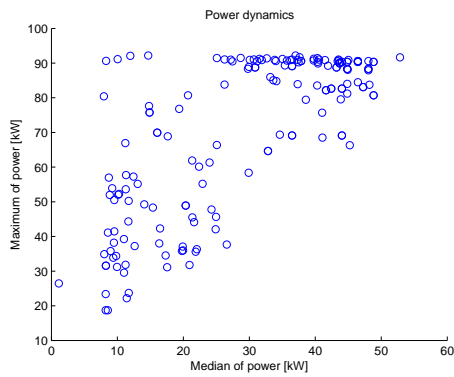


Abbildung C.17: Zusammenhang zwischen dem Leistungsmedian und der maximal vorkommenden Leistung im Zyklus beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

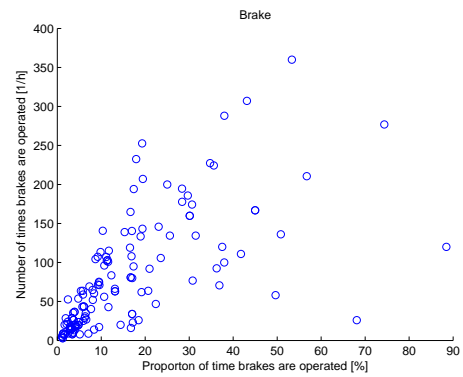


Abbildung C.18: Das Bremsverhalten beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

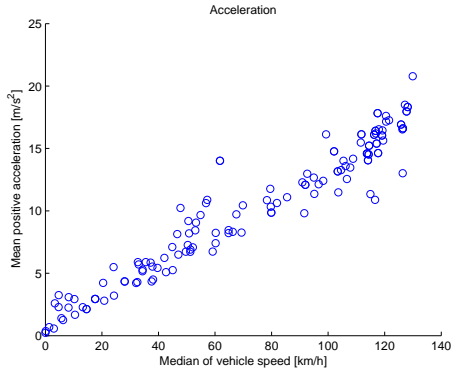


Abbildung C.19: Zusammenhang zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit eines Zyklus beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

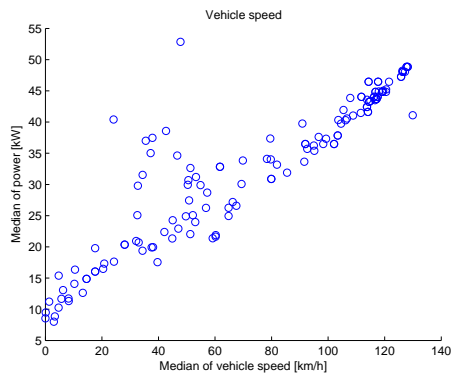


Abbildung C.20: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und dafür benötigter Leistung beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

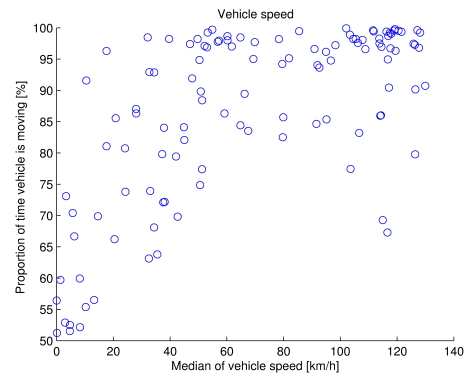


Abbildung C.21: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und zeitlichem Anteil der Bewegungsphasen beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

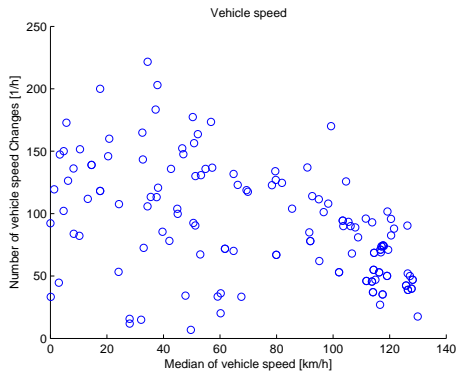


Abbildung C.22: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

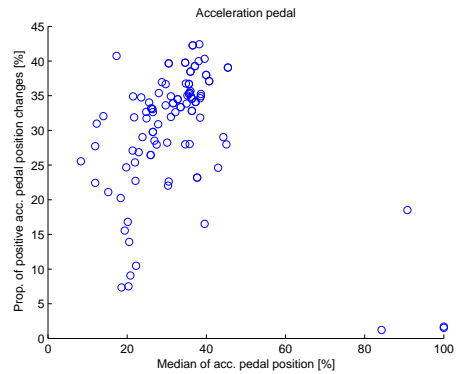


Abbildung C.23: Beschreibung der Gaspedalbetätigung beim Doppelkupplungs-Automat ohne Turbolader.

C.1.3 Variante „Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader“

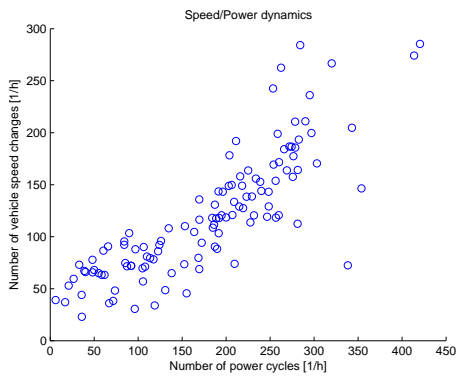


Abbildung C.24: Zusammenhang zwischen Anzahl der Leistungsänderungen und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

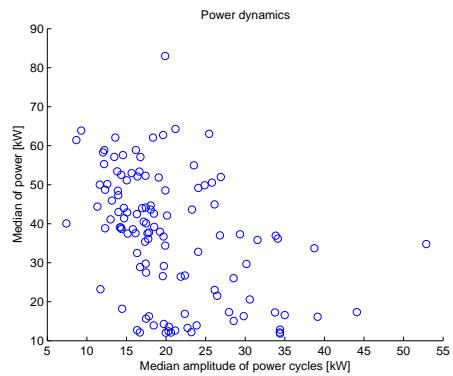


Abbildung C.25: Zusammenhang zwischen Betrag der Leistungsänderung und dem Leistungsmedian der Zyklen beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

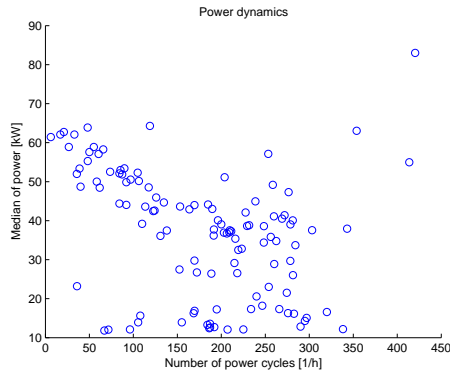


Abbildung C.26: Zusammenhang zwischen Anzahl der Leistungsänderungen und dem Leistungsmedian der Zyklen beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

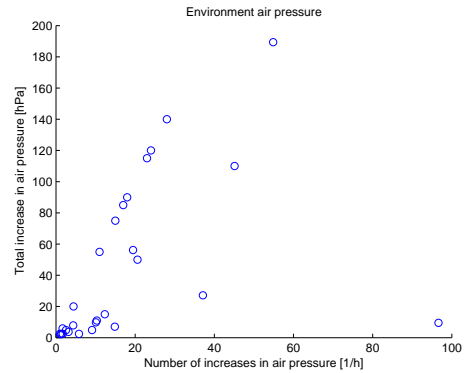


Abbildung C.27: Die Luftdruckänderung als schwacher Indikator für Höhenänderungen beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

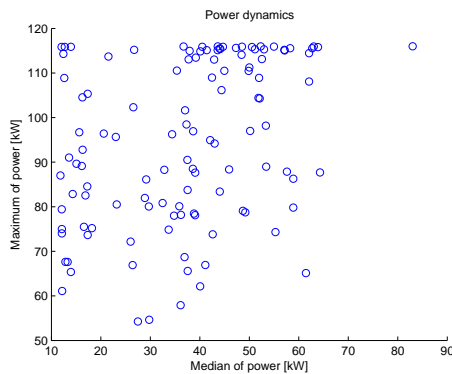


Abbildung C.28: Zusammenhang zwischen dem Leistungsmedian und der maximal vorkommenden Leistung im Zyklus beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

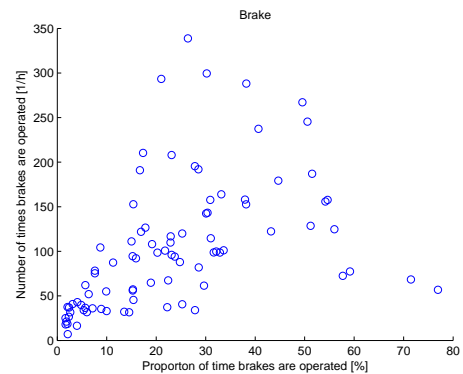


Abbildung C.29: Das Bremsverhalten beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

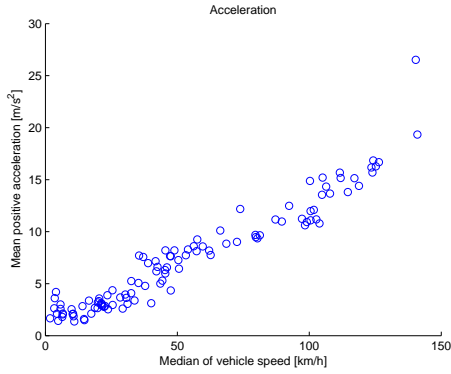


Abbildung C.30: Zusammenhang zwischen Beschleunigung und Geschwindigkeit eines Zyklus beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

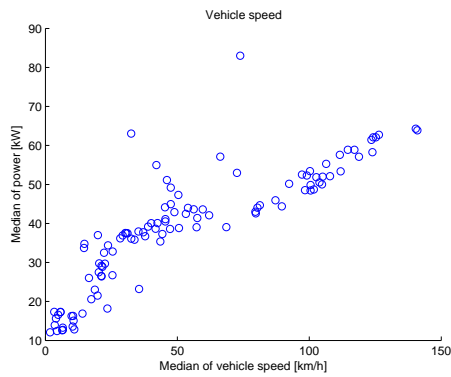


Abbildung C.31: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und dafür benötigte Leistung beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

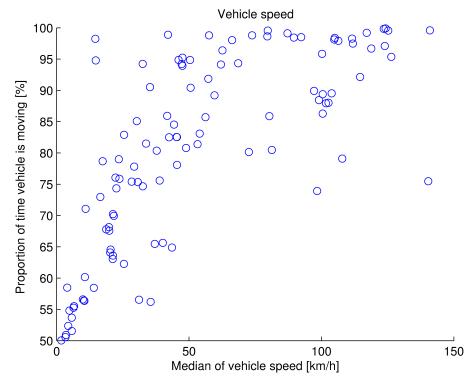


Abbildung C.32: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und zeitlichem Anteil der Bewegungsphasen beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

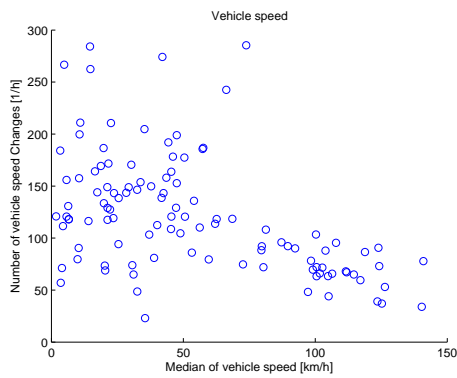


Abbildung C.33: Zusammenhang zwischen Fahrzeuggeschwindigkeit und Anzahl der Geschwindigkeitsänderungen beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

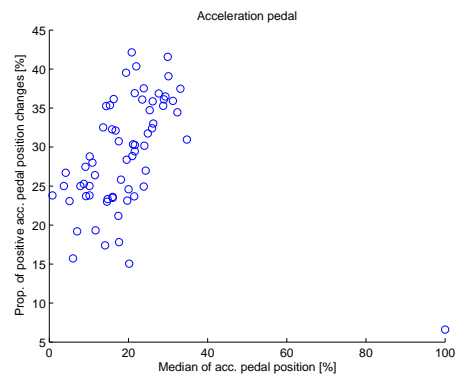


Abbildung C.34: Beschreibung der Gaspedalbetätigung beim Doppelkupplungs-Automat mit Turbolader.

C.2 Ergebnisse der Analyse zeitbasierter Größen

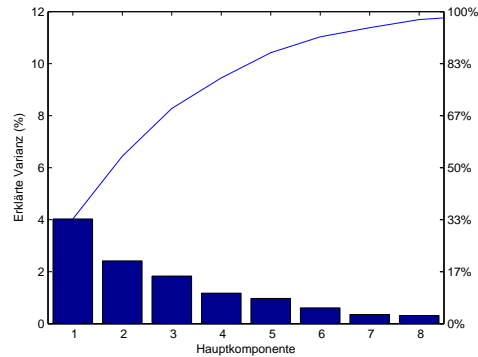


Abbildung C.35: Pareto-Plot der Hauptkomponenten-Analyse der Variante 1. Als Balken sind die Anteile der Varianz dargestellt, die durch die jeweilige Hauptkomponente erklärt werden. Die Kurve zeigt den kumulierten Anteil der erklärten Varianz.

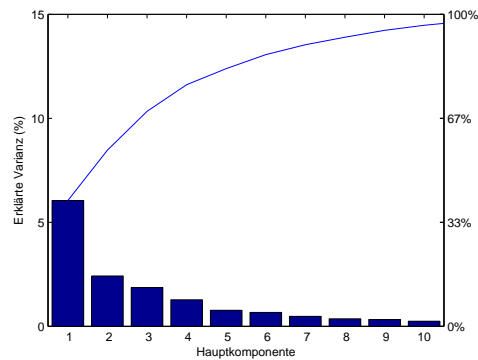


Abbildung C.36: Pareto-Plot der Hauptkomponenten-Analyse der Variante 2. Als Balken sind die Anteile der Varianz dargestellt, die durch die jeweilige Hauptkomponente erklärt werden. Die Kurve zeigt den kumulierten Anteil der erklärten Varianz.

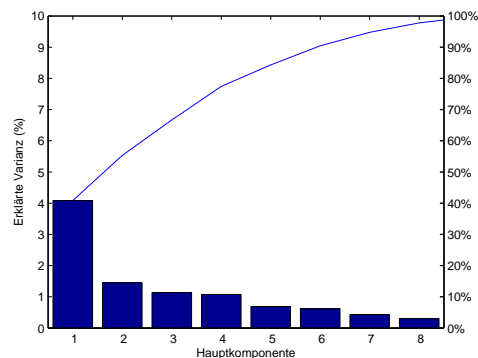


Abbildung C.37: Pareto-Plot der Hauptkomponenten-Analyse der Variante 2. Als Balken sind die Anteile der Varianz dargestellt, die durch die jeweilige Hauptkomponente erklärt werden. Die Kurve zeigt den kumulierten Anteil der erklärten Varianz.

C.3 Ergebnisse der Analyse charakteristischer Größen

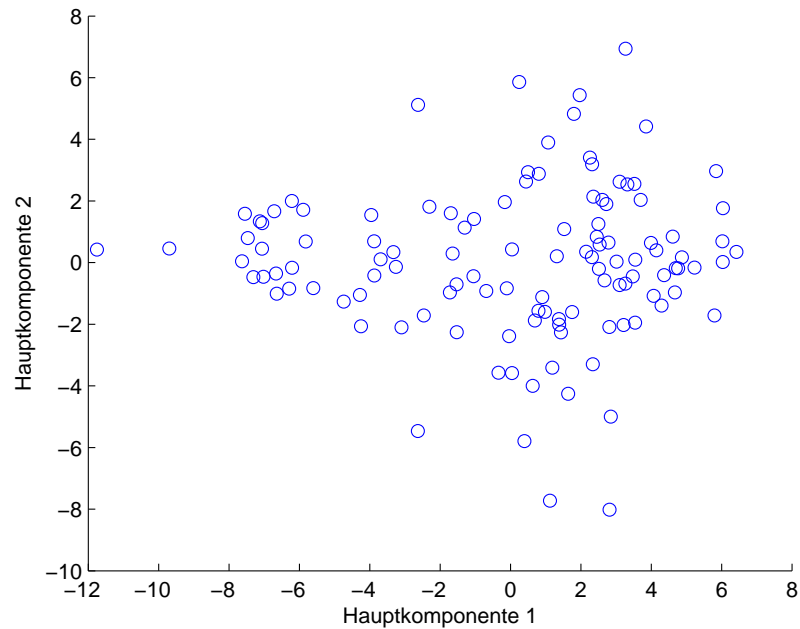


Abbildung C.38: Die gesamten Zyklen der Variante 1 wurden mit Hilfe der Hauptkomponenten in den neu erzeugten Raum mit Dimension 2 abgebildet. Jeder Zyklus entspricht einem Messpunkt.

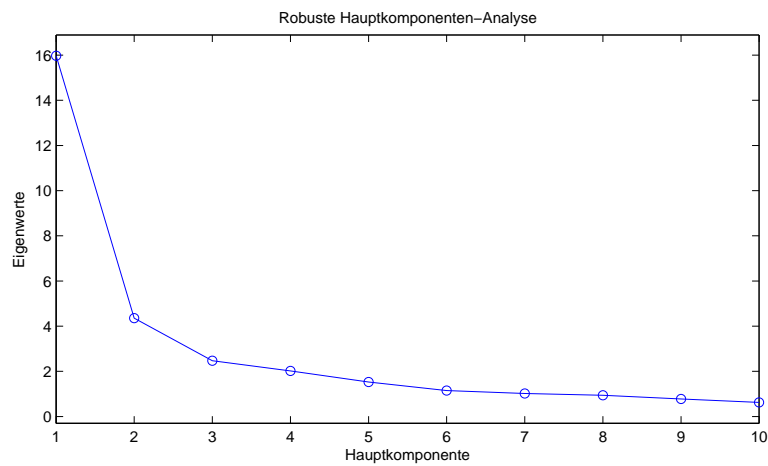


Abbildung C.39: Der Scree-Plot der Variante 1 wurde benutzt um die Anzahl der notwendigen Hauptkomponenten zu bestimmen. Jene Komponenten links des Knicks in der Kurve sind relevant, alle anderen können vernachlässigt werden.

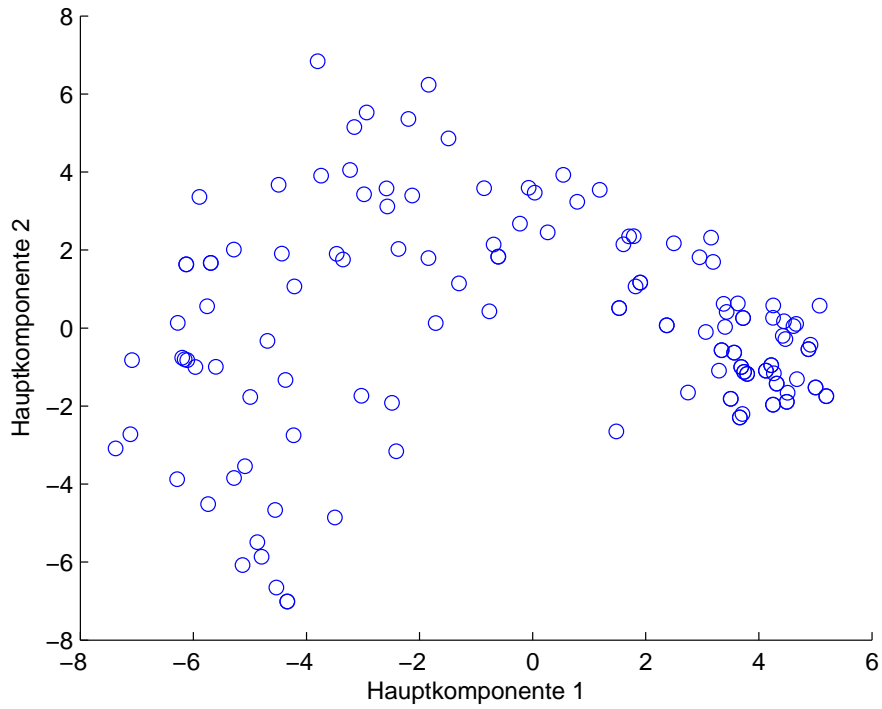


Abbildung C.40: Die gesamten Zyklen der Variante 2 wurden mit Hilfe der Hauptkomponenten in den neu erzeugten Raum mit Dimension 2 abgebildet. Jeder Zyklus entspricht einem Messpunkt.

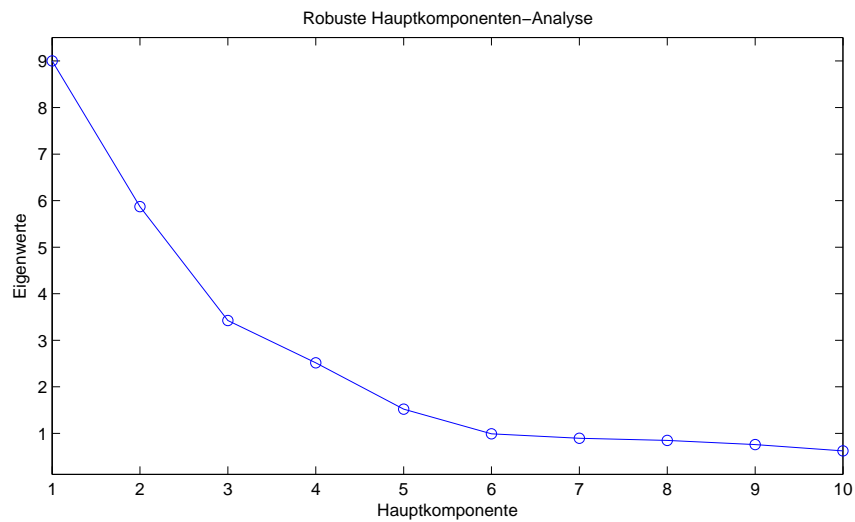


Abbildung C.41: Der Scree-Plot der Variante 2 wurde benutzt um die Anzahl der notwendigen Hauptkomponenten zu bestimmen. Jene Komponenten links des Knicks in der Kurve sind relevant, alle anderen können vernachlässigt werden.

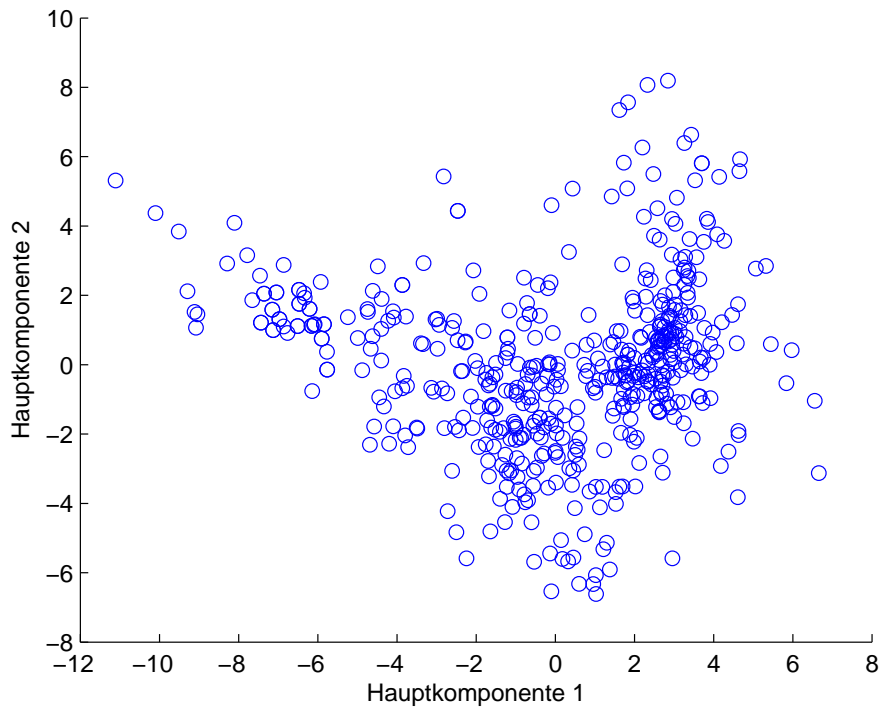


Abbildung C.42: Die gesamten Zyklen der Variante 3 wurden mit Hilfe der Hauptkomponenten in den neu erzeugten Raum mit Dimension 2 abgebildet. Jeder Zyklus entspricht einem Messpunkt.

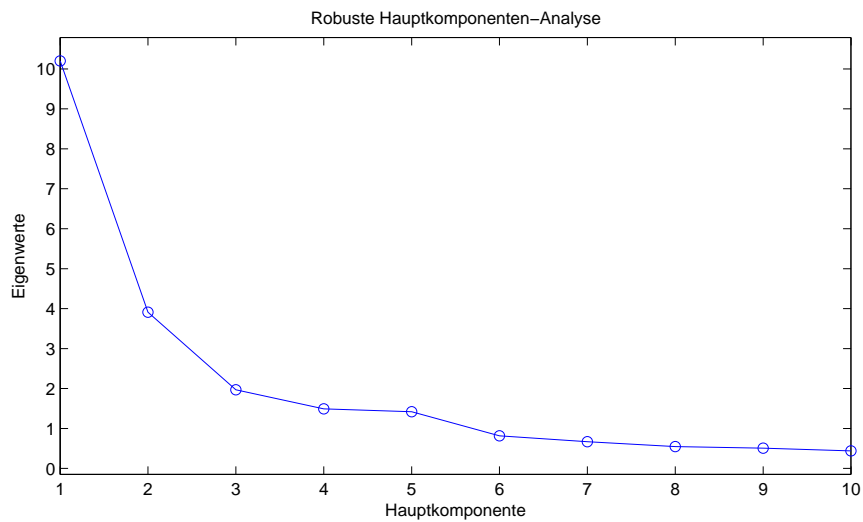


Abbildung C.43: Der Scree-Plot der Variante 3 wurde benutzt um die Anzahl der notwendigen Hauptkomponenten zu bestimmen. Jene Komponenten links des Knicks in der Kurve sind relevant, alle anderen können vernachlässigt werden.

Anhang D

Ergebnisse der Cluster-Analyse

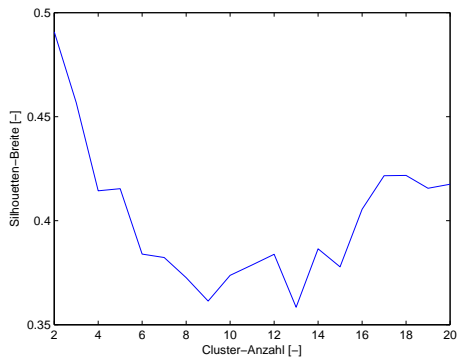


Abbildung D.1: Silhouetten-Plot der Variante 1, anhand des Maximums der Kurve kann die optimale Anzahl der Cluster zu zwei bestimmt werden.

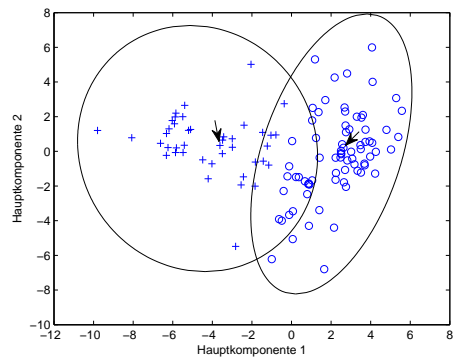


Abbildung D.2: Ergebnis der Cluster-Analyse der Variante 1. Die Medoide sind durch Pfeile hervorgehoben.

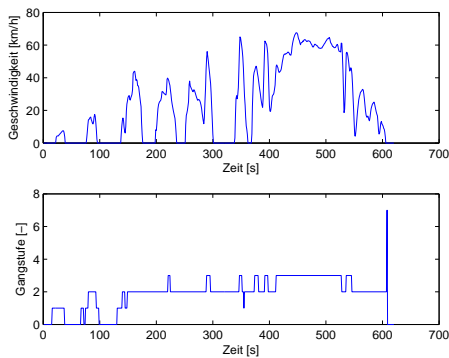


Abbildung D.3: Im Gegensatz zum Profil des Medoid 2 für Variante 1 zeigt das Profil des Medoid 1 eine kurze Fahrt mit geringer Geschwindigkeit und entsprechend niedrigeren Gängen.

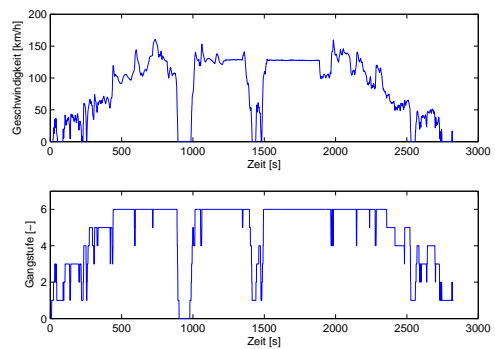


Abbildung D.4: Das Geschwindigkeitsprofil des Medoid 2 für Variante 1 zeigt einen Zyklus mit großem Anteil hoher Geschwindigkeit, die Dauer der Fahrt ist entsprechend groß.

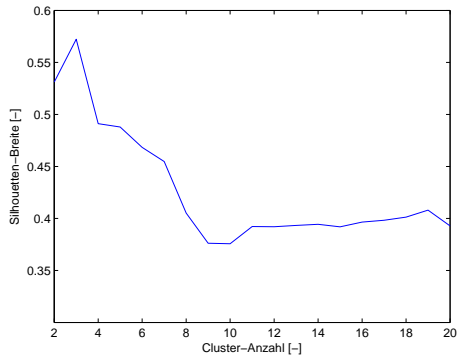


Abbildung D.5: Silhouetten-Plot der Variante 2, als optimale Cluster-Anzahl ergibt sich drei.

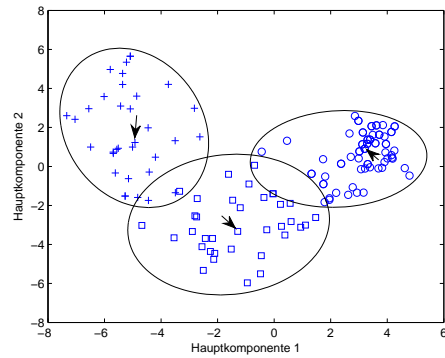


Abbildung D.6: Ergebnis der Cluster-Analyse der Variante 2 mit entsprechend markierten Medoiden.

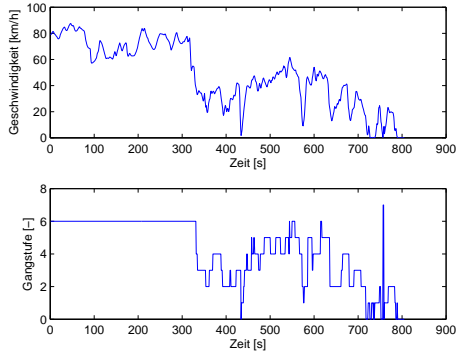


Abbildung D.7: Das Profil des Medoid 2 für Variante 2 zeigt eine Fahrt im mittleren Geschwindigkeitsbereich.

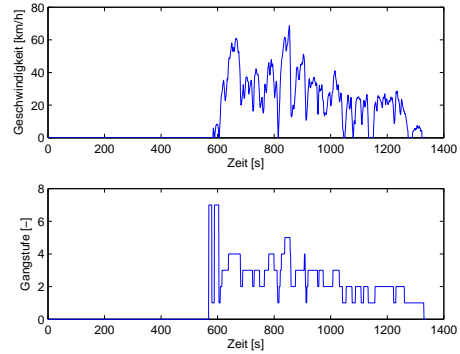


Abbildung D.8: Das Geschwindigkeitsprofil des Medoid 2 für Variante 2 bildet eine Fahrt mit geringen Geschwindigkeiten und hoher Standzeit ab.

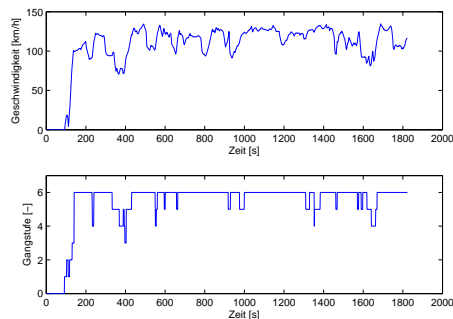


Abbildung D.9: Medoid 3 für Variante 2 bildet einen Zyklus mit großem Anteil hoher Geschwindigkeit und geringer Standzeit ab. Die Fahrt ist ein typisches Beispiel für eine Autobahnfahrt.

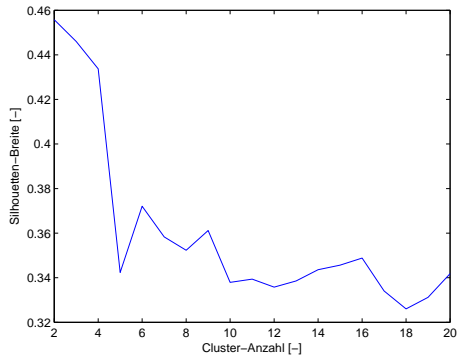


Abbildung D.10: Silhouetten-Plot der Variante 3 zeigt zwei Cluster als optimale Wahl.

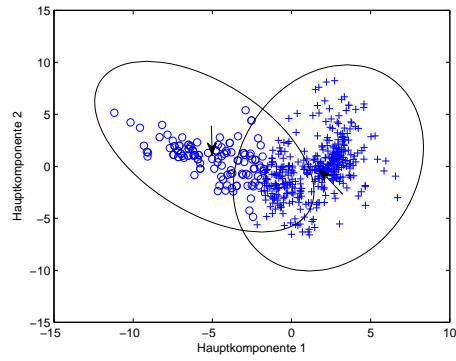


Abbildung D.11: Ergebnis der Cluster-Analyse der Variante 3 mit hervorgehobenen Medoiden.

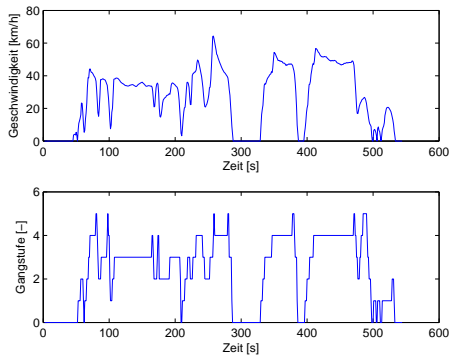


Abbildung D.12: Das Profil für Medoid 1 zeigt einen Zyklus mit geringen Geschwindigkeiten wie sie im Stadtverkehr auftreten.

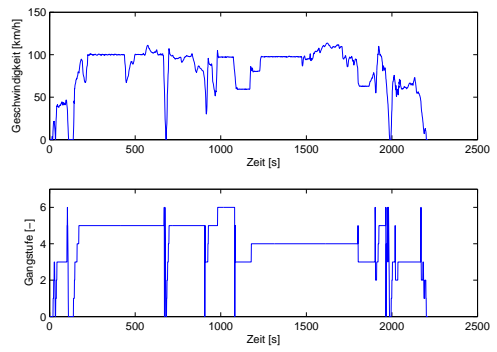


Abbildung D.13: Medoid 2 zeigt einen großen Anteil mit hoher Geschwindigkeit und wenig Stopps. Dieser Zyklus entspricht einer Überlandfahrt.

Anhang E

Ergebnisse der Zyklus-Synthese

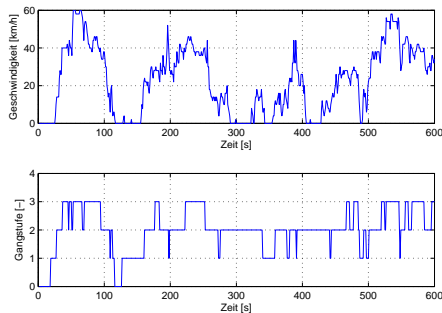


Abbildung E.1: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante 1 für geringe Geschwindigkeiten.

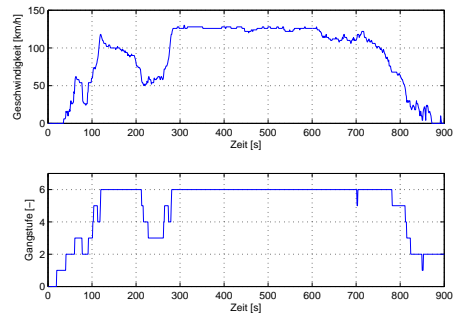


Abbildung E.2: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante 1 für hohe Geschwindigkeiten.

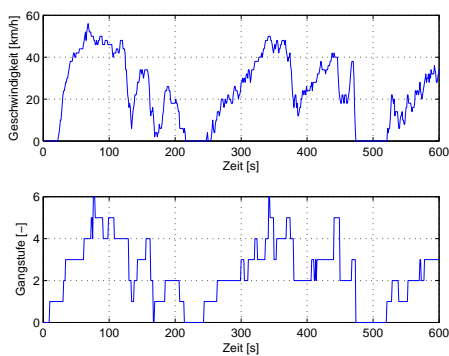


Abbildung E.3: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante 2 für geringe Geschwindigkeiten.

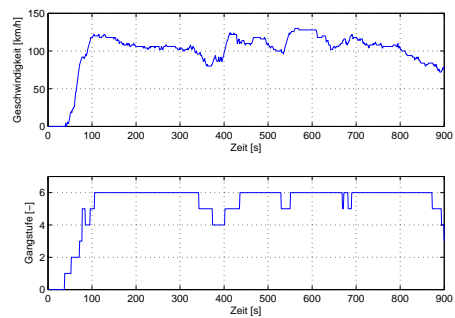


Abbildung E.4: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante 2 für hohe Geschwindigkeiten.

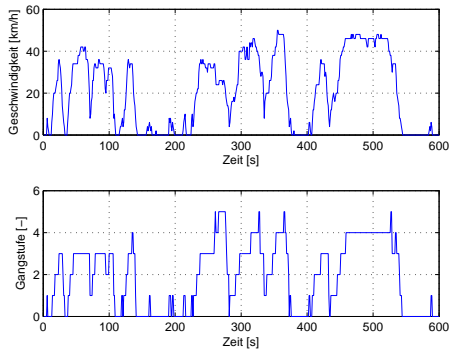


Abbildung E.5: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante 3 für geringe Geschwindigkeiten.

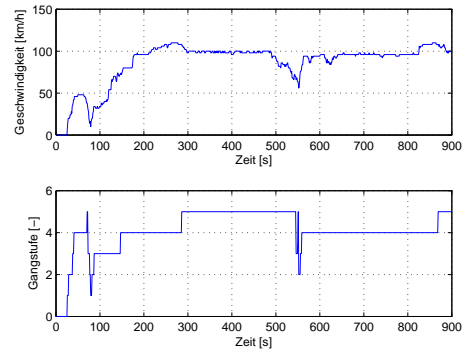


Abbildung E.6: Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus für Variante 3 für hohe Geschwindigkeiten.

Abbildungsverzeichnis

1.1	New European Drive Cycle (NEDC)	4
1.2	Federal Test Procedure 75 (FTP-75)	4
1.3	ARTEMIS-Zyklen	5
1.4	Aktivierungsstrategien der MIL	7
2.1	Methodik als Flußdiagramm	13
3.1	Variante 4 - Leistungsänderungen vs. Geschwindigkeitsänderungen	17
3.2	Variante 4 - Leistungsänderung vs. Leistung	17
3.3	Variante 4 - Leistungsänderungen vs. Leistung	17
3.4	Variante 4 - Luftdruckänderung vs. Luftdruckänderungen	17
3.5	Variante 4 - Leistung vs. maximale Leistung	18
3.6	Variante 4 - Bremsverhalten	18
3.7	Variante 4 - Kupplungsverhalten	18
3.8	Variante 4 - Geschwindigkeit vs. Beschleunigung	18
3.9	Variante 4 - Geschwindigkeit vs. Leistung	19
3.10	Variante 4 - Geschwindigkeit vs. Bewegungsphasen	19
3.11	Variante 4 - Geschwindigkeit vs. Geschwindigkeitsänderungen	19
3.12	Variante 4 - Gaspedalbetätigung	19
4.1	Beispiel einer ASCET-Funktion	23
4.2	Einschaltbedingungen	24
4.3	Teilergebnis der Diagnoseaktivierungen	25
4.4	Matlab-Modell zur Berechnung der Einschaltbereiche	26
4.5	Matlab-Modell zur Ermittlung starker Lastwechsel	27
4.6	Matlab-Modell zur Ermittlung von Volllast-Zuständen	27
4.7	Matlab-Modell zur Ermittlung von Turboladerdiagnose-Aktivierungen	28
5.1	Reduktion der Dimensionen	30
5.2	Ergebnisse der PCA - Variante 4 - Methode 1	33
5.3	Beispielhafter Zyklus der Variante 4	35
5.4	Scree-Plot der Variante 4	35
5.5	Daten der Variante 4 im reduzierten Raum	36
6.1	Silhouetten-Plot „Handscharter ohne Turbo“	40
6.2	Cluster-Ergebnis „Handscharter ohne Turbo“	40

6.3	Geschwindigkeitsprofil Medoid 1 „Handscharter ohne Turbo“	41
6.4	Geschwindigkeitsprofil Medoid 2 „Handscharter ohne Turbo“	41
7.1	Prinzip des gewichteten Zufallsgenerators	44
7.2	Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus „Handscharter ohne Turbo“, langsam	47
7.3	Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus „Handscharter ohne Turbo“, schnell .	47
8.1	AVL Drivers Aid	50
8.2	INCA der Fa. ETAS	50
8.3	Vergleich des Testzyklus mit nachgefahrenem Profil	52
8.4	Diagnoseaktivierungen, 1.Teil - langsamer Zyklus	53
8.5	Diagnoseaktivierungen, 2.Teil - langsamer Zyklus	53
8.6	Diagnoseaktivierungen, 3.Teil - langsamer Zyklus	54
8.7	Diagnoseaktivierungen, 4.Teil - langsamer Zyklus	54
8.8	Häufigkeitsverteilung Nockenwellendiagnose	55
8.9	Häufigkeitsverteilung Katalysatordiagnose	55
8.10	Häufigkeitsverteilung Lamdasondendiagnose	56
8.11	Häufigkeitsverteilung Kraftstoffsystem, Tankentlüftung	56
8.12	Häufigkeitsverteilung Leerlaufregler, Lambda-Dynamik, Sensorspannung . .	57
C.1	Variante 3 - Leistungsänderungen vs. Geschwindigkeitsänderungen	64
C.2	Variante 3 - Leistungsänderung vs. Leistung	64
C.3	Variante 3 - Leistungsänderungen vs. Leistung	65
C.4	Variante 3 - Luftdruckänderung vs. Luftdruckänderungen	65
C.5	Variante 3 - Leistung vs. Maximale Leistung	65
C.6	Variante 3 - Bremsverhalten	65
C.7	Variante 3 - Kupplungsverhalten	66
C.8	Variante 3 - Geschwindigkeit vs. Beschleunigung	66
C.9	Variante 3 - Geschwindigkeit vs. Leistung	66
C.10	Variante 3 - Geschwindigkeit vs. Bewegungsphasen	66
C.11	Variante 3 - Geschwindigkeit vs. Geschwindigkeitsänderungen	67
C.12	Variante 3 - Gaspedalbetätigung	67
C.13	Variante 2 - Leistungsänderungen vs. Geschwindigkeitsänderungen	67
C.14	Variante 2 - Leistungsänderung vs. Leistung	67
C.15	Variante 2 - Leistungsänderungen vs. Leistung	68
C.16	Variante 2 - Luftdruckänderung vs. Luftdruckänderungen	68
C.17	Variante 2 - Leistung vs. Maximale Leistung	68
C.18	Variante 2 - Bremsverhalten	68
C.19	Variante 2 - Geschwindigkeit vs. Beschleunigung	69
C.20	Variante 2 - Geschwindigkeit vs. Leistung	69
C.21	Variante 2 - Geschwindigkeit vs. Bewegungsphasen	69
C.22	Variante 2 - Geschwindigkeit vs. Geschwindigkeitsänderungen	70
C.23	Variante 2 - Gaspedalbetätigung	70
C.24	Variante 1 - Leistungsänderungen vs. Geschwindigkeitsänderungen	70
C.25	Variante 1 - Leistungsänderung vs. Leistung	70
C.26	Variante 1 - Leistungsänderungen vs. Leistung	71
C.27	Variante 1 - Luftdruckänderung vs. Luftdruckänderungen	71

C.28 Variante 1 - Leistung vs. Maximale Leistung	71
C.29 Variante 1 - Bremsverhalten	71
C.30 Variante 1 - Geschwindigkeit vs. Beschleunigung	72
C.31 Variante 1 - Geschwindigkeit vs. Leistung	72
C.32 Variante 1 - Geschwindigkeit vs. Bewegungsphasen	72
C.33 Variante 1 - Geschwindigkeit vs. Geschwindigkeitsänderungen	73
C.34 Variante 1 - Gaspedalbetätigung	73
C.35 Ergebnisse der PCA - Variante 1 - Methode 1	74
C.36 Ergebnisse der PCA - Variante 2 - Methode 1	74
C.37 Ergebnisse der PCA - Variante 3 - Methode 1	74
C.38 Daten der Variante 1 im reduzierten Raum	75
C.39 Scree-Plot der Variante 1	75
C.40 Daten der Variante 2 im reduzierten Raum	76
C.41 Scree-Plot der Variante 2	76
C.42 Daten der Variante 3 im reduzierten Raum	77
C.43 Scree-Plot der Variante 3	77
D.1 Silhouetten-Plot der Variante 1	78
D.2 Cluster-Ergebnis der Variante 1	78
D.3 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 1 der Variante 4	78
D.4 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 2 der Variante 1	78
D.5 Silhouetten-Plot der Variante 2	79
D.6 Cluster-Ergebnis der Variante 2	79
D.7 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 1 der Variante 2	79
D.8 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 2 der Variante 2	79
D.9 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 3 der Variante 2	79
D.10 Silhouetten-Plot der Variante 3	80
D.11 Cluster-Ergebnis der Variante 3	80
D.12 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 1 der Variante 3	80
D.13 Geschwindigkeitsprofil des Medoid 2 der Variante 3	80
E.1 Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus der Variante 1, langsam	81
E.2 Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus der Variante 1, schnell	81
E.3 Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus der Variante 2, langsam	81
E.4 Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus der Variante 2, schnell	81
E.5 Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus der Variante 3, langsam	82
E.6 Geschwindigkeitsprofil des Testzyklus der Variante 3, schnell	82

Tabellenverzeichnis

1.1	Überwachte Schadstoffe	3
1.2	Fahrzyklen	4
4.1	Diagnosen und entsprechende Teildiagnosen	21
4.2	Diagnosen und zugehörige Parameter	22
5.1	Kaiser-Meyer-Olkin-Kriterium und Bartlett-Test	32
5.2	Ausgewählte charakteristische Größen für Beispielfahrt	36
6.1	Unterschiedliche Charakteristiken der Medoide	40
7.1	Struktur der Übergangshäufigkeits-Matrix	46
7.2	Charakteristische Größen, Variante 4	48
8.1	Diagnoseaktivierungen, langsamer Zyklus	55
B.1	Messdateien	63

Literaturverzeichnis

- [1] Li Liu; Chaosheng Huang; Minghui Liu; Shuming Shi. Study on the Combined Design Method of Transient Driving Cycles for Passenger Car in Changchun. *IEEE Vehicle and Propulsion Conference*, 2008.
- [2] van Basshuysen/Schäfer. *Handbuch Verbrennungsmotor*. Siemens VDO, Automotive, 2002.
- [3] Diverse Autoren. *Ottomotor-Management*. Vieweg + Teubner, 2005.
- [4] Diverse Autoren. *Kraftfahrtechnisches Taschenbuch*. Vieweg + Teubner, 2011.
- [5] Michel Andre. Real-world driving cycles for measuring cars pollutant emissions - The ARTEMIS European driving cycles. Technical report, Institut de National de Recherche sur les Transports et leur Securite, 2004.
- [6] T.Dobes. *Onboard Diagnose Vorlesung - Unterlagen*, 2009.
- [7] EU. Richtlinie 98/69/EG des europäischen Parlaments und Rates. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften 12/98.
- [8] Andre Knoerchen. Deliktische Rückrufflicht und Versicherung von Rückruffkosten, 2003.
- [9] S. Shridhar. FMEA/PFMEA : What they never teach you in formal school. *Electronic Manufacturing Technology Symposium (IEMT)*, 2010.
- [10] Milena Krasich. Can Failure Modes and Effects Analysis Assure a Reliable Product? *Reliability and Maintainability Symposium*, 2007.
- [11] Rolf Boot; Jost Richert; Herbert Schütte; Andreas Rückgauer. Automated Test of ECUs in a Hardware-in-the-Loop Simulation Environment. *International Symposium on Computer Aided Control System Design*, 1999.
- [12] J.Schauer. The AVL Load Matrix - Usage Space Analysis, 2012.
- [13] Klaus Denkmayr; Hannes Hick. Konzept und Methodik zur Zuverlässigkeitsabsicherung innovativer Fahrzeugsysteme. 4 Reliability Symposium - Universität Stuttgart, 2010.
- [14] Li Hanwu; Zhao Yuyang. Diagnosis Technology Research of Engine Electronic Control System based on Principal Component Analysis. 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications (ISA), 2010.

- [15] Aurobinda Routray; Aparna Rajaguru; Satnam Singh. Data Reduction and Clustering Techniques for Fault Detection and Diagnosis in Automotives. *6th annual IEEE Conference on Automation Science and Engineering*, 2010.
- [16] Jianfu Fu; Wenzhong Gao; Liwei Song. Principal Component Analysis Based on Drive Cycles For Hybrid Electric Vehicle. *Vehicle Power and Propulsion Conference*, 2009.
- [17] Zhen Dai; Deb Niemeier; Douglas Eisinger. Driving Cycles: A new Cycle-Building Method that better represents Real World Emissions, 2008.
- [18] N.McDowell; G.McCullough; X.Wang; U.Kruger; G.W. Irwin. Fault Diagnostics for Internal Combustion Engines - Current and Future Techniques. SAE technical paper - Vehicle Diagnostics 2007, 2007.
- [19] Antory; Kruger; Irwin; McCullough. Fault Diagnosis in internal combustion engines using nonlinear multivariate statistics. *Proc. IMechE, Vol. 219 Part I*, 2005.
- [20] Wang; Krueger; Irwin; McDowell; McCullough. Nonlinear Statistical Fault Detection and Diagnosis in Automotive Engines.
- [21] Mengliang; Jianwei; Fuxing; Chunming. A Study on Real Driving Cycle of Passenger Cars in Typical Cities of China. *Automotive Engineering, Vol. 28, No. 6*, 2006.
- [22] Daniela Chrenko; Irene Garcia Diez; Luis Le Moyne. Artificial Driving Cycles for the Evaluation of Energetic Needs of Electric Vehicles, 2012.
- [23] Ping Jiang; Qin Shi; Wuwei Chen; Youwen Li; Qinghu Li. Investigation of a New Construction Method of Vehicle Driving Cycle. *Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 2009.
- [24] Tae-Kyung Lee; Brian Adornato; Zoran S. Filipi. Synthesis of Real-World Driving Cycles and Their Use for Estimating PHEV Energy Consumption and Charging Opportunities: Case Study for Midwest/U.S. *Transactions on Vehicular Technology*, 2011.
- [25] J. Edward Jackson. *A users guide to principal components*. Wiley-Interscience, 1991.
- [26] I.T. Jolliffe. *Principal Component Analysis, Second Edition*. Springer, 2002.
- [27] Emily Mankin. *Principal Components Analysis: A How-To Manual for R*.
- [28] Matthias Fischer; Michael Grottko; Ingo Klein. *Datenanalyse*, 2011.
- [29] Hubert; Rousseuw; Vanden Branden. ROBPCA: A new approach to robust principal component analysis. *Technometrics, Vol. 47, No.1*, 2005.
- [30] Dekking; Kraaikamp; Lopuhaä; Meester. *A modern introduction to Propability and statistics*. Springer, 2005.
- [31] L. Kaufman; P. Rousseuw. *Finding groups in data, An introduction to cluster analysis*. Wiley Series, 1990.

- [32] The R Project for Statistical Computing. www.r-project.org.
- [33] Madler. Durchführung einer Robustheits-Analyse an Adaptionen einer Motorsteuerung, 2012.