

Wissenschaftliche Reihe
Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

RESEARCH

Barbara Krausz

Methode zur Reifegradsteigerung mittels Fehlerkategorisierung von Diagnoseinformationen in der Fahrzeugentwicklung



Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart

Reihe herausgegeben von

M. Bargende, Stuttgart, Deutschland

H.-C. Reuss, Stuttgart, Deutschland

J. Wiedemann, Stuttgart, Deutschland

Das Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) an der Universität Stuttgart erforscht, entwickelt, appliziert und erprobt, in enger Zusammenarbeit mit der Industrie, Elemente bzw. Technologien aus dem Bereich moderner Fahrzeugkonzepte. Das Institut gliedert sich in die drei Bereiche Kraftfahrwesen, Fahrzeugantriebe und Kraftfahrzeug-Mechatronik. Aufgabe dieser Bereiche ist die Ausarbeitung des Themengebietes im Prüfstandsbetrieb, in Theorie und Simulation. Schwerpunkte des Kraftfahrwesens sind hierbei die Aerodynamik, Akustik (NVH), Fahrdynamik und Fahrermodellierung, Leichtbau, Sicherheit, Kraftübertragung sowie Energie und Thermomanagement – auch in Verbindung mit hybriden und batterieelektrischen Fahrzeugkonzepten. Der Bereich Fahrzeugantriebe widmet sich den Themen Brennverfahrensentwicklung einschließlich Regelungs- und Steuerungskonzeptionen bei zugleich minimierten Emissionen, komplexe Abgasnachbehandlung, Aufladesysteme und -strategien, Hybridsysteme und Betriebsstrategien sowie mechanisch-akustischen Fragestellungen. Themen der Kraftfahrzeug-Mechatronik sind die Antriebsstrangregelung/Hybride, Elektromobilität, Bordnetz und Energiemanagement, Funktions- und Softwareentwicklung sowie Test und Diagnose. Die Erfüllung dieser Aufgaben wird prüfstandsseitig neben vielem anderen unterstützt durch 19 Motorenprüfstände, zwei Rollenprüfstände, einen 1:1-Fahr-simulator, einen Antriebsstrangprüfstand, einen Thermowindkanal sowie einen 1:1-Aeroakustikwindkanal. Die wissenschaftliche Reihe „Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart“ präsentiert über die am Institut entstandenen Promotionen die hervorragenden Arbeitsergebnisse der Forschungstätigkeiten am IVK.

Reihe herausgegeben von

Prof. Dr.-Ing. Michael Bargende
Lehrstuhl Fahrzeugantriebe
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Jochen Wiedemann
Lehrstuhl Kraftfahrwesen
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss
Lehrstuhl Kraftfahrzeugmechatronik
Institut für Verbrennungsmotoren und
Kraftfahrwesen, Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/13535>

Barbara Krausz

Methode zur
Reifegradsteigerung mittels
Fehlerkategorisierung
von Diagnoseinformationen
in der Fahrzeugentwicklung

 Springer Vieweg

Barbara Krausz
Lehrstuhl für Kraftfahrzeugmechatronik
Universität Stuttgart
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2018

D93

ISSN 2567-0042 ISSN 2567-0352 (electronic)
Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart
ISBN 978-3-658-24017-2 ISBN 978-3-658-24018-9 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-24018-9>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Danksagung

Die vorliegende Arbeit ist begleitend zu meiner Tätigkeit als Entwicklungsingenieurin bei der Daimler AG in Sindelfingen entstanden.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. H.-C. Reuss. Er hat diese Arbeit ermöglicht, stets durch Rat und Tat gefördert und durch seine Unterstützung und sein Engagement, über den fachlichen Teil hinaus, wesentlich zum Gelingen beigetragen. Für die freundliche Übernahme des Mitberichts, die Förderung der vorliegenden Arbeit und die äußerst sorgfältige Durchsicht gilt mein Dank gleichermaßen Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker.

Insbesondere möchte ich mich ganz herzlich bei Dipl.-Ing. Markus Breuning (Daimler AG) bedanken. Er hat mich stets gefördert sowie in meinem Promotionsvorhaben unterstützt und damit ebenfalls wesentlich zum Gelingen beigetragen.

Darüber hinaus bedanke ich mich herzlich bei Dr.-Ing. Michael Grimm, Bereichsleiter des Forschungsinstituts für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren (FKFS), und M.Sc. Kordian Komarek, Projektleiter ebenfalls am FKFS. Mit ihnen konnte ich viele interessante fachliche Diskussionen führen. Des Weiteren danke ich allen Mitarbeitern des Bereichs Kraftfahrzeugmechatronik am FKFS sowie des Instituts für Verbrennungsmotoren und Kraftwesen der Universität Stuttgart (IVK) für die gute Zusammenarbeit und die zahlreichen bereichernden fachlichen wie auch nicht fachlichen Gespräche. Den Studierenden, die ich über die Jahre betreut habe, gilt auch für die gute Zusammenarbeit und ihre geleisteten Tätigkeiten Dank.

Ich danke von ganzem Herzen meinem Vater Dr.-Ing. Karl Josef Krausz, meiner Mutter Andrea Krausz und meinem Bruder Dr.-Ing Mark Krausz, dass sie mir stets in allen Lebenslagen zur Seite standen und mich immer unterstützt und motiviert haben.

Barbara Krausz

Inhaltsverzeichnis

Danksagung.....	V
Abbildungsverzeichnis.....	XI
Tabellenverzeichnis	XV
Abkürzungs- und Formelverzeichnis	XVII
Zusammenfassung.....	XIX
Abstract	XXI
1 Einleitung	1
1.1 Motivation und Forschungsfrage der Arbeit.....	1
1.2 Inhalt der Arbeit.....	2
2 Stand der Technik	5
2.1 Diagnose im Kraftfahrzeug.....	5
2.1.1 On- und Off-Board Diagnose.....	6
2.1.2 Schnittstelle zwischen On- und Off-Board Diagnose	8
2.1.3 Definition von Fehlerspeichereinträgen.....	10
2.1.4 Begriffsdefinitionen	14
2.2 Methoden zur Fehlerdiagnose.....	15
2.2.1 Wissensbasierte Diagnose.....	15
2.2.2 Modellbasierte Diagnose.....	17
2.2.3 Bayessche Netze	19
2.2.4 Neuronale Netze.....	23

2.3	Prozessuale Unterschiede zwischen After-Sales und Entwicklung	26
2.3.1	Randbedingungen aus der Entwicklung für die Fehleranalyse	29
2.3.2	Fazit und Notwendigkeit neuer Methoden	32
3	Fehleranalyse in der Fahrzeugentwicklung	35
3.1	Prozess der Fehleranalyse und Fehlerabstellung	35
3.1.1	Informationen zu Fehlerspeichereinträgen	38
3.1.2	Umgebungsdaten von Fehlerspeichereinträgen	39
3.2	Potentiale zur Optimierung der Fehleranalyse	39
3.3	Neuer Ansatz zur Optimierung der Fehleranalyse	40
3.4	Methoden zur Ähnlichkeitsanalyse	42
3.4.1	Klassifikation	43
3.4.2	Clustering	46
3.4.3	Klassifikation versus Clustering	50
3.4.4	Der Entscheidungsbaum	51
3.4.5	Support Vector Machine	53
3.4.6	k-Nearest-Neighbor	57
3.5	Wahl des geeigneten Klassifizierungsverfahrens	60
3.5.1	Trainieren des Klassifikators	63
3.5.2	Sensitivitätsbewertung des Klassifikators	66
3.5.3	Optimierung des Klassifikators	68
3.5.4	Überprüfung von Überanpassung	69
4	Konzept einer Diagnose-Korrelationsstruktur	73
4.1	Randbedingungen und Anforderungen	73
4.2	Gesamtprozess	74

4.2.1	Initialer Analyseprozess	75
4.2.2	Datenaufbereitung	76
4.2.3	Datenanalyse und Lernmodul	78
4.2.4	Produktiver Analyseprozess	80
4.3	Einführung einer Kategorisierung	80
4.4	Zusammenfassung	85
5	Anwendung und praktischer Nachweis	87
5.1	Aufgabenstellung	87
5.2	Ähnlichkeitsuntersuchung mittels Klassifikation	88
5.2.1	Erstellung der Trainingsmatrix	89
5.2.2	Auswahl des geeigneten Klassifikators	91
5.2.3	Sensitivitätsbewertung	96
5.2.4	Optimierung des Klassifikators	97
5.2.5	Überprüfung Overfitting	102
5.3	Konzeptbewertung	103
5.4	Grenzen des Klassifikators	108
6	Zusammenfassung und Ausblick	111
6.1	Zusammenfassung	111
6.2	Ausblick	112
	Literaturverzeichnis	115
	Anhang	121

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	Übersicht der On-Board und Off-Board Diagnosefunktionen nach [19]	7
Abbildung 2.2:	Funktionen der Off- und On-Board-Diagnose [20].....	8
Abbildung 2.3:	Funktionsweise der Transportschicht [23]	9
Abbildung 2.4:	Vereinfachte Darstellung der Steuergerätevernetzung über die Bussysteme [24]	10
Abbildung 2.5:	Format der OBD Fehlercodes [23].....	11
Abbildung 2.6:	Fehlerentprellung und Fehlerheilung [23]	14
Abbildung 2.7:	Schematische Darstellung der modellbasierten Fehlerdiagnose nach [34]	18
Abbildung 2.8:	Darstellung der drei verschiedenen Schlussfolgerungstypen in Bayesschen Netzen	20
Abbildung 2.9:	Mögliche Abhängigkeitsstrukturen bei Bayesschen Netzen	21
Abbildung 2.10:	Funktionsschema eines künstlichen Neurons angelehnt an [41] und [40].	26
Abbildung 2.11:	Schematische Übersicht des Fahrzeuglebenszyklus	28
Abbildung 2.12:	Darstellung der Entwicklung nach dem V-Modell aus [19]	31
Abbildung 2.13:	Darstellung der Anzahl von Datenstandsupdates pro Quartal und Steuergerät angelehnt an [46].....	32
Abbildung 3.1:	Schematische Darstellung des Fehleranalyse- und Fehlerabstellungsprozesses in der Entwicklung.....	36
Abbildung 3.2:	Beispielhaftes ROC- und RC-Diagramm aus [56].....	46
Abbildung 3.3:	Überblick über Cluster-Algorithmen nach [55]	47
Abbildung 3.4:	Streudiagramm eines Datensatzes und seine Clusterstruktur aus [56].....	49

Abbildung 3.5: Abstände zwischen den Clustern aus [56]. Links: Minimalabstand bzw. Maximalabstand. Rechts: Abstände zur Berechnung der Mittelwerte 50

Abbildung 3.6: Zwei funktional äquivalente Entscheidungsbäume aus [56] 52

Abbildung 3.7: Prinzip der Support Vector Machine..... 54

Abbildung 3.8: Beispiel einer Klassifikation mit der Anwendung des Kernel-Tricks a) Ausgangssituation im zweidimensionalen Raum, b)-c) Transformation in den dreidimensionalen Objektraum und Separierung in zwei Klassen, d)–f) Rücktransformation in den ursprünglichen Objektraum und Darstellung der theoretischen (e) und praktischen Lösung (f) [59]. 55

Abbildung 3.9: Überlappende Daten mit möglichen Schlußvariablen zur Fehlklassifikation..... 57

Abbildung 3.10: Beispielhafte Klassifikation nach dem k-Nearest-Neighbor-Verfahren 58

Abbildung 3.11: Trainingspunktmenge mit Voronoi-Diagramm und daraus erzeugte Linie zur Trennung der beiden Klassen $M +$ und $M -$. [63]..... 59

Abbildung 3.12: Beispiel einer falschen Klassifikation durch das Nearest-Neighbor-Verfahren [63]..... 60

Abbildung 3.13: Darstellung des Zusammenhangs zwischen DTC und den Zeilen der Trainingsmatrix 64

Abbildung 3.14: Trainings- und Optimierungsprozess des Klassifikationsmodells 65

Abbildung 3.15: Erweiterung der Trainingsmatrix aufgrund neuen DTC mit zusätzlichen Umgebungsdatenlabels 66

Abbildung 3.16: Wahrheitsmatrix eines trainierten Klassifikators mit der Anzahl an Untersuchungen 68

Abbildung 3.17: Vorgehensweise bei der Kreuzvalidierung nach [56] 70

Abbildung 3.18:	Fehlklassifizierungen in Abhängigkeit des Komplexitätsparameters.....	71
Abbildung 4.1:	Gesamtprozess der Diagnose-Korrelationsstruktur.....	74
Abbildung 4.2:	Darstellung der vier Stufen des initialen Analyseprozesses	75
Abbildung 4.3:	Erstellung eines Datensatzes zur Kategorisierung eines neuen DTC.....	79
Abbildung 4.4:	Darstellung der fünf Stufen des produktiven Analyseprozesses	80
Abbildung 4.5:	Verteilung der Ursachenkategorien aus analysierter Fehlerliste.....	85
Abbildung 5.1:	Reduzierung der Fehlerspeichereinträge mit geringer Anzahl an Umgebungswerten	91
Abbildung 5.2:	Wahrheitsmatrix der kubischen SVM.....	93
Abbildung 5.3:	Wahrheitsmatrix des euklidischen KNN-Klassifikators 1	95
Abbildung 5.4:	Verlauf der Besetzung der Trainingsmatrix in Abhängigkeit der Anzahl an Umgebungsdaten.....	96
Abbildung 5.5:	Klassifizierungsfehler in Abhängigkeit der Komplexität für Variationsdurchgang (a)	98
Abbildung 5.6:	Klassifizierungsfehler in Abhängigkeit der Komplexität für die Variationsdurchgänge (b) und (c).....	100
Abbildung 5.7:	Wahrheitsmatrix des KNN-Klassifikators mit $k=3$ und quadratischer Abstandsgewichtung im Variationsdurchgang (c).....	101
Abbildung 5.8:	Klassifizierungsfehler in Abhängigkeit der Komplexität.....	102
Abbildung 5.9:	Wahrheitsmatrix mit 50 % der Trainingsfälle.....	109
Abbildung 5.10:	Wahrheitsmatrix mit 30 % der Trainingsfälle.....	110
Abbildung A.1:	linearer SVM-Klassifikator 1	121

Abbildung A.2: quadratische SVM-Klassifikator 2..... 122

Abbildung A.3: gaussianischer SVM-Klassifikator 4..... 122

Abbildung A.4: euklidischer KNN-Klassifikator 2 mit $k=10$
Nachbarn..... 123

Abbildung A.5: euklidischer KNN-Klassifikator 3 mit $k=100$
Nachbarn..... 123

Abbildung A.6: Kosinus KNN-Klassifikator 4 mit $k=10$ Nachbarn..... 124

Abbildung A.7: kubischer KNN-Klassifikator 5 mit $k=10$ Nachbarn ... 124

Abbildung A.8: gewichteter euklidischer KNN-Klassifikator 6 mit
 $k=10$ Nachbarn..... 125

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Übersicht der unterschiedlichen Bereiche [23].....	12
Tabelle 2.2:	Übersicht der Möglichkeiten für die 1. Ziffer und ihre Zuordnung [23].....	12
Tabelle 2.3:	Übersicht über Fehlercodes des Subsystems Powertrain und dessen betroffene Komponenten [23].....	13
Tabelle 2.4:	Unterschiede im Servicebereich und im Fahrzeugentwicklungsbereich.....	29
Tabelle 2.5:	Übersicht der verschiedenen Diagnosesysteme mit Vor- und Nachteilen in Anlehnung an Azarian.....	34
Tabelle 3.1:	Darstellung der Prozessschritte in 8D aus [39].....	37
Tabelle 3.2:	Beispielhafte Fehleranalyse mit Beteiligung mehrerer Entwicklungsbereiche.....	41
Tabelle 3.3:	Übersicht der betrachteten Klassifizierungsverfahren ...	62
Tabelle 4.1:	Beispielhafte Fehlerkommentare. Links oben: unbearbeiteter Standardtext, Rechts oben: Strukturierter Kommentar. Links unten: leicht abweichend strukturiert. Rechts unten: unstrukturierter Fließtext.....	78
Tabelle 4.2:	Übersicht neuer Ursachenkategorisierung	82
Tabelle 5.1:	Eckdaten der betrachteten Fehlerfälle im Anwendungsbeispiel	88
Tabelle 5.2:	Verteilung der Kategorien.....	90
Tabelle 5.3:	Güte der mit unterschiedlichen SVM-trainierten Klassifikatoren	92
Tabelle 5.4:	Güte der unterschiedlichen trainierten KNN-Klassifikatoren	94

Tabelle 5.5:	Übersicht der Klassifizierungsfehler bei Variationsdurchgang (a).....	99
Tabelle 5.6:	Bewertungsschema mit Beschreibung	105
Tabelle 5.7:	Bewertung des neuen Konzepts gegenüber Neucus und FiDis.....	105