

---

# **Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart**

## **Reihe herausgegeben von**

Michael Bargende, Stuttgart, Deutschland

Hans-Christian Reuss, Stuttgart, Deutschland

Jochen 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-Fahrsimulator, 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. Hans-Christian Reuss  
Lehrstuhl Kraftfahrzeugmechatronik  
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

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

---

Frank Brosi

# Methode zur Erzeugung eines erweiterten Konformitätstests für Kommunikations- protokolle am Beispiel der ISO 15118

Frank Brosi  
IVK, Fakultät 7, Lehrstuhl für  
Kraftfahrzeugmechatronik  
Universität Stuttgart  
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2019

D93

ISSN 2567-0042                      ISSN 2567-0352 (electronic)  
Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart  
ISBN 978-3-658-27532-7              ISBN 978-3-658-27533-4 (eBook)  
<http://doi.org/10.1007/978-3-658-27533-4>

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 2019

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 allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

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

# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS). Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss für die Förderung und Betreuung meiner Arbeit, er ist Leiter des Lehrstuhls Kraftfahrzeugmechatronik des Instituts für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) der Universität Stuttgart. Ebenso gilt mein Dank Herrn Prof. Dr.-Ing. Bernard Bäker Leiter des Lehrstuhls Fahrzeugmechatronik des Instituts für Automobiltechnik Dresden (IAD) der Technischen Universität Dresden für die freundliche Übernahme des Mitberichts.

Wesentliche Grundlagen dieser Arbeit entstanden im Rahmen einer Kooperation zwischen der Vector Informatik GmbH und dem FKFS. Mein Dank gilt an dieser Stelle Herrn Litschel und Herrn Dr.-Ing. Schelling für die Möglichkeit der Zusammenarbeit. Stellvertretend für die Kollegen bei Vector, die mich fachlich, durch konstruktive und hilfreiche Diskussionen, unterstützt haben, möchte ich die Herren Fabian Eisele, Patrick Sommer, Johannes Unser, Jan Großmann und Dirk Großmann erwähnen. Einige vertiefende Untersuchungen konnte ich im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekts DELTA (Datensicherheit und –integrität in der Elektromobilität beim Laden und eichrecht-konformen Abrechnen) tätigen. Als Ergebnis dieser Untersuchungen entstanden einige der zentralen Konzepte der Testdaten-Datenbank.

Meinen Kolleginnen und Kollegen am IVK und am FKFS möchte ich für die zahlreichen Diskussionen, die gegenseitige Unterstützung sowie die großartige Arbeitatmosphäre danken. Dies hat wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Bei Herrn Max Beer möchte ich mich für den Aufbau der Hardware des Testsystems, insbesondere für das mühevoll Verlegen der Kabel bedanken. An dieser Stelle danke ich auch Dr.-Ing. Dominique Kiefner für die Unterstützung bei der Anpassungen von TeSAM und die fachliche Beratung. Ein herzlicher Dank geht an Dr.-Ing. Daniel Kuncz und Dr.-Ing. Ulrike Weinrich für die Durchsicht der Arbeit und die hilfreichen Anregungen. Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie für die Unterstützung und den großen emotionalen Rückhalt bedanken.

Frank Brosi

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort . . . . .	V
Abbildungsverzeichnis . . . . .	IX
Tabellenverzeichnis . . . . .	XI
Abkürzungen . . . . .	XIII
Kurzfassung . . . . .	XV
Abstract . . . . .	XVII
<b>1 Einleitung . . . . .</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand der Technik . . . . .</b>	<b>5</b>
2.1 Kommunikation technischer Geräte . . . . .	5
2.2 Tests für Kommunikationsprotokolle . . . . .	6
2.3 IEC 61851 . . . . .	10
2.4 ISO 15118 . . . . .	12
2.4.1 Aufbau der Norm . . . . .	14
2.4.2 ISO/OSI Schichten der ISO 15118 . . . . .	15
2.5 Konformitätstest nach ISO 15118-4 und -5 . . . . .	23
2.6 COMPL <sub>e</sub> T <sub>e</sub> . . . . .	23
2.7 Konformitätstests innerhalb von CharIn e.V. . . . .	24
2.8 TeSAM: Testgenerierung aus Zustandsautomaten . . . . .	24
<b>3 Analyse der Fehlerpotenziale . . . . .</b>	<b>27</b>
3.1 Abstraktion der Applikationsschicht . . . . .	27
3.2 Der Fehlerraum der Kommunikation technischer Geräte . . . . .	31
3.2.1 Fehlerkategorien . . . . .	31
3.2.2 Der Fehlerraum der Applikationsschicht . . . . .	33
3.3 Stimuli-Ermittlung und Auswahl für erweiterte Konformitätstests .	36
3.4 Stimuli für den erweiterten ISO 15118 Konformitätstest . . . . .	39
<b>4 Methode zur Erzeugung eines erweiterten Konformitätstest . . . . .</b>	<b>49</b>
4.1 Modelle zur Generierung von Testszenarioszenarien . . . . .	54
4.1.1 Modell der ISO 15118 . . . . .	56
4.1.2 Symboldatenbank . . . . .	60
4.1.3 Testdaten Datenbank . . . . .	62

---

4.2	Automatisierte Fehlermodellierung . . . . .	65
4.2.1	Verzögern des Sendens . . . . .	66
4.2.2	Senden von Nachrichten des Vorgänger-Zustandes . . . . .	68
4.2.3	Senden von Nachrichten des Nachfolger-Zustandes . . . . .	69
4.2.4	Stimuli mit Datenfehler . . . . .	69
4.2.5	Teilautomatisierte Modellierung . . . . .	73
4.2.6	Auffinden doppelter oder identischer Fehlerinjektionen . . . . .	74
4.2.7	Anpassung der Algorithmen . . . . .	75
4.3	Generierung der Testszenarien . . . . .	76
<b>5</b>	<b>Implementierung und Funktionsnachweis . . . . .</b>	<b>79</b>
5.1	Toolkette des Testsystems . . . . .	80
5.2	Softwarestruktur . . . . .	82
5.3	Testdaten Datenbank . . . . .	84
5.4	Hardwareaufbau . . . . .	84
5.5	Testergebnisse . . . . .	88
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick . . . . .</b>	<b>93</b>
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>97</b>
<b>A</b>	<b>Anhang . . . . .</b>	<b>107</b>
A.1	Informationen zur ISO 15118 und DIN SPEC 70121 . . . . .	107
A.2	Basismodell für Ladesäulentests . . . . .	114

# Abbildungsverzeichnis

2.1 Remote-Testaufbau . . . . .	9
2.2 Ersatzschaltbild der IEC61851 . . . . .	11
2.3 Kommunikation über IEC 61851 . . . . .	12
2.4 Die ISO 15118 im Kontext der OSI-Schichten . . . . .	14
2.5 ISO/OSI Schichten der ISO 15118 . . . . .	16
3.1 Protokoll Abstraktion . . . . .	28
3.2 Analyse der Fehlerpotenziale . . . . .	31
4.1 Übersicht der Methode . . . . .	50
4.2 Teilmodell für Fahrzeugtests ohne Fehlerzustände . . . . .	59
4.3 Ausschnitt der Modellierung eines Fahrzeugtests . . . . .	60
4.4 Schematik der Testdaten-Datenbank . . . . .	63
4.5 Algorithmus zum Verzögern des Sendens . . . . .	67
4.6 Senden von Nachrichten des Vorgänger-Zustandes . . . . .	68
4.7 Senden von Nachrichten des Nachfolger-Zustandes . . . . .	70
4.8 Ablaufdiagramm einer generierten Testsequenz mit Datenfehler . . . . .	71
4.9 Teilautomatisierte Modellierung . . . . .	74
5.1 Softwarestruktur . . . . .	82
5.2 Hardwarestruktur des Testsystems . . . . .	85
5.3 Skizze der PLC-Modul-Verschaltung . . . . .	85
5.4 Schützverschaltung . . . . .	87
A.1 Performancezeiten und Timeouts . . . . .	108
A.2 Teilmodell für Ladepunkttests ohne Fehlerstimuli . . . . .	114



# Tabellenverzeichnis

2.1	Konformitätstests für Kommunikationsprotokolle . . . . .	8
3.1	Fehlerraum der Applikationsschicht . . . . .	33
3.2	Fehler der Ablaufebene . . . . .	34
3.3	Fehler der Datenstruktur . . . . .	35
3.4	Fehler der Datenebene . . . . .	36
3.5	Fehlerstimuli der Ablaufebene . . . . .	38
3.6	Fehlerstimuli der Datenstruktur . . . . .	39
3.7	Fehlerstimuli der Datenebene . . . . .	40
3.8	Fehlerstimuli der ISO 15118 Datenebene . . . . .	42
3.9	Fehlerstimuli der ISO 15118 Datenstruktur . . . . .	45
3.10	Fehlerstimuli der ISO 15118 Ablaufebene . . . . .	47
5.1	Auffälligkeiten bei der Testdurchführung . . . . .	92
A.1	V2G handshake messages Response-Codes . . . . .	109
A.2	ISO 15118 Response-Codes . . . . .	109
A.3	DIN SPEC 70121 Response Codes . . . . .	112

# Abkürzungen

AC	<b>A</b> lternating <b>C</b> urrent
AVLN	<b>AV</b> Logical <b>N</b> etwork
BEV	<b>B</b> attery <b>E</b> lectric <b>V</b> ehicle
CAN	<b>C</b> ontroller <b>A</b> rea <b>N</b> etwork
CCS	<b>C</b> ombined <b>C</b> harging <b>S</b> ystem
COMPL <sub>e</sub> T <sub>e</sub>	<b>COM</b> munication <b>P</b> rotocol <b>va</b> lIdation <b>T</b> oolchain
CP	<b>C</b> ontrol <b>P</b> ilot
DC	<b>D</b> irect <b>C</b> urrent
DHCP	<b>D</b> ynamic <b>H</b> ost <b>C</b> onfiguration <b>P</b> rotocol
DIN	<b>D</b> eutsches <b>I</b> nstitut für <b>N</b> ormung
ECU	<b>E</b> lectronic <b>C</b> ontrol <b>U</b> nit
EIM	<b>E</b> xternal <b>I</b> dentification <b>M</b> eans
EM	<b>E</b> nergiemesser
ETSI	<b>E</b> uropean <b>T</b> elecommunication <b>S</b> tandards <b>I</b> nstitute
EV	<b>E</b> lectric <b>V</b> ehicle
EVCC	<b>E</b> lectric <b>V</b> ehicle <b>C</b> ommunication <b>C</b> ontroller
EVSE	<b>E</b> lectric <b>V</b> ehicle <b>S</b> upply <b>E</b> quipment
EXI	<b>E</b> fficient <b>eX</b> tensible <b>I</b> nterchange
FMEA	<b>F</b> ehler <b>m</b> öglichkeiten- und <b>e</b> influss <b>a</b> nalyse
IEC	<b>I</b> nternational <b>E</b> lectrotechnical <b>C</b> ommission
IEEE	<b>I</b> nstitute of <b>E</b> lectrical and <b>E</b> lectronics <b>E</b> ngineers
IETF	<b>I</b> nternet <b>E</b> ngineering <b>T</b> ask <b>F</b> orce
IMD	<b>I</b> nsulation <b>M</b> onitoring <b>D</b> evice, Isolationsüberwachungsgerät
IP / IPv6	<b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol / <b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol <b>V</b> ersion <b>6</b>
IPsec	<b>I</b> nternet <b>P</b> rotocol <b>S</b> ecurity
ISO	<b>I</b> nternational <b>O</b> rganization for <b>S</b> tandardization
IUT	<b>I</b> mplementation <b>U</b> nder <b>T</b> est
JSON	<b>J</b> ava <b>S</b> cript <b>O</b> bject <b>N</b> otation
LM	<b>L</b> istungsmesser
MAC	<b>M</b> edia <b>A</b> ccess <b>C</b> ontrol

---

MC/DC	<b>M</b> odified <b>C</b> ondition / <b>D</b> ecision <b>C</b> overage
NID	<b>N</b> etwork <b>I</b> dentify
OCPD	<b>O</b> pen <b>C</b> harge <b>P</b> oint <b>P</b> rotocol
OSI	<b>O</b> pen <b>S</b> ystems <b>I</b> nterconnection
PCO	<b>P</b> oint of <b>C</b> ontrol and <b>O</b> bservation
PE	<b>P</b> rotective <b>E</b> arth
PICS	<b>P</b> rotocol <b>I</b> mplementation <b>C</b> onformance <b>S</b> tatement
PLC	<b>P</b> ower <b>L</b> ine <b>C</b> ommunication
PnC	<b>P</b> lug and <b>C</b> harge
PP	<b>P</b> roximity <b>P</b> in
PWM	<b>P</b> ulsweiten <b>m</b> odulation
RFC	<b>R</b> equests for <b>C</b> omments
RFID	<b>R</b> adio- <b>F</b> requency <b>I</b> dentification
SA	<b>S</b> econdary <b>A</b> ctor
SAE	<b>S</b> ociety of <b>A</b> utomotive <b>E</b> ngineers
SDP	<b>S</b> ECC <b>D</b> iscovery <b>P</b> rotocol
SECC	<b>S</b> upply <b>E</b> quipment <b>C</b> ommunication <b>C</b> ontroller
SLAAC	<b>S</b> tateless <b>A</b> uto <b>A</b> ddress <b>C</b> onfiguration
SLAC	<b>S</b> ignal- <b>L</b> evel- <b>A</b> ttenuation- <b>C</b> haracterization
SOC	<b>S</b> tate of <b>C</b> harge
SuT	<b>S</b> ystem <b>u</b> nder <b>T</b> est
SW	<b>S</b> oftware
TCP	<b>T</b> ransmission <b>C</b> ontrol <b>P</b> rotocol
TLS	<b>T</b> ransport <b>L</b> ayer <b>S</b> ecurity
TTCN-3	<b>T</b> esting and <b>T</b> est <b>C</b> ontrol <b>N</b> otation <b>V</b> ersion 3
UDP	<b>U</b> ser <b>D</b> atagram <b>P</b> rotocol
UML	<b>U</b> nified <b>M</b> odeling <b>L</b> anguage
V2G	<b>V</b> ehicle <b>t</b> o <b>G</b> rid (communication)
V2G CI	<b>V2G</b> <b>C</b> ommunication <b>I</b> nterface
V2GTP	<b>V2G</b> <b>T</b> ransfer <b>P</b> rotocol
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informations- technik e.V.
WPT	<b>W</b> ireless <b>P</b> ower <b>T</b> ransfer
XML	<b>e</b> Xtensible <b>M</b> arkup <b>L</b> anguage
XSD	<b>X</b> ML <b>S</b> chema <b>D</b> efinition

## **Kurzfassung**

Die Einführung der ISO 15118 als Kommunikationsprotokoll zwischen Elektrofahrzeugen und Ladepunkten wirft die Frage der Konformitäts- und Interoperabilitätsprüfung für dieses Protokoll auf. Die folgende Arbeit stellt eine neuartige Methode zur Ermittlung eines erweiterten Konformitätstests vor. Diese Methode ist geeignet die Konformitätsprüfung um Aspekte der Robustheit und der Interoperabilität zu erweitern. Das Protokoll wird dazu in Abstraktionsebenen unterteilt und auf jeder Ebene bezüglich potenzieller Fehler analysiert. Das Ergebnis dieser Analyse wird anschließend zur Ableitung und Auswahl geeigneter Stimuli für den erweiterten Konformitätstest genutzt. Zur Erzeugung von Testsequenzen wird ein modellbasierter Ansatz verwendet. Dieser unterscheidet sich von bisherigen Ansätzen darin, dass nicht das Modell zur Bestimmung der Negativtests herangezogen wird, sondern die Negativtests mit neu entwickelten Algorithmen automatisiert in das Modell integriert werden. Das sich ergebende Gesamtmodell ermöglicht eine Überprüfung der Ergebnisse der Algorithmen sowie des Testumfangs. Als Basis für die automatische Modellierung nutzen die Algorithmen ein Gut-Fall-Modell des Protokolls, in welches die Stimuli eingefügt werden. Das entstandene Modell wird im Anschluss in Testsequenzen für eine Testablaufsteuerung übersetzt. Diese generierten Testsequenzen kommen auf einem ebenfalls in dieser Arbeit vorgestellten Testsystem zur Ausführung. Die abschließend aufgezeigten Testergebnisse dieses Testsystems weisen die praktische Anwendbarkeit des Vorgehens nach.

## **Abstract**

Introducing the ISO 15118 as a communication protocol between electric vehicles and charge points raises the question of testing the conformity and interoperability of this protocol. The work in this thesis presents a new systematic method for determining an extended conformance test. This method is suitable for extending the conformity check with aspects of robustness and interoperability. The protocol is divided into abstraction levels which are analyzed at each level for potential errors. The results of the analysis are then used to derive and select appropriate stimuli for the extended conformance test. A model-based approach is used in this method to generate the test sequences. This differs from previous approaches in which the model is used to determine the provocation with negative-tests. The resulting overall model allows a review of the results of the algorithms and the scope of the test. These test-cases are integrated automatically into the model using newly developed algorithms. The tests with the stimuli are thus modeled automatically by inserting the selected test stimuli from the algorithms into a base model of the protocol. The resulting model is then translated into test-sequences for the selected test procedure software. The generated test-sequences, which are used in the test bed, are also presented in this thesis. Finally some test results of this test system are described, they demonstrate the applicability of the complete procedure