

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik  
Universität Stuttgart

RESEARCH

Dan Keilhoff

# Ein methodischer Ansatz zur Erstellung von Hybrid- Betriebsstrategien für die simulative Ermittlung von Lastkollektiven



---

# **Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart**

## **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-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.

### **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

---

Dan Keilhoff

# Ein methodischer Ansatz zur Erstellung von Hybrid- Betriebsstrategien für die simulative Ermittlung von Lastkollektiven

 Springer Vieweg

Dan Keilhoff  
Stuttgart, Deutschland

Zugl.: Dissertation Universität Stuttgart, 2016

D93

Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart  
ISBN 978-3-658-16540-6 ISBN 978-3-658-16541-3 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-658-16541-3

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 2016

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.

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH

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

*Gewidmet der Ziffernkombination 20 37 37 99.*

*Wer's versteht, ist gemeint.*

# Vorwort

Die vorliegende Abhandlung entstand während meiner Tätigkeit als akademischer Mitarbeiter am Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen (IVK) der Universität Stuttgart. Mit ihrer Fertigstellung endet nach etwa dreieinhalb Jahren meine Zugehörigkeit zum „Kooperativen Promotionskolleg HYBRID“.

Mein erster Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr.-Ing. Hans-Christian Reuss. Sowohl die sehr konstruktive Atmosphäre am Lehrstuhl als auch das hohe Maß an Vertrauen, das er mir entgegengebracht hat, haben entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Oliver Sawodny bedanken, der sich trotz zahlreicher beruflicher Verpflichtungen die Zeit für die Begutachtung genommen hat.

Einen ganz herzlichen Dank möchte ich den Bereichsleitern Herrn Dr.-Ing. Gerd Baumann und Herrn Dr.-Ing. Michael Grimm sowie meinen Kolleginnen und Kollegen am IVK bzw. am Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren Stuttgart (FKFS) aussprechen. Dank ihnen ist kein Tag vergangen, an dem ich nicht etwas gelernt hätte.

Für die hervorragende Integration in die Abteilung RD/PTI bei der Daimler AG möchte ich mich bei den Herren Dittmar Wieland und Dr.-Ing. Carsten Gitt bedanken. Darüber hinaus danke ich den Teamleitern Herrn Dr.-Ing. Armin Veil und Herrn Dr.-Ing. Klaus Riedl sowie allen Teammitgliedern für die wertvolle Unterstützung. Dadurch konnte ich in unzähligen Gesprächen meinen fachlichen Horizont beträchtlich erweitern.

Ebenso herzlich möchte ich mich beim Steinbeis-Transferzentrum, Herrn Prof. Dr.-Ing. Günter Willmerding sowie Herrn Dipl.-Ing. Jakob Häckh bedanken. Meine Wünsche wurden stets zügig und zuverlässig erfüllt.

Verbunden mit den besten Wünschen für ihre Promotionsvorhaben bzw. ihren weiteren Werdegang möchte ich mich bei meinen Mitstreitern im Kolleg für die sehr angenehme Zusammenarbeit bedanken.

Ein besonderer Dank gebührt dem Ministerium für Bildung, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg für die Förderung des Promotionskollegs. Nicht minder wichtig war und ist der Beitrag der Industriepartner Daimler AG und Robert Bosch GmbH. Dafür sei ihnen an dieser Stelle gedankt.

Nicht unerwähnt bleiben darf die Arbeit meiner Lektorin Frau Dr. Angelika Schulz. Dank ihrer akribischen Durchsicht erlangte das Manuskript die notwendige Reife für die Veröffentlichung.

Mein letzter, dafür aber umso größerer Dank gilt meiner Familie. Unterstützung, Rat oder einfach nur Ablenkung – was auch immer ich gebraucht habe, ich habe es bekommen.

Dan Keilhoff

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	VII
Abbildungsverzeichnis.....	XIII
Tabellenverzeichnis .....	XIX
Abkürzungen und Formelzeichen .....	XXI
Zusammenfassung.....	XXVII
Abstract.....	XXIX
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen .....</b>	<b>5</b>
2.1 Unterscheidung von Hybridtopologien.....	5
2.1.1 Serieller Hybridantrieb.....	5
2.1.2 Paralleler Hybridantrieb.....	6
2.1.3 Leistungsverzweigter Hybridantrieb.....	12
2.2 Ausgewählte Betriebszustände bei Hybridfahrzeugen.....	13
2.2.1 Motor-Stopp-Start.....	13
2.2.2 Hybrides Fahren / Boosten.....	14
2.2.3 Rein elektrisches Fahren .....	14
2.2.4 Lastpunktverschiebung (spez. Lastpunktanhebung) .....	15
2.2.5 Rekuperation .....	15
2.2.6 Rollen / Segeln.....	16
2.2.7 Externes Laden / Plug-In-Hybrid.....	17
2.3 Klassierungen, Zählverfahren, Kollektive .....	17
2.3.1 Bereichspaar-Mittelwert-Zählung.....	18
2.3.2 Rainflow-Zählung .....	19

2.3.3	Zweiparametrische Verweildauerzählung.....	23
2.4	Lebensdauerberechnung bei Getrieben.....	24
2.4.1	Belastbarkeit und Wöhlerkurven.....	25
2.4.2	Die Schadensakkumulationshypothese nach Palmgren-Miner .....	27
2.4.3	Überrollungs- und Wechsellastschädigung.....	29
<b>3</b>	<b>Vorbereitende Überlegungen .....</b>	<b>31</b>
3.1	Angestrebte Ziele und ihre Priorisierung .....	31
3.2	Eignung existierender Hybrid-Betriebsstrategien .....	33
3.3	Einbettung des Modells in die Simulationsumgebung.....	36
3.4	Festlegung einer Nomenklatur .....	38
3.5	Festlegung einer Vorzeichenkonvention.....	39
<b>4</b>	<b>Das Modell “Hybrid Torque Calculation” .....</b>	<b>43</b>
4.1	Die Struktur des Modells .....	43
4.2	Unterstützte Topologien.....	44
4.2.1	Topologien mit reiner Momentenaddition (P1, P2, P3, DCT).....	45
4.2.2	Topologien mit Zugkraftaddition (Axle-Split).....	49
4.3	Definition des Triebstranges .....	51
4.3.1	Der Verbrennungsmotor .....	51
4.3.2	Die E-Maschinen.....	51
4.3.3	Die Batterie .....	52
4.3.4	Die Anfahrlemente .....	52
4.3.5	Das Schaltgetriebe und allgemeine Getriebe .....	53
4.3.6	Die Räder .....	54
4.4	Ermittlung des Betriebszustandes .....	54
4.4.1	Erzeugung der Schnittstelle für Nutzereingaben.....	54

---

4.4.2	Berücksichtigung von Anfahrvorgängen .....	57
4.4.3	Möglichkeiten des manuellen Eingriffs .....	58
<b>5</b>	<b>Berechnungsansatz des HTC-Modells.....</b>	<b>61</b>
5.1	Berücksichtigung des Wirkungsgrades.....	61
5.2	Beispielrechnung für einen P2-Hybrid .....	63
5.3	Funktionsnachweis für einen P2-Hybrid.....	71
5.3.1	Referenzmessungen .....	72
5.3.2	Simulationsergebnisse.....	74
5.3.3	Diskussion der Ergebnisse .....	99
<b>6</b>	<b>Übertragung des Ansatzes auf weitere Hybrid- Topologien .....</b>	<b>101</b>
6.1	Topologien mit reiner Momentenaddition .....	101
6.1.1	P3-Hybrid.....	101
6.1.2	DCT-Hybrid.....	103
6.1.3	Prüfung des Berechnungsansatzes auf Plausibilität .....	111
6.2	Topologien mit Zugkraftaddition.....	113
6.2.1	Allgemeine Gleichungen.....	114
6.2.2	Berücksichtigung der Triebstrang-Grenzen .....	118
6.2.3	Berechnung der finalen Aufteilung – Option „Split“ ....	120
6.2.4	Berechnung der finalen Aufteilung – Option „Force“ ..	124
6.2.5	Prüfung des Berechnungsansatzes auf Plausibilität .....	128
<b>7</b>	<b>Die Anwendung des HTC-Modells .....</b>	<b>131</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>135</b>

<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>139</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>143</b>

# Abbildungsverzeichnis

<b>Bild 2.1:</b>	Serieller Hybridantrieb (schematisch).....	6
<b>Bild 2.2:</b>	P1-Hybrid (schematisch).....	7
<b>Bild 2.3:</b>	P2-Hybrid in 4x2- und 4x4-Ausführung (schematisch) .....	7
<b>Bild 2.4:</b>	P3-Hybrid mit verschiedenen EM-Anbindungen (schematisch).....	8
<b>Bild 2.5:</b>	Hybridisiertes Doppelkupplungsgetriebe (schematisch) .....	9
<b>Bild 2.6:</b>	Ausgewählte Leistungsflüsse in einem hybridisierten Doppelkupplungsgetriebe.....	10
<b>Bild 2.7:</b>	Axle-Split-Hybrid (schematisch) .....	11
<b>Bild 2.8:</b>	Axle-Split-P1-Hybrid (schematisch).....	12
<b>Bild 2.9:</b>	Axle-Split-P2-Hybrid (schematisch).....	12
<b>Bild 2.10:</b>	Leistungsverzweigter Hybridantrieb .....	13
<b>Bild 2.11:</b>	Belastungs-Zeit-Funktion (schematisch).....	18
<b>Bild 2.12:</b>	Zählergebnis einer Bereichspaar-Mittelwert-Zählung.....	19
<b>Bild 2.13:</b>	Ursprüngliche Darstellungen der Rainflow-Zählung .....	20
<b>Bild 2.14:</b>	Geschlossene Hysteresen bei einer Rainflow-Zählung .....	21
<b>Bild 2.15:</b>	Beispielsignal für ein Drehmoment über der Zeit .....	22
<b>Bild 2.16:</b>	Zählergebnis einer Rainflow-Zählung.....	22
<b>Bild 2.17:</b>	Beispielsignale für Drehzahl und Drehmoment über der Zeit....	23
<b>Bild 2.18:</b>	Zählergebnis einer zweiparametrischen Verweildauerzählung .....	24
<b>Bild 2.19:</b>	Spannungskontrollierte Wöhlerkurve (schematisch).....	26
<b>Bild 2.20:</b>	Schadensakkumulation nach Palmgren-Miner (schematisch)....	28
<b>Bild 3.1:</b>	Einteilung von Hybrid-Betriebsstrategien.....	34
<b>Bild 3.2:</b>	Einbettung des Modells in eine existierende Simulationsumgebung.....	37

<b>Bild 3.3:</b>	Vergleich zwischen „Zug-Schub-Logik“ und „egoistischer Vorzeichenregelung“ .....	40
<b>Bild 4.1:</b>	Aufbau des HTC-Modells .....	44
<b>Bild 4.2:</b>	Verwendete Abkürzungen für die abstrahierten Berechnungsmodelle .....	45
<b>Bild 4.3:</b>	Topologie T120: P1/P2-Hybrid (schematisch und abstrahiert).....	46
<b>Bild 4.4:</b>	Topologie T140: P3-Hybrid (schematisch und abstrahiert) .....	47
<b>Bild 4.5:</b>	Topologie T180: DCT-Hybrid (schematisch und abstrahiert) ...	48
<b>Bild 4.6:</b>	Topologie T210: AS-Hybrid (schematisch und abstrahiert) .....	49
<b>Bild 4.7:</b>	Topologie T220: AS-P1/P2-Hybrid (schematisch und abstrahiert).....	50
<b>Bild 4.8:</b>	Schnittstelle für Nutzereingaben zur Wahl des Betriebszustandes .....	57
<b>Bild 5.1:</b>	Beispielhafter Wirkungsgradverlauf mit möglichen Ersatzwerten .....	62
<b>Bild 5.2:</b>	Beispielhafter Antriebsstrang für einen P2-Hybriden .....	64
<b>Bild 5.3:</b>	Berechnungsmodell eines Getriebeelementes .....	65
<b>Bild 5.4:</b>	Berechnungsmodell der E-Maschine.....	68
<b>Bild 5.5:</b>	Höhenprofile der Fahrstrecken (Stadt, Überland, Autobahn).....	74
<b>Bild 5.6:</b>	S205, Stadt/Sport: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC.....	75
<b>Bild 5.7:</b>	S205, Stadt/Sport: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	76
<b>Bild 5.8:</b>	S205, Stadt/Sport: Verweildauerzählungen (Getriebe) .....	77
<b>Bild 5.9:</b>	S205, Stadt/Sport: Überrollungsschädigungen (oben)- und Wechsellastschädigungen (unten) .....	78
<b>Bild 5.10:</b>	S205, Autobahn/Sport: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	79
<b>Bild 5.11:</b>	S205, Autobahn/Sport: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	80
<b>Bild 5.12:</b>	S205, Autobahn/Sport: Verweildauerzählungen (Getriebe).....	81

<b>Bild 5.13:</b> S205, Autobahn/Sport: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	82
<b>Bild 5.14:</b> S205, Überland/Sport: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	83
<b>Bild 5.15:</b> S205, Überland/Sport: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	84
<b>Bild 5.16:</b> S205, Überland/Sport: Verweildauerzählungen (Getriebe).....	85
<b>Bild 5.17:</b> S205, Überland/Sport: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	86
<b>Bild 5.18:</b> S205, Stadt/Eco: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	87
<b>Bild 5.19:</b> S205, Stadt/Eco: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	88
<b>Bild 5.20:</b> S205, Stadt/Eco: Verweildauerzählungen (Getriebe).....	89
<b>Bild 5.21:</b> S205, Stadt/Eco: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	90
<b>Bild 5.22:</b> S205, Autobahn/Eco: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC ...	91
<b>Bild 5.23:</b> S205, Autobahn/Eco: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	92
<b>Bild 5.24:</b> S205, Autobahn/Eco: Verweildauerzählungen (Getriebe) .....	93
<b>Bild 5.25:</b> S205, Autobahn/Eco: Überrollungsschädigungen.....	94
<b>Bild 5.26:</b> S205, Überland/Eco: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC ....	95
<b>Bild 5.27:</b> S205, Überland/Eco: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	96
<b>Bild 5.28:</b> S205, Überland/Eco: Verweildauerzählungen (Getriebe).....	97
<b>Bild 5.29:</b> S205, Überland/Eco: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	98
<b>Bild 6.1:</b> Gefordertes Summenmoment beim P3-Hybrid .....	102
<b>Bild 6.2:</b> Abwerfen und Wiederstart einer EM in Abhängigkeit der Drehzahl .....	103
<b>Bild 6.3:</b> Beispielhafter Leistungsfluss bei einem DCT-Hybrid während einer Lastpunktanhebung.....	104

<b>Bild 6.4:</b>	Beispielhafter Antriebsstrang für einen DCT-Hybriden während einer Rekuperation.....	105
<b>Bild 6.5:</b>	Plausibilisierung DCT-Hybrid .....	112
<b>Bild 6.6:</b>	Abstrahierte Triebstrangmodelle für den AS- und den AS-P1/P2-Hybrid.....	113
<b>Bild 6.7:</b>	Theoretische Lösung für einen unlimitierten AS-P2-Hybrid ...	118
<b>Bild 6.8:</b>	Berücksichtigen der zulässigen Grenzen.....	119
<b>Bild 6.9:</b>	Mögliche Lösungen bei gewählter Option „Split“ .....	120
<b>Bild 6.10:</b>	Fallunterscheidung bei gewählter Option „Force“ .....	125
<b>Bild 6.11:</b>	Mögliche Lösungen bei gewählter Option „Force“, Fall A (PT1 > PT2).....	126
<b>Bild 6.12:</b>	Momenten- und Stromverteilung bei gewählter Option „Force“ .....	130
<b>Bild A.1:</b>	V222, Stadt/Sport: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	145
<b>Bild A.2:</b>	V222, Stadt/Sport: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	146
<b>Bild A.3:</b>	V222, Stadt/Sport: Verweildauerzählungen (Getriebe).....	147
<b>Bild A.4:</b>	V222, Stadt/Sport: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	148
<b>Bild A.5:</b>	V222, Autobahn/Sport: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	149
<b>Bild A.6:</b>	V222, Autobahn/Sport: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	150
<b>Bild A.7:</b>	V222, Autobahn/Sport: Verweildauerzählungen (Getriebe) ....	151
<b>Bild A.8:</b>	V222, Autobahn/Sport: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	152
<b>Bild A.9:</b>	V222, Überland/Sport: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	153
<b>Bild A.10:</b>	V222, Überland/Sport: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	154
<b>Bild A.11:</b>	V222, Überland/Sport: Verweildauerzählungen (Getriebe).....	155

---

<b>Bild A.12:</b> V222, Überland/Sport: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	156
<b>Bild A.13:</b> V222, Stadt/Eco: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	157
<b>Bild A.14:</b> V222, Stadt/Eco: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	158
<b>Bild A.15:</b> V222, Stadt/Eco: Verweildauerzählungen (Getriebe) .....	159
<b>Bild A.16:</b> V222, Stadt/Eco: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	160
<b>Bild A.17:</b> V222, Autobahn/Eco: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC .....	161
<b>Bild A.18:</b> V222, Autobahn/Eco: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	162
<b>Bild A.19:</b> V222, Autobahn/Eco: Verweildauerzählungen (Getriebe) .....	163
<b>Bild A.20:</b> V222, Autobahn/Eco: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	164
<b>Bild A.21:</b> V222, Überland/Eco: Geschwindigkeit, VM-Drehzahl, SOC ..	165
<b>Bild A.22:</b> V222, Überland/Eco: Verweildauerzählungen (Antriebsmaschinen) .....	166
<b>Bild A.23:</b> V222, Überland/Eco: Verweildauerzählungen (Getriebe) .....	167
<b>Bild A.24:</b> V222, Überland/Eco: Überrollungsschädigungen (oben) und Wechsellastschädigungen (unten) .....	168
<b>Bild B.25:</b> Mögliche Lösungen bei gewählter Option „Force“, Fall B (PT1 = PT2) .....	182
<b>Bild B.26:</b> Mögliche Lösungen bei gewählter Option „Force“, Fall C (PT1 < PT2) .....	189

# Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 4.1:</b>	Übersicht über die verfügbaren Betriebszustände.....	55
<b>Tabelle 5.1:</b>	Daten des fiktiven P2-Hybrids.....	63
<b>Tabelle 5.2:</b>	Lösung für den fiktiven P2-Hybrid während des hybriden Fahrens.....	71
<b>Tabelle 5.3:</b>	Daten der Referenzfahrzeuge.....	72
<b>Tabelle 6.1:</b>	Daten des fiktiven DCT-Hybrids .....	105
<b>Tabelle 6.2:</b>	Lösung für den fiktiven DCT-Hybrid während einer Lastpunktanhebung.....	110
<b>Tabelle 6.3:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Antriebsmaschinen und Batterie.....	121
<b>Tabelle 6.4:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Getriebeelemente .....	122
<b>Tabelle 6.5:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Räder und Reifen .....	122
<b>Tabelle 6.6:</b>	Lösung bei gewählter Option „Split“ .....	124
<b>Tabelle 6.7:</b>	Lösung bei gewählter Option „Force“ .....	128
<b>Tabelle 7.1:</b>	Auswirkungen verschiedener Hybrid-Strategien auf die Triebstrangbelastung ( $F = 8.161 \text{ N}$ ).....	132
<b>Tabelle 7.2:</b>	Auswirkungen verschiedener Hybrid-Strategien auf die Triebstrangbelastung ( $F = 8.915 \text{ N}$ ).....	133
<b>Tabelle B.1:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Antriebsmaschinen und Batterie („Force“, Fall B).....	181
<b>Tabelle B.2:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Getriebeelemente („Force“, Fall B) .....	181
<b>Tabelle B.3:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Räder und Reifen („Force“, Fall B) .....	182
<b>Tabelle B.4:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Antriebsmaschinen und Batterie („Force“, Fall C).....	188
<b>Tabelle B.5:</b>	Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Getriebeelemente („Force“, Fall C) .....	188

<b>Tabelle B.6:</b> Daten des fiktiven AS-P2-Hybrids: Räder und Reifen („Force“, Fall C) .....	189
---	-----

# Abkürzungen und Formelzeichen

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung (Deutsch)</b>	<b>Explanation (English)</b>
actv	aktiv	<i>active</i>
adj	justieren	<i>adjust</i>
amb	Umgebung	<i>ambient</i>
AS	aufgeteilt auf Achsen	<i>axle split</i>
ax, AX	Achse	<i>axle</i>
b	boolesch	<i>boolean</i>
basic	Basis	<i>basic</i>
batt, BATT	Batterie	<i>battery</i>
brk	Bremsen	<i>brake</i>
calc	berechnet, Berechnung	<i>calculated, calculation</i>
cap	Kapazität	<i>capacity</i>
cds, CDS	Laden im Stand	<i>charge during standstill</i>
cell	Zelle	<i>cell</i>
chrg	Laden	<i>charge</i>
clsd	geschlossen	<i>closed</i>
clutch	Kupplung	<i>clutch</i>
crawl	Kriechen	<i>crawl</i>
ctr	Zähler	<i>counter</i>
curr	Strom	<i>current</i>
DCT	Doppelkupplungsgetriebe	<i>Double Clutch Transmission</i>
deb	Entprellung	<i>debounce</i>
dem	Wunsch	<i>demand</i>
drv	Fahren	<i>drive</i>
dschrg	Entladen	<i>discharge</i>
dyn	dynamisch	<i>dynamic</i>
ella, ELLA	Bevorzugt elektrisch Anfahren	<i>electric launch</i>

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung (Deutsch)</b>	<b>Explanation (English)</b>
em, EM	E-Maschine(n), elektrisch	<i>e-machine(s), electric</i>
enable	freigegeben	<i>enabled</i>
eng, ENG	Verbrennungsmotor	<i>(internal combustion) engine</i>
ess, ESS	Motor-Stopp-Start	<i>engine stop start</i>
eta	Wirkungsgrad	<i>conversion ratio</i>
fac	Faktor	<i>factor</i>
FD	Abschluss-Zahnradstufe	<i>final drive</i>
frc	Kraft	<i>force</i>
frcd	erzwungen	<i>forced</i>
fric, FRIC	Reibbremsen	<i>friction braking</i>
frnt	Vorder-	<i>front</i>
gear	Gang	<i>gear</i>
gen	generatorisch	<i>generator</i>
grbx, GRBX	Getriebe	<i>gearbox</i>
hi	hoch	<i>high</i>
htc, HTC	Hybrid-Momenten-Berechnung	<i>hybrid torque calculation</i>
hyb, HYB	hybrid, Hybrid	<i>hybrid</i>
hys	Hysterese	<i>hysteresis</i>
idle, IDLE	Leerlauf	<i>idle</i>
idx	Index	<i>index</i>
in	ein, Eingang	<i>in, input</i>
inertia	Trägheit	<i>inertia</i>
init	Initialisierung	<i>initialization</i>
int	intern	<i>internal</i>
isp	Eingangssignalverarbeitung	<i>input signal processing</i>
k	Umwandlungsfaktor	<i>conversion factor</i>
lhv	Ersatzwert	<i>limb home value</i>
lim	Limit	<i>limit</i>
lnch, LNCH	Anfahrelement	<i>launch element</i>

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung (Deutsch)</b>	<b>Explanation (English)</b>
lo	niedrig	<i>low</i>
lock	gesperrt, Sperre	<i>locked, lock</i>
lpi, LPI	Lastpunktanhebung	<i>load point increase</i>
lvl	Level	<i>level</i>
man	manuell	<i>manual</i>
max	Maximum	<i>maximum</i>
min	Minimum	<i>minimum</i>
mode	Modus	<i>mode</i>
mot	motorisch	<i>motor</i>
move	Bewegung	<i>movement</i>
mstr	Master	<i>master</i>
mue	Wandlung	<i>conversion ratio</i>
off	aus	<i>off</i>
on	an	<i>on</i>
op	Betrieb	<i>operation</i>
optn	Option	<i>option</i>
out	aus, Ausgang	<i>out, output</i>
ovr	Schubbetrieb, Rollen	<i>overrun</i>
P	Parallel(-Hybrid)	<i>parallel (hybrid)</i>
pdl	Pedal	<i>pedal</i>
peak	Peak	<i>peak</i>
pre	vorläufig	<i>preliminary</i>
present	vorhanden	<i>present</i>
prim	primär	<i>primary</i>
pt	(Teil-)Triebstrang	<i>powertrain</i>
pwr	Leistung	<i>power</i>
r	Radius	<i>radius</i>
ratio	Übersetzungsverhältnis	<i>ratio</i>
rear	Hinter-	<i>rear</i>
recup, RECUP	Rekuperation	<i>recuperation</i>
rel	relativ	<i>relative</i>