

Diplomarbeit

Untersuchungen zu systembedingten Verlustzeiten von Start-Stopp-Systemen in Hybrid-Fahrzeugen und deren Auswirkungen auf die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von cand. Ing.: **S e b a s t i a n M e s é e** geb. am: 08.04.1994

Studiengang Kraftfahrzeugtechnik
Studienschwerpunkt Karosserieentwicklung und -konstruktion

Ausgegeben von:	Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf
Erstbetreuer:	Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf
Zweitbetreuer:	Prof. Dr.-Ing. Lutz Nagel

Autorenreferat

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit den technischen Zusammenhängen, der messtechnischen Aufnahme und Analyse sowie den Auswirkungen von unvermeidbaren, systembedingten Verlustzeiten durch Start-Stopp-Systeme von Fahrzeugen mit Hybridantrieb. Es erfolgt zunächst eine Auswertung der gegenwärtigen Fachliteratur sowie der Normen und Richtlinien zum aktuellen Stand der Technik. Ebenso werden die derzeit verfügbaren Hybridsysteme und die dazugehörigen Start-Stopp-Komponenten erläutert. Den Mittelpunkt der Arbeit bildet die Planung, Durchführung und messtechnische Erfassung der Verlustzeiten des Start-Stopp-Systems. Auf die Auswertung der Messungen stützt sich der Vergleich mit bereits durchgeführten Untersuchungen, die in vorangegangenen Arbeiten ermittelt wurden. Darauffolgend wird mit Hilfe der Versuchsdaten eine Unfallsimulation durchgeführt. Die entsprechenden Resultate dienen als Grundlage für die Beurteilung des Einflussfaktors systembedingter Verlustzeiten von Start-Stopp-Systemen bei Hybridfahrzeugen auf die Verkehrsunfallrekonstruktion.

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommene Textstellen, Bilder, Tabellen u. a. sind unter Angabe der Herkunft kenntlich gemacht.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Zwickau, den 11.04.2022

Sebastian Mesée

Danksagung

Bedanken möchte ich mich an dieser Stelle bei allen, die diese Arbeit ermöglicht oder maßgeblich an der Umsetzung beteiligt waren. Ein spezieller Dank gilt hierbei dem Toyota Autohaus Nobbe und Renault Autohaus Schießner in Nienburg/Weser, Mercedes-Benz Autohaus LUEG, Volkswagen Autohaus Joachim Huster und BMW Autohaus Strauß in Zwickau, sowie den Autohäusern Albertsmeyer in Leinefelde und Worbis für die zu Verfügung gestellten Fahrzeuge. Ein weiterer Dank gilt Dipl.-Ing Henry Rose für die Adaptierung des Pedalkraftsensors auf das Messgerät der PicDAQ 5. Recht herzliche möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Brösdorf bedanken, der mich bei der Themenfindung, Organisation der Messtechnik, der Betreuung während der Arbeit sowie bei der Simulationserstellung tatkräftig unterstützt hat. Ein weiterer Dank gilt der Fakultät Kraftfahrzeugtechnik, Prof. Dr.-Ing. Jan Schubert, Dipl.-Ing. Guido Bau, Dipl.-Ing. Toni Dietel und Dipl.-Ing. Henri Heinlein, durch deren Hilfe die ersten Tests mit hochschuleigenen Fahrzeugen durchgeführt werden konnte.

Inhalt

I	Verzeichnis der Abbildungen	I
II	Verzeichnis der Tabellen.....	VIII
III	Verzeichnis der Anlagen	XIV
IV	Verzeichnis der Kurzzeichen.....	XV
V	Verzeichnis der Abkürzungen	XVI
VI	Glossar.....	XVIII
1	Einleitung	1
2	Klärung grundlegender Begriffe und Stand der Technik	3
2.1	Historischer Abriss	3
2.2	Stand der Technik.....	5
2.2.1	Begriffsklärung Hybrid	5
2.2.2	Einteilung von Hybridantrieben nach dem Energiefluss	6
2.2.2.1	Der serielle Hybridantrieb.....	7
2.2.2.2	Der parallele Hybridantrieb	8
2.2.2.3	Der leistungsverzweigte Hybridantrieb.....	10
2.2.3	Einteilung von Hybridantrieben nach dem Elektrifizierungsgrad....	12
2.2.3.1	Der Micro-Hybrid	13
2.2.3.2	Der Mild-Hybrid (MHEV)	14
2.2.3.3	Der Voll-Hybrid.....	17
2.2.3.4	Der Plug-In-Hybrid	20
2.3	Das Start-Stopp-System	23

2.3.1	Technischer Aufbau des Start-Stopp-Systems	23
2.3.2	Bedingungen und Funktion des Start-Stopp-Systems	26
2.3.2.1	Bedingungen des Start-Stopp-Systems	26
2.3.2.2	Funktion des Start-Stopp-Systems	27
2.3.3	Das Start-Stopp-System bei Hybridfahrzeugen	28
2.3.4	Erkenntnisse bereits veröffentlichter Arbeiten	29
3	Versuchsplanung und Durchführung	32
3.1	Vorüberlegungen	32
3.1.1	Faktoren	32
3.1.2	Versuchsannahme	34
3.2	Versuchsaufbau	34
3.2.1	Auswahl der Messtechnik	34
3.3	Versuchsdurchführung	37
3.3.1	Messaufbau	37
3.3.2	Aufnahme der Verlustzeiten	40
3.3.2.1	Anrollen des Fahrzeugs	40
3.3.2.2	Anfahren des Fahrzeugs mit geringer Beschleunigung	41
3.3.2.3	Anfahren des Fahrzeugs mit starker Beschleunigung	41
3.3.3	Messstrecken	41
3.3.4	Messfahrzeuge	44
3.3.4.1	Audi A6 Avant 50 TDI quattro	46
3.4	Messwerte	47

4	Auswertung der Versuchsergebnisse und Zusammenfassung	57
4.1	Auswertung der Verlustzeiten am Beispiel einer Messung	57
4.2	Besonderheiten der Systeme bei der Versuchsdurchführung	59
4.2.1	Differenzierung zwischen abschaltbaren und nicht abschaltbaren Start-Stopp-Systemen.....	60
4.2.2	Start-Stopp-System bei HEV und PHEV	60
4.2.3	Einfluss der Fahrmodi auf das Anfahrverhalten.....	61
4.2.4	Gesamtbetrachtung der Messungen	62
4.2.5	Betrachtung der Messwerte der Mild-Hybrid-Fahrzeuge (MHEV)..	66
4.2.6	Betrachtung der Messwerte der HEV-Fahrzeuge	66
4.2.7	Betrachtungen der Messwerte der PHEV-Fahrzeuge.....	70
4.2.8	Einfluss des Anfahrscenarios auf die Verlustzeit	73
4.2.9	Vergleich der Messwerte mit bereits durchgeführten Messungen .	74
4.3	Fallbeispiel der Unfallrekonstruktion	75
4.3.1	Einfluss der Verlustzeit im Straßenverkehr und Rekonstruktion eines Verkehrsunfalls	75
4.3.1.1	Versuchsaufbau	76
4.3.1.2	Simulation	77
4.3.1.3	Folgen der Verlustzeiten	80
5	Zusammenfassung	81
6	Verzeichnis der Quellen	83
6.1	Literatur.....	83

6.2	Bildquellen	84
7	Anlagen.....	88

I Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Semper Vivus	4
Abbildung 2 Berechnungsgrundlage der Strafzahlungen (3).....	5
Abbildung 3 Auszug Schematische Übersicht von Hybridantrieben kategorisiert nach dem Energiefluss (6)	6
Abbildung 4 Schematischer Aufbau eines seriellen Hybridantriebs (5)	7
Abbildung 5 Nomenklatur für Parallel-Hybridsysteme [Daimler] (6)	9
Abbildung 6 Leistungsverzweigung des Hybridantriebes (6).....	10
Abbildung 7 Schematischer Aufbau Eingangsleistungsverzweigter Hybridantrieb (Input-Split) (6)	11
Abbildung 8 Auszug (6) Schematischer Aufbau Ausgangsleistungsverzweigter Hybridantrieb (Output-Split) (6)	11
Abbildung 9 Gliederkette und Kegelspalten mit Verstelleinrichtung eines CVT-Getriebes	12
Abbildung 10 Audi 1.5 TFSI 48 Volt-Riemen-Starter-Generator.....	15
Abbildung 11 Riemen-Spannvorrichtung des Riemen-Starter Generator (RSG) (8).....	16
Abbildung 12 MHEV-System Audi S4 TDI mit 48 Volt-Bordnetz und elektrisch angetriebenen Verdichter	17
Abbildung 13 Leistungs- und Drehmomentdiagramm Audi A3 e-tron (8V) (9) .	19
Abbildung 14 Übersicht ausgewählter Systemkomponenten eines Audi A7 55 TFSI e Plug-in-Hybrid.....	21
Abbildung 15 Schematische Darstellung des Voltecantriebs der ersten Generation	22

Abbildung 16 Schematische Darstellung des Voltecantriebs aus 2016.....	22
Abbildung 17 Systemvernetzung des Start-Stopp-Systems bei einem Volkswagen Passat BMT 2009 (10)	25
Abbildung 18 Legende für die Systemvernetzung des Start-Stopp-Systems (10)	26
Abbildung 19 Pic DAQ5	36
Abbildung 20 Pedalkraftsensor (Draufsicht)	37
Abbildung 21 Pedalkraftsensor (Seitenansicht).....	37
Abbildung 22 Im Messfahrzeug eingebauter Pedalkraftsensor	38
Abbildung 23 Für Messungen verwendetes Schuhwerk (Sparco SP-F5).....	38
Abbildung 24 Messaufbau im Fahrzeug.....	39
Abbildung 25 Messstrecke am AHB WHZ Zwickau (Länge = 80,11 m)	42
Abbildung 26 Messstrecke Nienburg/Weser, Forstweg, (Länge = 281,23 m) ..	43
Abbildung 27 Asphalt und Fahrbahnbeschaffenheit.....	43
Abbildung 28 Messstrecke Leinefelde, Zeißstraße, (Länge = 210,09 m)	44
Abbildung 29 Audi A6 Avant 50 TDI quattro (Schrägansicht vorne links).....	46
Abbildung 30 Audi A6 Avant 50 TDI quattro (Schrägansicht hinten links)	46
Abbildung 31 Setup der Einbaulage im Fahrzeug zur Auswertung der Messdaten im PocketDAQ Analyzer.....	57
Abbildung 32 Setup des der zu erwartenden Beschleunigungskräfte der Messung	57
Abbildung 33 Messdatenfenster mit Signal des Bremspedalsensors im oberen Geschwindigkeitsanzeigefenster(türkis) und der Längsbeschleunigung (violett)	58

Abbildung 34 Ausmessen der Verlustzeit(von: Messpunkt des Pedalkraftsensors erreicht Ruhewert, bis einsetzen der Längsbeschleunigung).....	59
Abbildung 35 Diagramm gemittelte Verlustzeiten Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	63
Abbildung 36 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Renault Capture	64
Abbildung 37 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Touareg R	65
Abbildung 38 Messwertediagramm Verlustzeiten Toyota Highlander 2.5 Hybrid (anrollen = blau; geringe Beschleunigung = grün; hohe Beschleunigung = grau)	67
Abbildung 39 Energieflussanzeige Infotainmentsystem Toyota Highlander	68
Abbildung 40 Messwertediagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid (blau = anrollen, grün = geringe Beschleunigung, grau = hohe Beschleunigung)	71
Abbildung 41 Messwertediagramm gemittelte Verlustzeiten mit Range Volkswagen Golf VIII GTE (Albertsmeyer)	72
Abbildung 42 Simulation ohne Verlustzeit des Start-Stopp-Systems	79
Abbildung 43 Simulation mit Verlustzeit des aktivierten Start-Stopp-Systems .	80
Abbildung 44 Audi A3 Sportback 35 TFSI (Schrägansicht vorne links)	89
Abbildung 45 Audi A3 Sportback 35 TFSI (Schrägansicht hinten links)	89
Abbildung 46 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A3 35 TFSI	92
Abbildung 47 Audi A4 AV 35 TDI Advanced (Schrägansicht vorne links)	94
Abbildung 48 Audi A4 AV 35 TDI Advanced (Schrägansicht hinten links)	94
Abbildung 49 Grafische Darstellug der Verlustzeiten Audi A4 Avant 35 TDI....	97
Abbildung 50 Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line (Schrägansicht vorne links)	99

Abbildung 51 Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line (Schrägansicht hinten links).....	99
Abbildung 52 Diagramm der Verlustzeiten und Range Audi A4 Avant 40 TFSI	103
Abbildung 53 Diagramm der Verlustzeiten und Range Audi A6 Avant 50 TDI quattro.....	109
Abbildung 54 BMW 330e (G20) (Schrägsicht vorne links)	112
Abbildung 55 BMW 330e (G20) (Schrägsicht hinten-links)	112
Abbildung 56 Grafische Darstellung der Verlustzeiten BMW 330e	115
Abbildung 57 BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition (Schrägsicht vorne links).....	118
Abbildung 58 BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition (Schrägansicht hinten links).....	118
Abbildung 59 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range BMWi8 Roadster Ultimate Sophisto Edition	121
Abbildung 60 Cupra Leon VZ 1.4 e-HYBRID (Schrägansicht vorne links)	123
Abbildung 61 Cupra Leon VZ 1.4 e-HYBRID (Schrägansicht hinten rechts)..	123
Abbildung 62 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	127
Abbildung 63 Mercedes-Benz CLA 250e Shooting Brake (Schrägansicht vorne links).....	129
Abbildung 64 Mercedes-Benz CLA 250e Shooting Brake (Schrägansicht hinten links).....	129
Abbildung 65 Diagramm gemittelte Verlustzeit und Range Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake	133
Abbildung 66 Mercedes-Benz C300e T-Modell (Schrägansicht vorne links)..	135

Abbildung 67 Mercedes-Benz C300de T-Modell (Schrägansicht hinten links)	135
Abbildung 68 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Mercedes-Benz C300e T-Modell.....	138
Abbildung 69 Mercedes-Benz C300de T-Modell (Schrägansicht vorne links)	140
Abbildung 70 Mercedes-Benz C300de T-Modell (Schrägansicht hinten links)	140
Abbildung 71 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Mercedes-Benz C300de T-Modell.....	143
Abbildung 72 Renault Capture E-TECH Plug-in Intens (Schrägansicht vorne links).....	145
Abbildung 73 Renault Capture E-TECH Plug-in Intens (Schrägansicht hinten links).....	145
Abbildung 74 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Renault Capture E-TECH Plug-in Intense	148
Abbildung 75 Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport (Schrägansicht vorne links).....	150
Abbildung 76 Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport (Schrägansicht hinten links)	150
Abbildung 77 Diagramm gemittelte Verlustzeiten Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport.....	154
Abbildung 78 Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury (Schrägansicht vorne links)	156
Abbildung 79 Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury (Schrägansicht hinten links)	156
Abbildung 80 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury	160
Abbildung 81 Toyota Prius III (Schrägansicht vorne links)).....	162

Abbildung 82 Toyota Prius III (Schrägansicht hinten links)	162
Abbildung 83 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Prius III	165
Abbildung 84 Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive (Schrägansicht vorne links).....	167
Abbildung 85 Toyota Prius1.8 Plug-in Hybrid Executive (Schrägansicht hinten rechts).....	167
Abbildung 86 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive	171
Abbildung 87 Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i (Schrägansicht vorne links)	173
Abbildung 88 Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i (Schrägansicht hinten links)	173
Abbildung 89 Diagramm gemittelte Verlustzeit und Range Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i.....	177
Abbildung 90 Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD (Schrägansicht vorne links)	179
Abbildung 91 Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD (Schrägansicht hinten rechts)	179
Abbildung 92 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD.....	183
Abbildung 93 Volkswagen Golf VIII GTE (Schrägansicht vorne links).....	185
Abbildung 94 Volkswagen Golf VIII GTE (Schrägansicht hinten links).....	185
Abbildung 95 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII GTE (Z).....	188
Abbildung 96 Volkswagen Golf VIII GTE (Schrägansicht vorne links).....	190

Abbildung 97 Volkswagen Golf VIII GTE (Schrägansicht hinten links).....	190
Abbildung 98 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII GTE (AM).....	194
Abbildung 99 Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style (Schrägansicht vorne links).....	196
Abbildung 100 Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style (Schrägansicht hinten links).....	196
Abbildung 101 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style	198
Abbildung 102 Volkswagen Touareg R eHybrid (Schrägansicht vorne links). 200	
Abbildung 103 Volkswagen Touareg R eHybrid (Schrägansicht hinten rechts)	200
Abbildung 104 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Touareg R eHybrid.....	204

II Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Bedingungen und Kriterien zur Aktivierung des Start-Stopp-Systems	27
Tabelle 2 Datenblatt Pic DAQ5 (13)	35
Tabelle 3 Übersicht gemessener Fahrzeuge	44
Tabelle 4 Fahrzeugdatenblatt Audi A6 Avant 50 TDI quattro	46
Tabelle 5 Mittlere Verlustzeit aller gemessenen Fahrzeuge	47
Tabelle 6 Gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A4 35 TDI	63
Tabelle 7 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Highlander	68
Tabelle 8 Vergleich der gemessenen Verlustzeiten von Cupra Leon und Golf VIII GTE	72
Tabelle 9 Vergleich der ermittelten Differenzzeiten mit den Ergebnissen von WERNER und OPELT	75
Tabelle 10 Tabelle X Verlust- und Differenzzeiten der gemessenen MHEV-Fahrzeuge zur Ermittlung der größten Differenzzeit (rot)	76
Tabelle 11 Umgebungsbedingungen Messung Audi A3 SB 35 TFSI	89
Tabelle 12 Fahrzeugdatenblatt Audi A3 Sportback 35 TFSI	89
Tabelle 13 Einzelmesswerte Audi A3 SB 35 TFSI	90
Tabelle 14 Gemittelte Verlustzeiten, Range und Differenzverlustzeiten Audi A3 SB 35 TFSI	93
Tabelle 15 Umgebungsdaten Messung Audi A4 Avant 35 TDI	94
Tabelle 16 Fahrzeugdatenblatt Audi A4 35 TDI Advanced	94
Tabelle 17 Einzelmesswerte Audi A4 Avant 35 TDI	95

Tabelle 18 Gemittelte Verlustzeiten, Range und Differenzverlustzeiten Audi A4 Avant 35 TDI	98
Tabelle 19 Umgebungsdaten Messung Audi A4 Avant 40 TFSI	99
Tabelle 20 Fahrzeugdatenblatt Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line	99
Tabelle 21 Einzelmesswerte Audi A4 Avant 40 TFSI	100
Tabelle 22 Gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A4 Avant 40 TFSI.....	104
Tabelle 23 Umgebungsdaten Messung Audi A6 Avant 50 TDI quattro	105
Tabelle 24 Einzelmesswerte Audi A6 Avant 50 TDI quattro	105
Tabelle 25 Gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A6 50 TDI quattro.....	110
Tabelle 26 Umgebungsdaten Messung BMW 330e	112
Tabelle 27 Fahrzeugdatenblatt BMW 330e (G20).....	112
Tabelle 28 Einzelmesswerte BMW 330e.....	113
Tabelle 29 Gemittelte Verlustzeiten und Range 330e	117
Tabelle 30 Umgebungsdaten BMW i8 Roadster	118
Tabelle 31 Fahrzeugdatenblatt BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition .	118
Tabelle 32 Einzelmesswerte BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition	119
Tabelle 33 Gemittelte Verlustzeit und Range BMW i8 Ultimate Sophisto Edition	122
Tabelle 34 Umgebungsbedingungen Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid.....	123
Tabelle 35 Fahrzeugdatenblatt Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid.....	123
Tabelle 36 Einzelmesswerte Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid.....	124
Tabelle 37 Gemittelte Verlustzeiten und Range Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	128

Tabelle 38 Umgebungsbedingungen Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake	129
Tabelle 39 Fahrzeugdatenblatt Mercedes Benz CLA250e Shooting Brake ...	129
Tabelle 40 Einzelmesswerte Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake	130
Tabelle 41 Gemittelte Verlustzeit und Range Mercedes Benz-CLA 250e	134
Tabelle 42 Umgebungsbedingungen Mercedes C300e T- Modell	135
Tabelle 43 Fahrzeugdatenblatt Mercedes-Benz C300e T-Modell	135
Tabelle 44 Einzelmesswerte Mercedes-Benz C300e T-Modell	136
Tabelle 45 Gemittelte Verlustzeiten und Range Mercedes-Benz C300e T-Modell	139
Tabelle 46 Umgebungsbedingungen Mercedes-Benz C300de T-Modell	140
Tabelle 47 Fahrzeugdatenblatt Mercedes-Benz C300de T-Modell	140
Tabelle 48 Einzelmesswerte Mercedes-Benz C300de T-Modell	141
Tabelle 49 Gemittelte Verlustzeit und Range Mercedes-Benz C300de T-Modell	144
Tabelle 50 Umgebungsbedingungen Renault Capture E-TECH Plug-in Intense	145
Tabelle 51 Fahrzeugdatenblatt Renault Capture E-TECH Plug-in Intense	145
Tabelle 52 Einzelmesswerte Renault Capture E-TECH Plug-in Intense	146
Tabelle 53 Gemittelte Verlustzeiten und Range Renault Capture E-Tech Plug-in Intense	149
Tabelle 54 Umgebungsbedingungen Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR SportGR Sport	150

Tabelle 55 Fahrzeugdatenblatt Toyota Corolla Touring Sports Hybrid GR Sport	150
Tabelle 56 Einzelmesswerte Toyota Corolla Touring Sports Hybrid GR Sport	151
Tabelle 57 Gemittelte Verlustzeiten Toyota Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport	155
Tabelle 58 Umgebungsbedingungen Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury ..	156
Tabelle 59 Fahrzeugdatenblatt Toyota Highlander 2.5 Luxury.....	156
Tabelle 60 Einzelmesswerte Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury	157
Tabelle 61 Tabelle 61 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Highlader 2.5 Hybrid Luxury	161
Tabelle 62 Umgebungsbedingungen Toyota Prius III	162
Tabelle 63 Fahrzeugdatenblatt Toyota Prius III.....	162
Tabelle 64 Einzelmesswerte Toyota Prius III	163
Tabelle 65 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Prius III	166
Tabelle 66 Fahrzeugdatenblatt Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive....	167
Tabelle 67 Umgebungsbedingungen Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive	168
Tabelle 68 Einzelmesswerte Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive	168
Tabelle 69 Gemittelte Verlustzeit und Range Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive	172
Tabelle 70 Fahrzeugdatenblatt Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i.....	173
Tabelle 71 Umgebungsbedingungen Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i	174
Tabelle 72 Einzelmesswerte Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i	174

Tabelle 73 Tabelle 74 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i.....	178
Tabelle 74 Fahrzeugdatenblatt Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD	179
Tabelle 75 Umgebungsbedingungen Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD....	180
Tabelle 76 Einzelmesswerte Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD.....	180
Tabelle 77 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD	184
Tabelle 78 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Golf VIII GTE (Autohaus Huster)	185
Tabelle 79 Umgebungsbedingungen Volkswagen Golf VIII GTE (Z)	186
Tabelle 80 Einzelmesswerte Volkswagen Golf VIII GTE (Z)	186
Tabelle 81 Gemittelte Verlustzeiten Volkswagen Golf VIII GTE (Z)	189
Tabelle 82 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Golf VIII GTE (Autohaus Albertsmeyer).....	190
Tabelle 83 Umgebungsbedingungen Volkswagen Golf VIII GTE (AM)	191
Tabelle 84 Einzelmesswerte Volkswagen Golf VIII GTE (AM)	191
Tabelle 85 Gemittelte Verlustwerte und Range Volkswagen Golf VIII GTE (AM)	195
Tabelle 86 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style	196
Tabelle 87 Umgebungsbedingungen Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style	196
Tabelle 88 Einzelmesswerte Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style.....	197
Tabelle 89 Gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style.....	199

Tabelle 90 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Touareg R eHybrid	200
Tabelle 91 Umgebungsbedingungen Volkswagen Touareg R eHybrid	201
Tabelle 92 Einzelmesswerte Volkswagen Touareg R eHybrid	201
Tabelle 93 Gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Touareg R eHybrid	205

III Verzeichnis der Anlagen

Anlage

1.	Audi A3 Sportback 35 TFSI	89
2.	Audi A4 Avant 35 TDI Advanced.....	94
3.	Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line.....	99
4.	Audi A6 Avant 50 TDI quattro.....	105
5.	BMW 330e (G20).....	112
6.	BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition.....	118
7.	Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid.....	123
8.	Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake.....	129
9.	Mercedes Benz C300e T-Modell.....	135
10.	Mercedes Benz C300de T-Modell.....	140
11.	Renault Capture E-TECH Plug-in Intense.....	145
12.	Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport.....	150
13.	Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury.....	156
14.	Toyota Prius III.....	162
15.	Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive.....	167
16.	Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i.....	173
17.	Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD.....	179
18.	Volkswagen Golf VIII GTE (Z).....	185
19.	Volkswagen Golf VIII GTE (AM).....	190
20.	Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style.....	196
21.	Volkswagen Touareg R eHybrid.....	200

IV Verzeichnis der Kurzzeichen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
P	W	Leistung
U	V	elektrische Spannung
f	Hz	Frequenz
t	s	Zeit

V Verzeichnis der Abkürzungen

AC	alternating current (Wechselstrom)
ACT	Active Cylinder Technology
AGM (-Battery)	Absorbed Glass Mat (-Battery)
AWD	all wheel drive
BEV	battery electric vehicle
CAN (-Bus)	Computer Area Network (-Bus)
CVT	Continuously Variable Transmission
DC	direct current (Gleichstrom)
DKG	Doppelkupplungsgetriebe
DSG	Direktschaltgetriebe
EM	Elektromotor/ E-Maschine
HA	Hinterachse
HEV	hybrid electric vehicle
HY	Hybrid
GPS	Global Positioning System
ISG	Integrierter-Starter-Generator
KSG	Kurbelwellen-Starter-Generator
LIN (-Bus)	Local Interconnect Network – (Bus)
MHEV	mild-hybrid electric vehicle
MOST (-Bus)	Multimedia Oriented System Transport (-Bus)
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus
PHEV	plug-in-hybrid electric vehicle
PKW oder Pkw	Personenkraftwagen
PS	Pferdestärken
REX	Range Extender
RSG	Riemen-Starter-Generator
SOC	state of charge (Ladestand der Traktionsbatterie)
StaSto	Start-Stopp

VA	Vorderachse
VM	Verbrennungsmotor
WLTP	Worldwide harmonized Light vehicles Test Procedure

VI Glossar

Bus

auch Bussystem, ist in der Datenverarbeitung ein System für die Datenübertragung zwischen mehreren Teilnehmern über einen gemeinsamen Übertragungsweg. In der Automobilindustrie haben sich vor allem das LIN-, CAN und MOST-Bussystem verbreitet. Während die Datenübertragung bei LIN- und CAN-Bus über Kupferkabel erfolgt, werden beim MOST-Bus die Informationen über einen Lichtleiter ausgetauscht.

Car-to-X

beschreibt die Kommunikation des Fahrzeugs mit seiner Umgebung über Highspeed-Datenübertragung und Auswertung in Echtzeit. Das Fahrzeug analysiert mit Hilfe von Sensoren und Kamerasystemen auf die Umgebungsbedingungen. Der Datenaustausch findet mit anderen Fahrzeugen und vernetzten Verkehrsleitsystemen statt. Das Fahrzeug kann dadurch aktiv auf Verkehrssituationen in seinem näheren Umfeld, wie zum Beispiel rote Ampelphasen, Staus, Unfällen und möglichen Gefahrensituationen vorrausschauend agieren.

Lastpunktanhebung

ist ein Betriebszustand des Verbrennungsmotors, um die Traktionsbatterie durch mit Hilfe der E-Maschine zu laden. Der Verbrennungsmotor wird mit höheren Momenten belastet, arbeitet aber in einem verbrauchsoptimierten Bereich. Ein Teil der verbrennungsmotorisch erzeugten Antriebsleistung wird von der E-Maschine zur Stromerzeugung abgezweigt.

Lasttrum

auch Arbeitstrum oder Zugtrum, definiert den gezogenen und gestrafften Teil des Seils, Riemens oder Kette eines laufenden Zugtriebes. Der Lasttrum bewegt sich immer in Richtung des Antriebs. Ihm gegenüber befindet sich der sogenannte Leertrum, welcher auch als lose oder durchhängend beschrieben werden kann. Als Trum wird der nicht aufliegende Teil des Zugtriebes deklariert.

Phlegmatisierung,

beschreibt in Bezug auf Hybridantriebe den nahezu konstanten Betrieb des Verbrennungsmotors. Dieser Zustand kann sowohl Drehmoment als auch Drehzahlabhängig definiert werden. Ziel ist es den Verbrennungsmotor kraftstoffarm. Ein besonderer Fall der Phlegmatisierung ist der Ein-Punkt-Betrieb des Motors. Hierbei wird der Motor in kraftstoffverbrauchsärmsten Punkt betrieben. (1)

1 Einleitung

Die Reduzierung der Treibhausgase und Emissionen steht mehr denn je im Fokus der Menschheit. Da der Verkehrssektor für einen großen Anteil des Emissionsausstoßes verantwortlich ist, stützen sich viele Bemühungen auf die Reduktion der Emissionen. Der Individualverkehr nimmt hierbei eine sehr wichtige Rolle ein, insbesondere der Pkw – Verkehr. Seit der großen Ölkrise in den 70er Jahren werden stetig neue Techniken im Fahrzeugsegment vorgestellt, die der Minimierung des Kraftstoffverbrauches dienen. Das Start-Stopp-System oder auch die Start-Stopp-Automatik ist eine davon. Die Technik arbeitet nach dem Prinzip, ein Antriebsaggregat was ausgeschaltet ist, erzeugt keine Emissionen. Das System schaltet den Motor in Standphasen unter bestimmten Bedingungen aus und startet das Aggregat bei Fahrwunsch selbstständig. Dabei können je nach Standzeit zwischen zwei und acht Prozent Kraftstoff eingespart werden. Jedoch ergeben sich durch das System auch Nachteile. Zum einen ist die Materialbelastung durch das häufige Ein- und Ausschalten des Verbrennungsmotors erhöht, zum anderen entstehen durch den Startvorgang Verlustzeiten beim Anfahren. Als Verlustzeit bezeichnet man die Zeit, welche das Fahrzeug von der Eingabe des Fahrwunsches bis zum tatsächlichen in Bewegung setzten des Fahrzeuges benötigt. Eine weitere Entwicklung zur Emissionsminderung stellt der Hybridantrieb dar. Hierbei wird versucht, die verbrennungsmotorischen Nachteile durch batterieelektrische Unterstützung auszugleichen. Der Verbrennungsmotor wird in ineffizienten Betriebspunkten durch eine E-Maschine unterstützt. Somit kann zum Beispiel der Anfahrvorgang begünstigt werden, da die unterstützende E-Maschine bereits ab Startdrehzahl über ihr volles Drehmoment verfügt. Je nach Hybridisierungsgrad ist es möglich das Fahrzeug rein elektrisch anzutreiben und vor allem im urbanen Raum lokal emissionsfrei zu fahren. Allerdings bringt auch diese Technologie einen Nachteil mit sich. Durch den zusätzlichen Energiespeicher, der E-Maschine, Leitungen, eventuelle Kühlung und Steuerung nimmt die Masse des Fahrzeugs zu, was den Kraftstoffverbrauch und somit auch die Emissionen erhöht. Die Kombinationen der beiden Technologien von Verbrennungs- und Elektromotor sollen sowohl die Vorteile verstärken als auch die Nachteile, wie die Verlustzeit beim Anfahren, minimieren. Gerade diese Verlustzeiten spielen bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen eine wichtige Rolle. Somit steht die Frage im

Raum, wie sich die Kombination von konventionellen Verbrenner und Elektroantrieb auf die Verlustzeit des Start-Stopp-Systems beim Anfahren auswirkt.

Stellen die Verlustzeiten durch das Start-Stopp-System einen Nachteil für die Verkehrssicherheit dar? Kann mit Hilfe der Hybridisierung der Konflikt zwischen Kraftstoffeinsparungen und der Verkehrssicherheit minimiert oder sogar behoben werden? Dieser Sachverhalt soll in der folgenden Arbeit untersucht und durch praktische Versuche analysiert werden.

2 Klärung grundlegender Begriffe und Stand der Technik

2.1 Historischer Abriss

Bereits seit der Erfindung des modernen Automobils mit Verbrennungsmotor im Jahre 1885 durch Carl Benz wurde nach alternativen Antriebskonzepten geforscht. Vor allem in den Anfangsjahrzehnten des Automobils gab es aufgrund der technischen Schwierigkeiten des Verbrennungsmotors alternative Konzepte. Hauptprobleme stellten vor allem die Bereitstellung des benötigten Kraftstoffes, sowie der Startvorgang und das Getriebe dar. Zu den weiteren Hauptantriebskonzepten zählte zum Beispiel der Dampfmotor. Bei diesem Konzept kämpften die Entwickler besonders mit der Integration des Dampfmotors in das Fahrzeug. Weitere Probleme stellten vor allem die sehr hohe Masse und das aufwendige Startprozedere dar. Der Elektromotor konkurrierte schon damals als Antrieb mit dem Verbrennungsmotor. Er war und ist ihm in Drehmoment und Leistung überlegen. Aber auch dieses Antriebskonzept wies Nachteile vor allem bei der Speicherung der Energie auf. Die Akkumulatoren hatten eine relativ geringe Speicherkapazität, weshalb viele Batterien zusammengeschlossen werden mussten, um eine nennenswerte Reichweite zu ermöglichen. Da die Akkumulatoren zudem eine hohe Eigenmasse besitzen, ergibt sich für das Batteriepaket eine sehr hohe Gesamtmasse, die mitbewegt werden muss. Jedoch trieb vor allem Ferdinand Porsche die Entwicklung von batterieelektrischen Fahrzeugen voran und setzte diese mit Radnabenmotoren und großen Batteriepaketen sogar bei Rennen ein. Um der Massenzunahme durch die Batterien zu begegnen, entwickelte Ferdinand Porsche 1902 im Auftrag der Lohner-Werke eines der ersten serienmäßigen Hybridfahrzeuge. Das bereits 1900 entwickelte Versuchsfahrzeug „Semper Vivus“ verfügte über zwei Verbrennungsmotoren und zwei Radnabenmotoren an den Vorderrädern (Abbildung 1). Die Verbrennungsmotoren dienen in Kombination mit den gekoppelten Generatoren als Ladeeinheit und versorgen die Batterie und die Radnabenmotoren mit Strom.



Abbildung 1 Semper Vivus

Seit seiner Erfindung des Verbrennungsmotors wurde an diesem Konzept intensiv geforscht und entwickelt. Durch Einführung der Serienproduktion und der damit verbundenen Massenfertigung konnten zusätzlich die Kosten drastisch reduziert werden. Zudem begünstigen die Erfindung des elektrischen Starters und die Weiterentwicklungen in den Bereichen Getriebe und Kupplung die Nutzbarkeit. Aufgrund dieser Faktoren, sowie dem Aufbau eines Kraftstoffversorgungsnetzes durch Tankstellen, setzte sich der Verbrennungsmotor gegen andere Antriebskonzepte durch. Die Weiterentwicklung des Hybridantriebs sowie des Elektrofahrzeugs wird zurückgestellt und bis zum Beginn der stark steigenden Ölpreise Mitte der 1960er kaum weiter verfolgt. Erst durch den rasanten Anstieg der Preise für Rohöl wurde verstärkt nach alternativen Konzepten zum Antrieb von Kraftfahrzeugen geforscht. Im Zuge der Effizienzsteigerung wurden auch immer mehr kraftstoffeinsparende Techniken entwickelt. Ein Beispiel dafür ist das Start-Stopp-System. Dieses schaltet den Motor in Standphasen ab und startet ihn automatisch wieder. Als erster Hersteller setzte es Toyota im Jahre 1974 ein (2). In den 1980er Jahren wurde diese Technologie dann von Herstellern wie Volkswagen, Audi und Fiat in Serienfahrzeugen verbaut. Vor allem aufgrund fehlender Akzeptanz setzte sich die Technik nicht durch. Zudem belastete das Start-Stopp-System vor allem den Starter, was zu einem höheren Verschleiß führte. Aus diesem Grund verschwand das Start-Stopp-System schnell wieder aus den Fahrzeugen. Erst Anfang der 2000er hielt diese Technik erneut Einzug in das Automobil. Vor allem der Volkswagen-Konzern war hier mit den sogenannten 3-Liter-Autos wie zum Beispiel VW Lupo 3L und Audi A2 technologieführend. Die

Fahrzeuge sollten die Käufer mit einem Verbrauch von nur drei Liter Diesel auf 100 km überzeugen. Deshalb waren diese mit kraftstoffsparender Technik, wie der Start-Stopp-Automatik, lang übersetzten Gängen, geringer Masse und aerodynamischer Optimierung ausgestattet. Das stetige herabsetzen der Emissionsgrenzen für Fahrzeuge durch die Politik zwang die Automobilhersteller zum Handeln. Daher verfügt in der heutigen Zeit jeder neuzugelassene Personenkraftwagen über eine Start-Stopp-Automatik und ein Großteil der Fahrzeuge sogar über hybridisierte Antriebsstränge in verschiedenen Entwicklungsstufen. Da zudem das Flottenemissionsgesetz (Verordnung (EG) Nr. 443/2009) Strafzahlungen der Hersteller bei Überschreitung des Flottengrenzwertes von 95 g CO₂ / km (gültig ab 2019) vorsieht, steigt der Anteil der hybridisierten Fahrzeuge stetig (Abbildung 2). (3)

b) ab 2019:

(Überschreitung × 95 EUR/g CO₂/km) × Anzahl neuer Personenkraftwagen.

Abbildung 2 Berechnungsgrundlage der Strafzahlungen (3)

Das Angebot an konventionellen Verbrennungsmotoren wird von den Herstellern sukzessiv zurück genommen. Hybridfahrzeuge haben im Prüfzyklus (früher NEFZ, heute WLTP) durch den Anteil der elektrischen Fahrphasen einen geringeren Kraftstoffverbrauch und daraus resultierend einen geringeren Emissionsausstoß. Elektrofahrzeuge erzeugen in diesem Testzyklus hingegen gar keine Emissionen und minimieren den Flottenausstoß an CO₂. Um die gesetzlichen Vorgaben der Politik umsetzen zu können, konzentrieren sich die Hersteller verstärkt auf die Produktion von Hybrid- oder reinen Elektrofahrzeugen.

2.2 Stand der Technik

2.2.1 Begriffsklärung Hybrid

Laut *Duden* wird die allgemeine Definition des Begriffes Hybrid als „eine Mischung oder Gebilde aus zwei oder mehreren Komponenten“ beschrieben (4). Des Weiteren

wird dieser Begriff auch als Kurzform für Hybridfahrzeuge und Hybridantrieben genutzt. Im Automobilbereich findet man die Bezeichnung des Hybrid in der Kennung von Fahrzeugmodellen. Diese Fahrzeuge verfügen in der Regel über einen konventionellen Verbrennungsmotor und einen oder mehrere Elektromotoren. (5)

2.2.2 Einteilung von Hybridantrieben nach dem Energiefluss

Die Kombination und Konfiguration des Hybridantriebes kann sehr variabel gestaltet sein. Daher erfolgt eine Klassifizierung der vollhybriden Antriebsarten nach drei Grundtypen:

- Serieller Hybridantrieb
- Paralleler Hybridantrieb
- Leistungsverzweigter Hybridantrieb

In Abbildung 3 werden die Hybridantriebe nach ihrem Energiefluss in verschiedenen Ausbaustufen veranschaulicht.

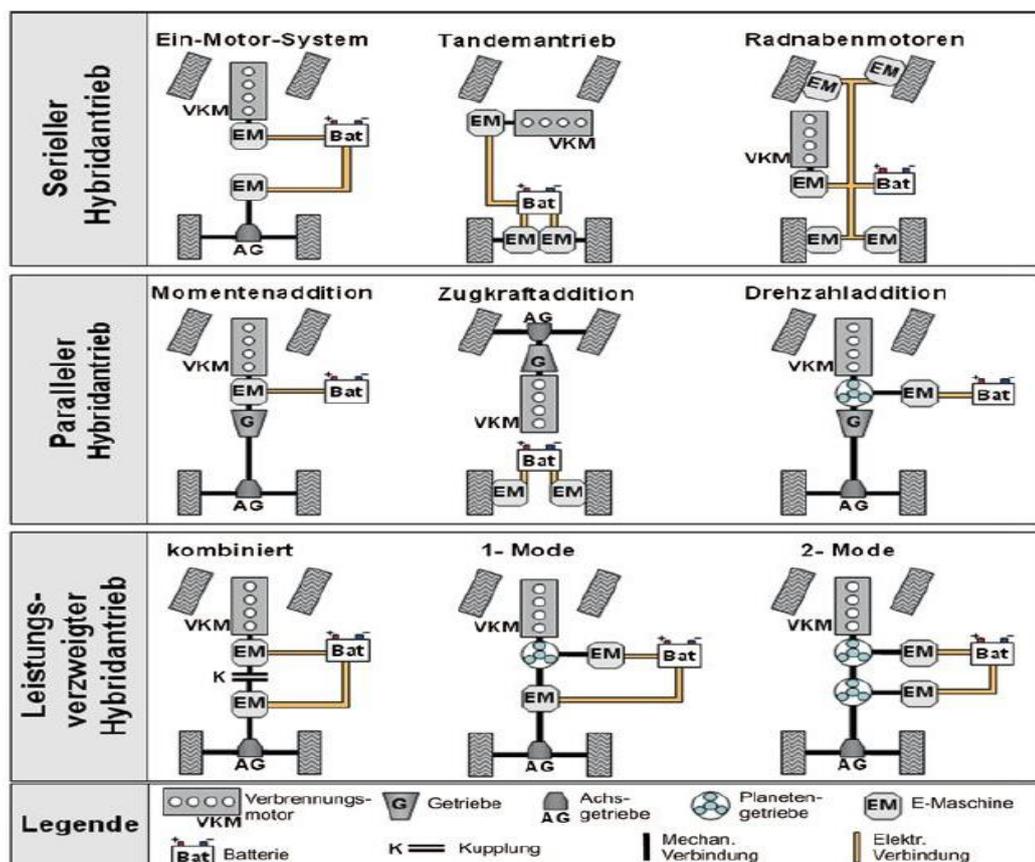


Abbildung 3 Auszug Schematische Übersicht von Hybridantrieben kategorisiert nach dem Energiefluss (6)

2.2.2.1 Der serielle Hybridantrieb

Bei dieser Form des Hybridantriebes findet eine in Reihe geschaltete Energieumwandlung statt. Für die Umsetzung eines seriellen Hybridantriebes im Fahrzeug benötigt man:

- Zwei Energiespeicher: Kraftstofftank (chemische Energie), Traktionsbatterie (elektrische Energie)
- Verbrennungsmotor
- Generator (EM1)
- E-Maschine für Antrieb (EM2)
- Leistungselektronik
- Getriebe (Drehmoment-/Drehzahlwandler)

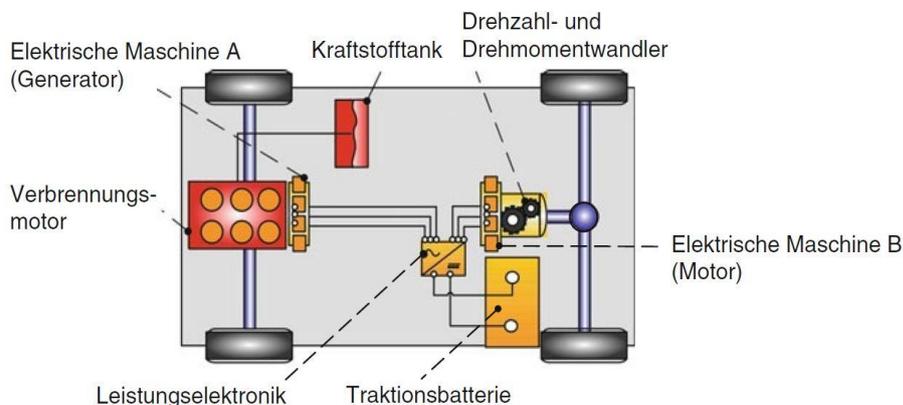


Abbildung 4 Schematischer Aufbau eines seriellen Hybridantriebs (5)

Mit Hilfe der gespeicherten chemischen Energie im Kraftstoff wird der Verbrennungsmotor betrieben. Dieser wandelt über den ablaufenden Verbrennungsprozess die chemische Energie über die arbeitenden Kolben in eine kinetische Energie (Rotationsenergie) der Kurbelwelle um. Über dem an der Kurbelwelle angeschlossenen Generator (E-Maschine 1) wird die Rotationsenergie in elektrische Energie umgewandelt (Abbildung 4). Das transformierte Energiepotential

kann anschließend in der Traktionsbatterie zwischengespeichert oder direkt für den Antrieb genutzt werden. Hierfür wird die elektrische Energie in der zweiten E-Maschine (Antrieb) wieder in eine Drehbewegung umgewandelt. Danach wird diese über ein Drehmoment- und Drehzahlwandler auf die antreibende Achse übertragen. Durch den seriellen Aufbau des Hybridantriebs ergeben sich Vorteile. Da der Verbrennungsmotor nur dem Antrieb des Generators dient, kann dieser unabhängig vom Fahrzeugantrieb genutzt werden. Somit ist ein stationärer Betrieb des Verbrennungsmotors in einem optimalen Betriebspunkt möglich. Dieser Zustand wird auch als Phlegmatisierung bezeichnet und verringert den Kraftstoffverbrauch. Ein weiterer Vorteil des Funktionsprinzips ist die Möglichkeit, das Fahrzeug bei ausgeschaltetem Motor lokal emissionsfrei zu bewegen. Auch der Verbau und die Nutzung von Radnabenmotoren oder nah am Rad montieren Motoren ist möglich. Jedoch ergeben sich aus dieser Bauweise auch Nachteile. Die drei Energiewandler (VM, EM1, EM2) erhöhen die Masse des Antriebsstranges und verringern die Gesamteffizienz des Fahrzeuges. Zudem sind die Systemkosten und der benötigte Bauraum durch die Anzahl an Komponenten höher als bei anderen Hybridformen. Daher ist diese Form des Hybridantriebs für Pkw ungeeignet. Allerdings findet sie bei großen Nutzfahrzeugen, Zügen und Schiffen Anwendung. Der serielle Hybridantrieb ist auch bei Elektrofahrzeugen zu finden. Hier trägt er den Namen Range-Extender (RE) und fungiert als Reichweitenverlängerung. Die Traktionsbatterie und die Elektromotoren sind Leistungsstark ausgelegt, da sie die Antriebsgrundlage bilden. Der Verbrennungsmotor ist meist leistungsschwächer dimensioniert und dient zur Verlängerung der Reichweite. Nachteilig ist hier das Zusatzgewicht des Motors, welches negative Auswirkungen auf den Kraftstoffverbrauch des Fahrzeuges hat. (5)

Wirkungskette: serieller Hybridantrieb

Tank → Verbrennungsmotor → elektrische Maschine (Generator) → direkt in elektrische Maschine 2 (Antrieb) oder zwischengespeichert in Batterie → Drehmoment-/ Drehzahlwandler → Antrieb der Räder

2.2.2.2 Der parallele Hybridantrieb

Im Gegensatz zum seriellen Hybridantrieb ist es beim parallel Hybrid möglich, dass sowohl der Verbrennungsmotor als auch der Elektromotor das Fahrzeug antreiben.

Der grundlegendste Unterschied ist der kombinierte Elektromotor. Dieser arbeitet sowohl als Generator wie auch als Antrieb. Durch diese Änderung ist es möglich, die E-Maschine an unterschiedlichen Positionen in den konventionellen Antriebsstrang zu integrieren. Die topologische Anordnung des Elektromotors erlaubt eine zusätzliche Kategorisierung. Wie in Abbildung 5 ersichtlich, erfolgt die Einteilung nach Leistungsstärke und Positionierung des Elektromotors. Auch kombinierte parallele Hybridantriebe können somit kategorisiert werden.

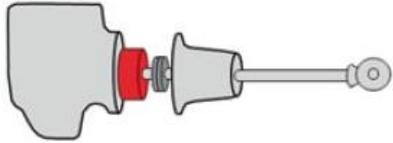
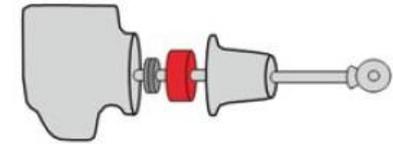
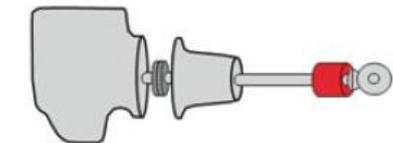
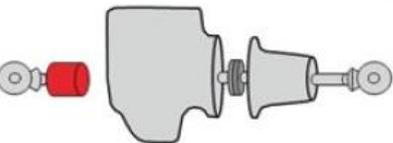
P1		E-Motor drehfest mit Verbrennungsmotor verbunden
P2		E-Motor am Getriebeeingang, durch Kupplung vom Verbrennungsmotor getrennt
P3		E-Motor hinter dem Getriebe
P4		E-Motor an separater, vom Verbrennungsmotor nicht angetriebener Achse

Abbildung 5 Nomenklatur für Parallel-Hybridssysteme [Daimler] (6)

Der Hybridantrieb ermöglicht es das Fahrzeug konventionell über den Verbrennungsmotor, rein elektrisch oder kombiniert anzutreiben. Hieraus ergeben sich viele Betriebsstrategien. Zum Beispiel kann der Elektromotor den Verbrennungsmotor in Beschleunigungsphasen unterstützen (Boosten). Auch die Energierückgewinnung über Rekuperation, Start-Stopp (Anlassen und Starten des Verbrennungsmotors während der Fahrt, sowie aus dem Stillstand) und der rein elektrische Betrieb sind somit möglich. Die Vielzahl dieser Möglichkeiten bietet ein hohes Einsparpotenzial von Kraftstoff und Emissionen. Jedoch ergeben sich auch Nachteile, da der Hybridantrieb oftmals in bestehende Fahrzeugkonzepte integriert wird. Durch die Implementierung von Batterien, Motoren und der Leistungselektronik wird die Masse des Fahrzeugs

signifikant erhöht. Diese Massenzunahme führt zu einer Verschlechterung der Gesamteffizienz und lässt den Kraftstoffverbrauch ansteigen. Zudem wird Platz für die Energiespeicher benötigt, was meist zu einer Reduktion des Kofferraumvolumens und/oder des Kraftstofftankvolumens führt.

2.2.2.3 Der leistungsverzweigte Hybridantrieb

Als leistungsverzweigt wird ein Hybridantrieb bezeichnet, der sowohl Merkmale eines seriellen als auch eines parallelen Hybridantriebs aufweist. Diese Form des Hybridantriebes kann sowohl seriell als auch parallel betrieben werden. Die Grundlage dafür bilden mindestens zwei E-Maschinen, sowie eine Verteilungseinheit für die Leistung. (7)

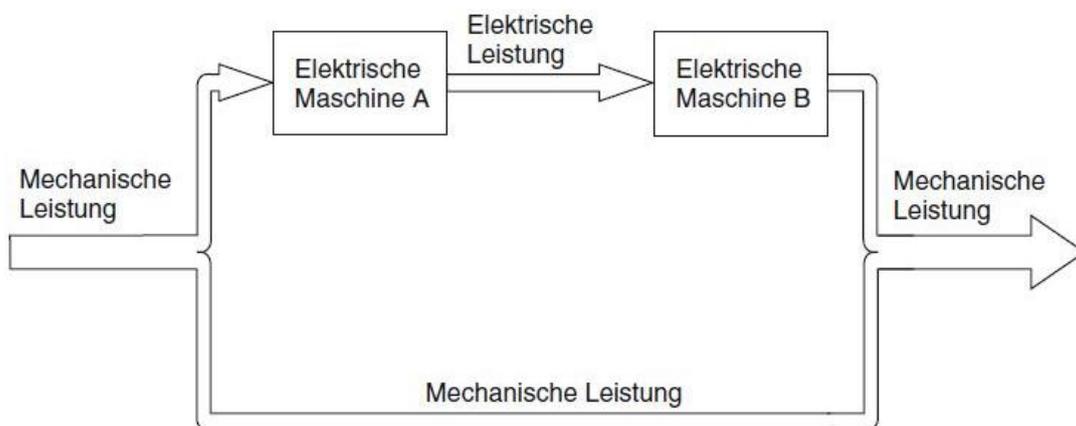


Abbildung 6 Leistungsverzweigung des Hybridantriebes (6)

Die vom Verbrennungsmotor erzeugte Leistung wird mit Hilfe des Planetenradsatzes aufgeteilt. Ein Teil der generierten Leistung wird über den mechanischen Pfad zum Antrieb des Fahrzeugs benutzt. Der andere Teil der Leistung wird in die erste E-Maschine übertragen. Wie bei einem seriellen Hybrid arbeitet diese als Generator. Der im Generator erzeugte Strom wird anschließend in der Traktionsbatterie gespeichert. Mit Hilfe dieser elektrischen Energie wird dann die zweite E-Maschine genutzt um die mechanische Antriebsenergie zu erzeugen. Diese wird bei Bedarf der mechanischen Antriebsleistung, welche direkt vom Verbrennungsmotor kommt zugeführt. Alternativ kann das Fahrzeug dann auch rein elektrisch betrieben werden, indem der Motor ausgeschaltet und die Antriebsleistung nur von der zweiten E-Maschine generiert wird.

Die Positionierung des Planetenradsatzes im Antriebsstrang kategorisiert den Hybridantrieb in einen eingangs- oder ausgangsleistungsverzweigten Hybridantrieb. Der eingangsleistungsverzweigte Hybridantrieb verfügt über eine feste Verbindung des Verbrennungsmotors mit dem Planetenradsatz. Das Planetengetriebe ist direkt an der Abtriebsseite des Verbrennungsmotors montiert und wird daher auch als „Input-Split“ bezeichnet (Abbildung 7). Die Kraftverteilung erfolgt entweder direkt, auf dem mechanischen Pfad oder elektrisch in den Generator (E1). Bei der als „Output-Split“ benannten Ausgangsleistungsverzweigung befindet sich der Planetenradsatz auf der Getriebeeingangswelle (Abbildung 8). Anders als beim „Input-Split“, erfolgt hier der Antrieb des elektrischen Pfades über den Antriebselektromotor (E2). (7)

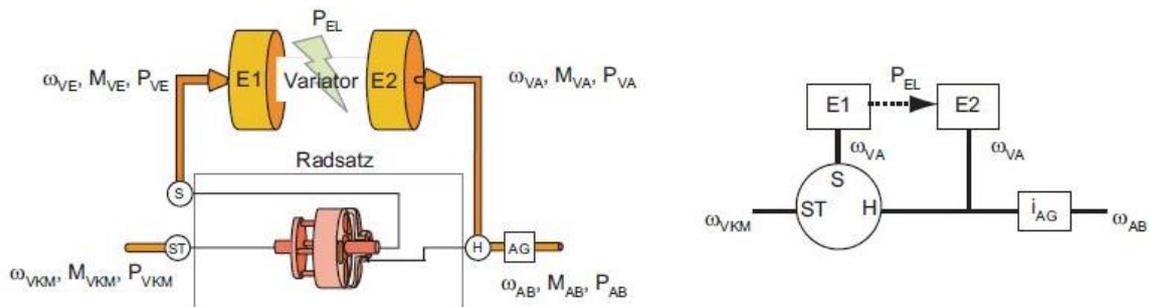


Abbildung 7 Schematischer Aufbau Eingangsleistungsverzweigter Hybridantrieb (Input-Split) (6)

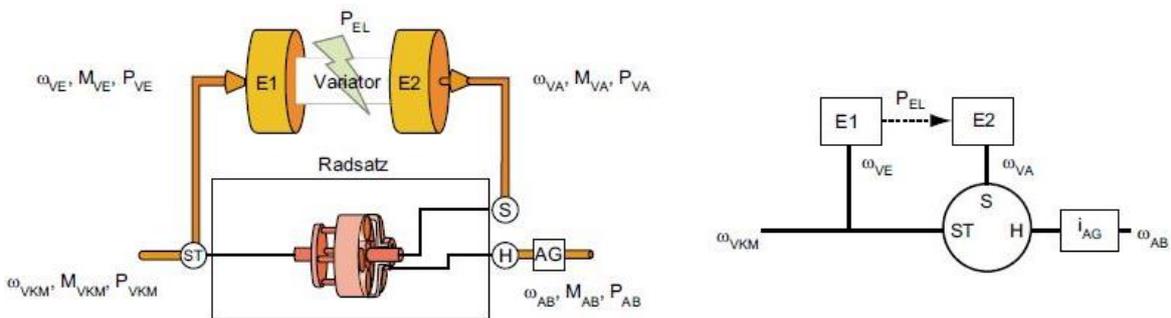


Abbildung 8 Auszug (6) Schematischer Aufbau Ausgangsleistungsverzweigter Hybridantrieb (Output-Split) (6)

Wird das System um einen zweiten Planetenradsatz erweitert, erhält es die Bezeichnung „Compound Split“. Diese Konstruktion erfordert eine komplexe Steuerung und Regelung des Gesamtsystems. Um die Kraftübertragung durch die dynamische

Leistungsverteilung zu gewährleisten, erfolgt diese oftmals über ein stufenloses Getriebe. Das „Continuously Variable Transmission“, auch CVT genannt, verfügt über keine festen mechanischen Gänge. Wie in Abbildung 9 ersichtlich, wird die Übersetzung mittels einer Gliederkette und des Variators erzeugt. Der Variator besteht aus Kegelscheiben, die durch auf- und zuschieben eine Änderung des Keilspaltes bewirken. Diese Variation vergrößert oder verkleinert den Umschlingungsradius der Kette, was eine Übersetzungsänderung zur Folge hat.

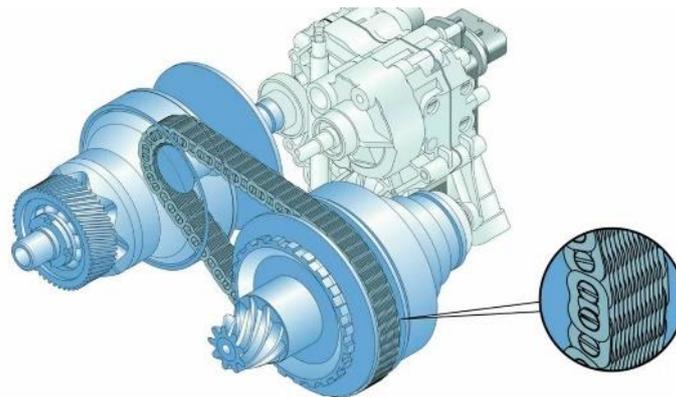


Abbildung 9 Gliederkette und Kegelspalten mit Verstelleinrichtung eines CVT-Getriebes

Als Vorteile des leistungsverzweigten Hybridantriebes, erklärt *Hofmann*, ist die geringere Blindleistung und bei intelligenter Regelung die effizientere Nutzung der Energie zu nennen (7). Generell besteht ein großer Vorteil des leistungsverzweigten Hybridantriebs vor allem im Betreiben des Verbrennungsmotors in einem verbrauchsoptimierten Last- und Drehzahlbereich. Die zusätzlichen Bauteile, wie die zwei E-Maschinen, die Traktionsbatterie, die Planetenradsätze und die notwendige Steuerung, bewirken eine Zunahme der Gesamtmasse und des Platzbedarfs. Ebenso steigern sie die Kosten für Entwicklung und Produktion.

2.2.3 Einteilung von Hybridantrieben nach dem Elektrifizierungsgrad

Neben der Einteilung des Hybridantriebes nach dem Energiefluss kann man Hybridantriebe auch nach dem Elektrifizierungsgrad systematisieren. Diese Einteilung berücksichtigt die Systemspannung und auch die Funktionen des Hybridantriebes. Daraus ergeben sich folgende Kategorisierungen:

- Micro-Hybrid
- Mild-Hybrid (MHEV)
- Voll-Hybrid (HEV)
- Plug-In-Hybrid (PHEV)

2.2.3.1 Der Micro-Hybrid

Bei einem Micro-Hybrid handelt es sich um ein geringfügig modifiziertes Fahrzeug mit konventionellen Verbrennungsmotor. Durch die wenigen Veränderungen ist dieser Hybridisierungsgrad im Verhältnis zu den anderen Stufen kostengünstig und mit wenig Aufwand zu realisieren. Zu den Änderungen zählen:

- Verstärkter Starter
- Generator mit adaptiver Laderegulung
- Batterie mit erhöhter Kapazität und Leistungsfähigkeit, meist als Absorbent Glass Mat-Batterie (AGM)
- Batteriemanagement
- Start-Stopp-System

Es handelt sich hierbei nur um eine Erweiterung oder Verbesserung vorhandener Komponenten und Systeme. Zudem nutzen alle Komponenten das bereits vorhandene 12 V-Bordnetz des Fahrzeugs. Die wichtigste Veränderung stellt die Integration des Start-Stopp-Systems dar. Dieses nutzt bereits vorhandene Sensoren. Zusätzlich wird noch ein Steuerungselement, meist ein Schalter verbaut, der es dem Fahrer erlaubt das System selbst aus- und anzuschalten. Auf weitere Besonderheiten des Start-Stopp-Systems wird im Kapitel „Das Start-Stopp-System“ eingegangen. Eine weitere bauliche Veränderung ist die Verstärkung des Starters. Durch die häufigeren Startvorgänge unterliegt dieser einer deutlich höheren Belastung. Ebenso ist eine zyklenfeste Batterie notwendig. Auch für den Akkumulator entstehen durch das Start-Stopp-System deutlich höhere Belastungen. Zudem sorgt ein Batteriemanagement für die Überwachung der Spannungsversorgung. Diese Maßnahme ist notwendig, damit das Fahrzeug in der Stopp-Phase möglicherweise eingeschaltete Komfortverbraucher

erhalten kann, bzw. das Fahrzeug im Falle einer drohenden Unterspannung wieder startet. Zur Regelung des Batteriemangements gehört auch ein leistungsstärkerer Generator, der die höheren Ladeströme ermöglicht. Hierdurch kann das System sogar geringfügig rekuperatives Bremsen unterstützen. Der Generator wird als Widerstand geschaltet und lädt verstärkt die Batterie. Das unterstützt den Abbremsvorgang des Fahrzeuges und senkt den Verschleiß der mechanischen Bremse. All diese technischen Änderungen dienen der Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und verringern somit den Emissionsausstoß. Auch wenn dieses System als Hybrid bezeichnet wird, ist keine rein elektrische Fahrt möglich. Zu den Nachteilen des Systems zählen die geringfügig erhöhte Masse durch zusätzliche oder verstärkte Komponenten, sowie die höhere Belastung von Starter und Akkumulator. (7)

2.2.3.2 Der Mild-Hybrid (MHEV)

Wie auch beim Micro-Hybrid basiert der Grundaufbau des Systems auf einem konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Der Integrationsaufwand beim Mild-Hybridsystem ist jedoch umfangreicher. Zu den zusätzlichen oder zu modifizierenden Komponenten gehören:

- Starter-Generator, Riemen-Starter-Generator (RSG) oder Integrierter-Starter-Generator (ISG)
- Zweites Bordnetz, mit höherer Spannung (meist 48 V)
- Zusätzlicher Akkumulator
- DC/DC Wandler
- Start-Stopp-System

Der markanteste Unterschied zum Micro-Hybrid stellt der Starter-Generator (SG) dar. Im Gegensatz zum konventionellen Fahrzeug mit Verbrennungsmotor werden die beiden einzelnen Komponenten, Starter und Generator, durch eine kombinierte Starter-Generator-Einheit ersetzt. Diese ist deutlich leistungsfähiger (bis zu 22 kW) als ein Schub-/Schraub-Starter. Zudem ist es möglich durch den integrierten Generator höhere Ladeleistungen zu erreichen. Auch die Rekuperation beim Bremsvorgang kann durch die Generatoreinheit in das System implementiert werden. Es gibt zwei unterschiedliche Varianten der Starter-Generatoren. Der Riemen-Starter-Generator

(RSG) wird, wie die Abbildung 10 darstellt, anstelle der Lichtmaschine im Riementrieb verbaut.



Audi A3 Limousine 35 TFSI

1.5 TFSI mit 48 Volt-Riemen-Starter-Generator
1.5 TFSI with 48 Volt belt-drive alternator starter
07/20



Abbildung 10 Audi 1.5 TFSI 48 Volt-Riemen-Starter-Generator

Wie Abbildung 11 (S.16) zeigt, ist der RSG mit einer speziellen Spanneinrichtung für den Riemen ausgestattet. Diese ist aufgrund der Verschiebung der Lasttrümme notwendig, die durch die zusätzlichen Funktionen des Hybridantriebs entstehen, um den Riemen auf Spannung zu halten. Der Riemen selber muss aufgrund der höheren Lastanforderung breiter und verstärkt ausgelegt sein. Das Starten des Verbrennungsmotors erfolgt mittels des Riemens über die Riemenscheibe an der Kurbelwelle. Bei dieser Form der Anordnung der Aggregate kann eine vorhandene Konstruktion einfach angepasst werden. Aufgrund dessen ist der RSG die häufigste Form einer Starter-Generator-Einheit in Mild-Hybrid-Fahrzeugen.



Abbildung 11 Riemen-Spannvorrichtung des Riemen-Starter Generator (RSG) (8)

Die zweite Bauart des Starter-Generators ist der Integrierte-Starter-Generator (ISG), auch Kurbelwellen-Starter-Generator (KSG) genannt. Dieser wird als Einheit zwischen Motor und Getriebe direkt am oder anstelle des Schwungrades verbaut. Allerdings muss hierfür zusätzlicher Bauraum vorgesehen werden. Die deutlich leistungsfähigeren SG-Einheiten ermöglichen schnellere Motorstartvorgänge (höhere Drehzahlen möglich), eine Motorunterstützung beim Beschleunigen (Boosten), Energierückgewinnung durch Bremsen (Rekuperation) und eine erweiterte Start-Stopp-Funktion. Dafür wird jedoch auch eine erhöhte Kühlleistung benötigt. Moderne Startergeneratoren sind daher wassergekühlt. Ein weiterer wichtiger Baustein für die Mild-Hybrid-Struktur ist das zweite Bordnetz mit erhöhter Spannung. Im Laufe der Entwicklung hat sich hier vor allem das 48-V-Bordnetz durchgesetzt. Es ermöglicht höhere elektrische Leistungen ohne den Verbau von Hochvoltkomponenten. Das senkt die Herstellungs- und Produktionskosten, da hochvoltzertifizierte Bauteile um ein vielfaches teurer sind. Ergänzt wird das System durch einen zweiten Akkumulator, der auf die Spannung des 48 V-Bordnetzes ausgelegt ist. Der Energiespeicher besitzt eine Kapazität von bis zu 2 kW/h. Da es kostenintensiver wäre, das gesamte Bordnetz und damit alle Verbraucher und elektrischen Komponenten auf 48 V-Spannung auszulegen, bleibt das 12 V-Bordnetz bestehen. Die verbaute 12 V-Batterie kann daher mit einer geringeren Kapazität ausgelegt werden. Die Hauptenergieversorgung übernimmt nun die 48 V-Batterie, meist Lithium-Ionen-Batterie. Da das 12 V-Netz von ihr versorgt wird, ist ein DC/DC-Spannungswandler notwendig. Durch die erhöhte Systemspannung können zudem leistungsintensive Systeme wie zum Beispiel elektrische Verdichter, elektromechanischer Wankstabilisierung und elektrische

Klimakompressoren verbaut werden (Abbildung 12). Die verbauten Systeme steigern die Leistungsfähigkeit des Fahrzeugs und den Fahrkomfort. Ziel der gesamten Unterstützung, des Boosten, der Rekuperation und des Start-Stops, ist die Einsparung von Kraftstoff.

Audi S4 TDI

Mild-Hybrid-System mit 48-Volt-Hauptbordnetz und elektrisch angetriebenen Verdichter (EAV)
05/19

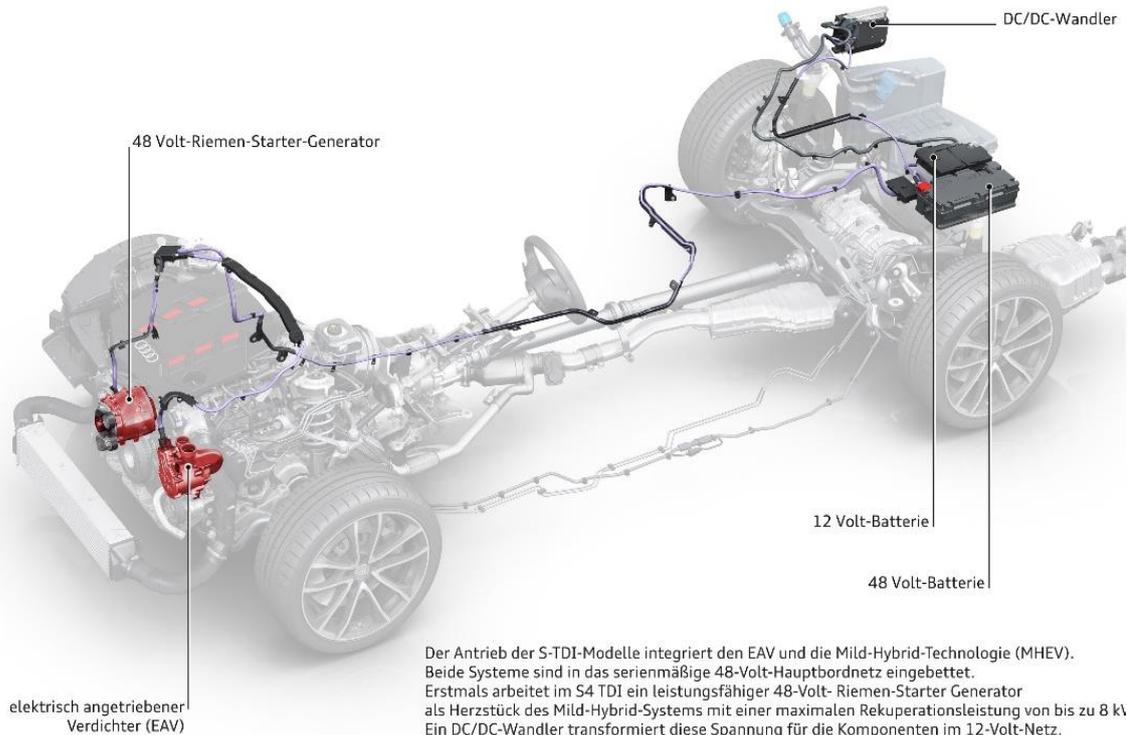


Abbildung 12 MHEV-System Audi S4 TDI mit 48 Volt-Bordnetz und elektrisch angetriebenen Verdichter

2.2.3.3 Der Voll-Hybrid

Im Gegensatz zu Micro- und Mild-Hybrid ist der technische, konstruktive und finanzielle Aufwand für einen Voll-Hybriden deutlich höher. Den wichtigsten Unterschied stellt jedoch der Einsatz von Hochvolttechnik dar. Hierdurch müssen alle Komponenten im Hybridsystem auf entsprechende Hochspannung ausgelegt sein. Zu den wichtigsten Bauteilen gehören:

- Hochvoltbatterie (Traktionsbatterie)
- mindestens eine E-Maschine
- Leistungselektronik (DC/DC Spannungswandler, AC/DC und DC/AC-Wandler)
- Kühlkreislauf HV-Komponenten
- zusätzliche Trennkupplung
- (Elektrifizierung von Teilsystemen (elektrische Lenkunterstützung, elektrischer Klimakompressor, elektromechanischer/elektrischer Bremskraftverstärker))

Die Integration dieser Komponenten muss bereits bei der Konstruktion mit vorgesehen werden. Anders als bei Micro- und Mild-Hybrid ist der benötigte Bauraum für die E-Maschine und die Traktionsbatterie erheblich größer. Beide Komponenten erhöhen die Masse und steigern die Kosten. Zudem muss das Fahrzeug mit Hochvolt-Schutzvorrichtungen sowie einer Hochvolt-Leistungselektronik ausgerüstet sein um die Hochspannung ($> 100 \text{ V}$) zu verarbeiten. Dazu wird meist eine Traktionsbatterie mit einer Kapazität von bis zu 7 kW/h verbaut. Die Kapazität des Akkumulators bestimmt die Leistungsfähigkeit der E-Maschine. Auch die elektrische Reichweite hängt direkt von der Batteriekapazität ab. Je höher die Kapazität desto höher die mögliche Reichweite. Das Aufladen des Energiespeichers erfolgt über die E-Maschine. Diese kann durch den Verbrennungsmotor oder beim Rekuperieren als Generator genutzt werden. Durch eine Lastpunktanhebung kann der Verbrennungsmotor das Fahrzeug während der Fahrt laden. Allerdings kann hierbei auch der Kraftstoffverbrauch erhöht. Umgedreht wird die E-Maschine als Starter für den Verbrennungsmotor genutzt, weshalb der herkömmliche Starter entfällt. Ein großer Vorteil gegenüber den weniger hybridisierten Formen ist die Möglichkeit rein elektrisch und somit lokal emissionsfrei zu fahren. Der Grundaufbau des Voll-Hybridantriebs ist die Kombination eines Elektroantriebes und eines Verbrennungsmotors. Die Anordnung kann hierbei variieren und durch den Energiefluss kategorisiert werden. Voll-Hybridfahrzeuge, zu denen auch Plug-in-Hybride zählen, verfügen dank der E-Maschine über ein hohes Anfahr Drehmoment. Bei einem E-Antrieb steht bereits ab Drehbeginn des Rotors das maximale Drehmoment zur Verfügung. Im Gegensatz zu einem Verbrennungsmotor der sein Drehmoment erst aufbauen muss, erhält man ein spontaneres Anfahrverhalten. Im Gegenzug liefert der Verbrennungsmotor bei höheren Drehzahlen mehr Leistung. Somit ergänzen sich E-Maschine und Verbrennungsmotor sehr gut in der Leistungsentfaltung. Bei Voll-Hybrid-Fahrzeugen

wird der Begriff der Systemleistung verwendet, da bei der Kombination beider Systeme die maximalen Leistungen nicht einfach addiert werden können. Beide Leistung- und Drehmomentkurven müssen übereinander gelegt werden und ergeben durch Verstärkung der Einzelkurven die Systemleistung (Abbildung 12). Gleiches gilt für den Plug-In-Hybrid. (9)

1,4l-TFSI-Motor der Baureihe EA211
mit Motorkennbuchstabe CUKB

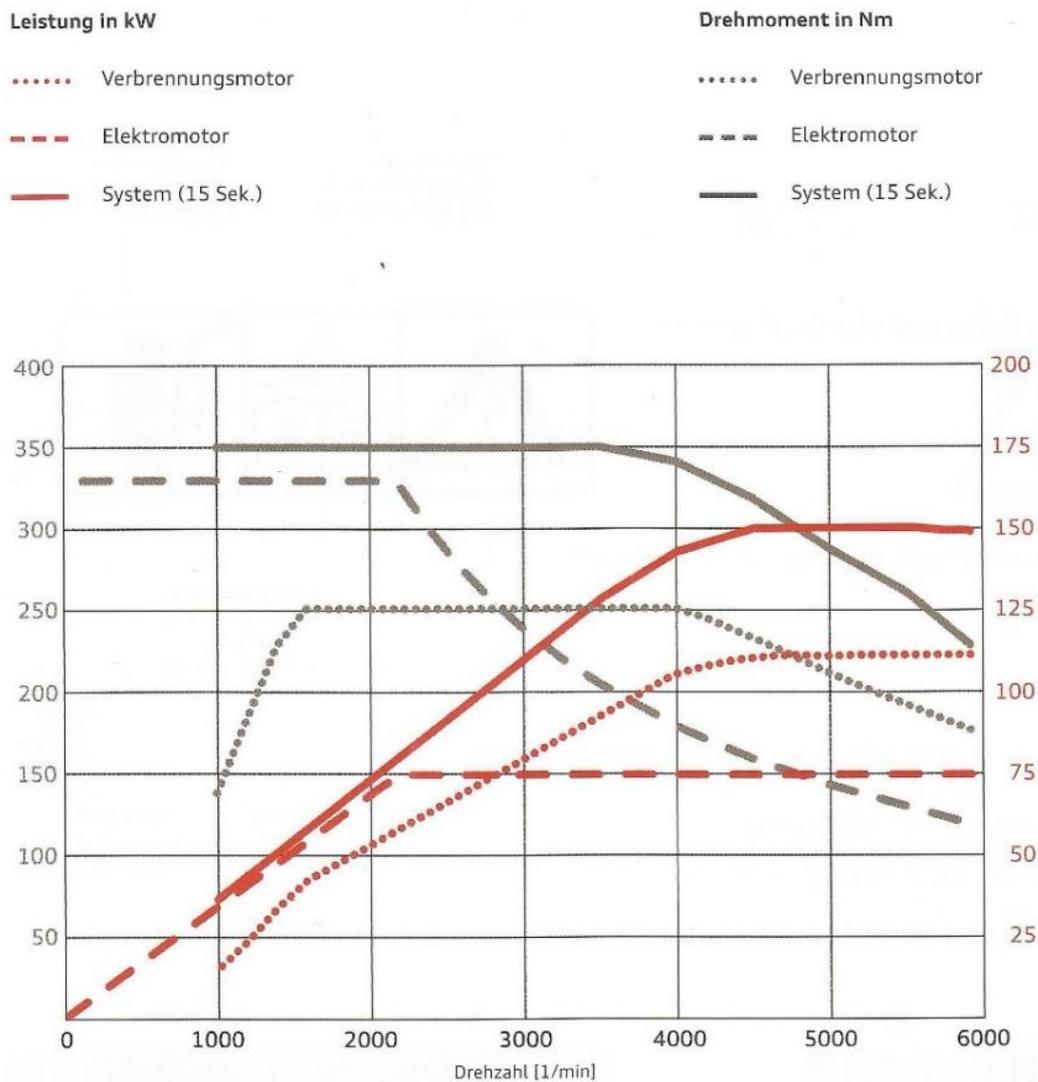


Abbildung 13 Leistungs- und Drehmomentdiagramm Audi A3 e-tron (8V) (9)

2.2.3.4 Der Plug-In-Hybrid

Bei einem PHEV-Fahrzeug ähnelt der technische Aufbau dem des Voll-Hybridantriebs. Hier wird jedoch das System durch eine externe Lademöglichkeit des Akkumulators ergänzt. Somit kann die Batterie nicht nur über den Verbrennungsmotor oder bei der Rekuperation geladen werden, sondern auch stationär an einer externen Einspeisung. Da das Laden über die Steckdose effizienter ist als das Laden durch den Verbrennungsmotor, verfügen Plug-In-Hybridfahrzeuge über eine höhere Batteriekapazität (Abbildung 14, S.21). Hierdurch vergrößert sich auch die maximal mögliche elektrische Reichweite, allerdings steigt auch die Gesamtmasse des Fahrzeugs. Im Jahr 2021 gibt es bereits einige PHEV-Fahrzeuge die laut WLTP-Testzyklus eine rein elektrische Reichweite von über 50 km bieten. So liegt die herstellerbasierte Angabe der rein elektrischen Reichweiten vom BMW 330e bei 60, die des Mercedes A250e sogar bei 68 km. Für das Laden der Batterie durch eine externe Stromzufuhr wird ein AC/DC-Wandler benötigt, welcher entweder im Ladegerät oder im Fahrzeug verbaut sein muss. Im Gegensatz zu vollwertigen Elektrofahrzeugen ist die maximale Ladeleistung für das Laden an der Steckdose deutlich geringer. Aus diesem Grund dauert das Laden der Batterie eines Plug-In-Hybriden meist mehrere Stunden. Auch verfügen PHEV-Fahrzeuge über einen kleineren Tank, was wiederum zu einer geringeren Reichweite im verbrennungsmotorischen Betrieb führt. Jedoch kann dieses Defizit durch den intelligenten Einsatz der Hybridtechnik kompensiert werden. Aufgrund dessen bietet der Plug-In-Hybrid im Gegensatz zu Voll-Hybrid-Fahrzeugen eine gute elektrische Reichweite, sowie eine große Gesamtreichweite.

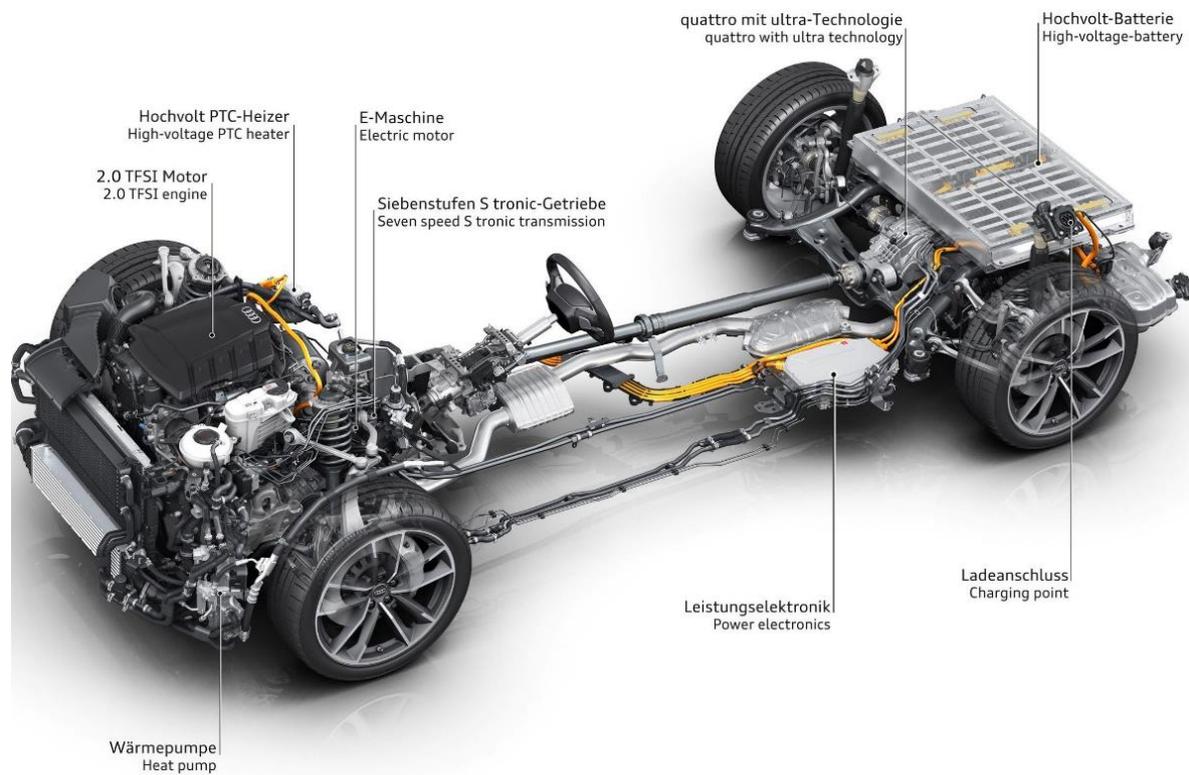


Abbildung 14 Übersicht ausgewählter Systemkomponenten eines Audi A7 55 TFSI e Plug-in-Hybrid

Eine weitere Form des aufladbaren Hybridantriebs, stellen Fahrzeuge mit Range-Extender dar. Hierbei handelt es sich jedoch meist um Fahrzeuge, die auf einem batterieelektrischen Antrieb beruhen. Der Verbrennungsmotor dient nur zur Erhöhung der elektrischen Reichweite. Er wird nur in einem idealen Lastpunkt zum Laden der Traktionsbatterie genutzt. Dies entspricht dem Aufbauprinzip eines seriellen Hybrid. Es gibt jedoch Ausnahmen wie zum Beispiel den Voltec-Antrieb (Abbildung 15,16 (S.22)). Im Bedarfsfall kann die Antriebsleistung des Verbrennungsmotors mittels Planetengetriebe direkt zum Vortrieb des Fahrzeugs genutzt werden. Dadurch fungiert das System als paralleler Hybrid, weshalb das Gesamtsystem als leistungsverzweigter Hybridantrieb deklariert werden kann. (5)

1ST GENERATION VOLTEC: SERIES HYBRID

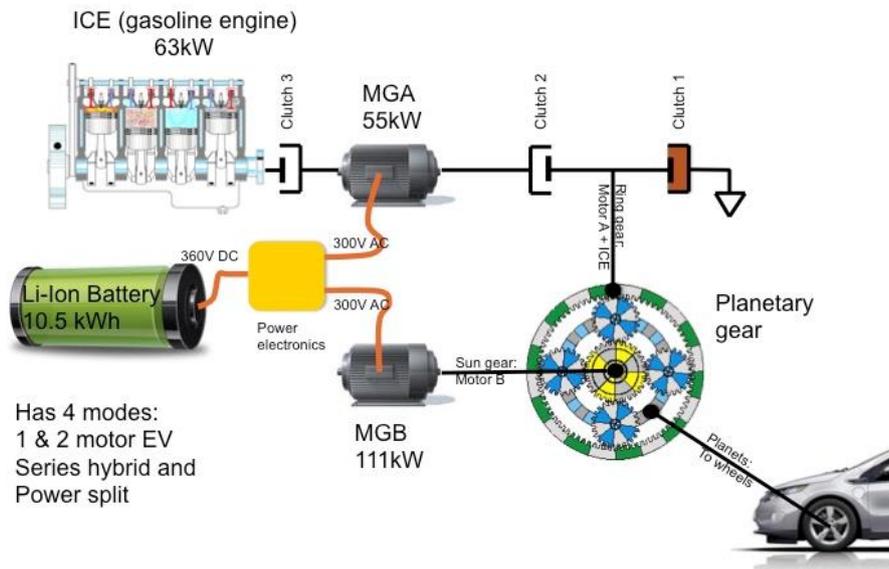


Abbildung 15 Schematische Darstellung des Voltecantriebs der ersten Generation

NEW 2016 VOLTEC

Based on US patent 8,602,938 + GM SAE presentation

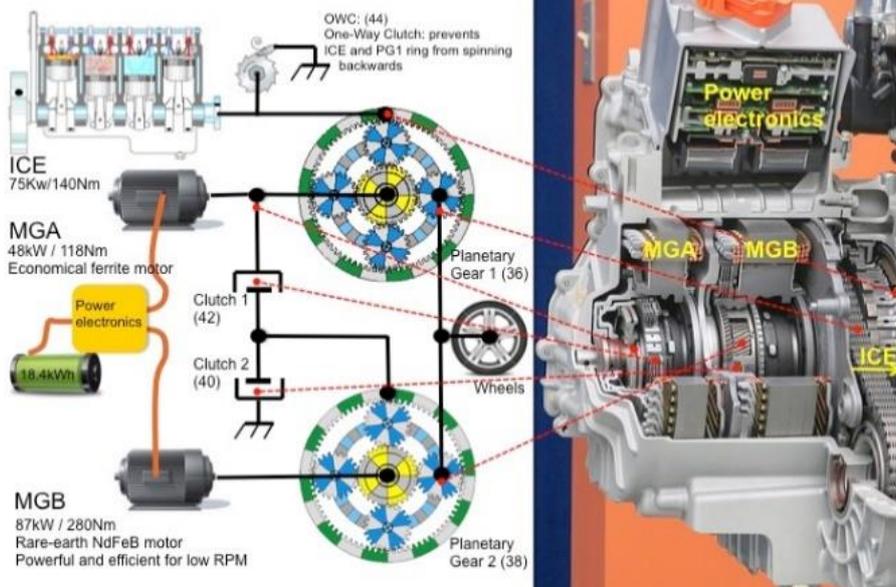


Abbildung 16 Schematische Darstellung des Voltecantriebs aus 2016

2.3 Das Start-Stopp-System

Bei einem Start-Stopp-System handelt es sich um eine automatische Einrichtung, die den Motor in Ruhephasen selbstständig aus- und wieder einschaltet. Dieses System dient der Kraftstoff- und somit auch der Emissionseinsparung. Eine ruhende Maschine verbraucht keine Energie, so das Prinzip. Vor allem an roten Ampelphasen und im Stau soll das System ein hohes Einsparpotenzial erzielen. Ohne das Start-Stopp-System läuft der Verbrennungsmotor in solchen Szenarien im Leerlauf und verbraucht unnötige Energie. Da es je nach Fahrzyklus und Einsatz ein Kraftstoffeinsparpotenzial von bis zu 7 % bietet, ist es eine häufig genutzte Maßnahme, um den Kraftstoffverbrauch zu reduzieren. Vor allem die stetig strenger werdenden gesetzlichen Anforderungen an den Emissionsausstoß zwingen die Hersteller zum Einbau des Start-Stopp-Systems. Im Jahr 2021 gibt es daher kaum ein neuzugelassenes Fahrzeug in Deutschland, welches kein Start-Stopp-System verbaut hat. Wie das System im Einzelnen aufgebaut ist und wie es funktioniert wird nachfolgend erläutert.

2.3.1 Technischer Aufbau des Start-Stopp-Systems

In einem konventionellen Kraftfahrzeug mit Verbrennungsmotor nutzt das Start-Stopp-System, wie Abbildung 17 und 18 (S.25, 26) zeigen, standardmäßig verbaute Aggregate und Sensoren. Dadurch ist das Start-Stopp-System kostengünstig und bei vielen Fahrzeugsystemen leicht integrierbar. Zu den Systemkomponenten zählen unter anderem:

- Motor mit Motorsteuergerät und Start-Stopp-Software
- Getriebe mit Gangerkennung/ Automatikgetriebe mit Getriebesteuergerät
- Starter (verstärkt)
- Batterie (12 V) mit höherer Zyklenfestigkeit (meist AGM)
- Batterieüberwachung
- Bordnetz mit Bordnetzsteuergerät
- Taster für Start-Stopp-System (alternativ Menüpunkt im Infotainmentsystem)
- Sensoren:

- Kurbelwellenpositionsgeber
- Nockenwellenpositionsgeber
- Kühlmitteltemperaturgeber
- Gaspedalstellungsgeber
- Bremslichtschalter
- Geber für Bremspedaldruck
- Raddrehzahlsensoren
- Lenkwinkelsensor

Bei Hybridfahrzeugen kommen je nach Hybridisierungsgrad weitere Komponenten hinzu oder werden angepasst. Ein Hauptunterscheidungsmerkmal stellt hierbei der Starter dar. Bei Fahrzeugen mit einem Mild-Hybrid-System wird meist ein Riemenstartergenerator (RSG) oder ein Integrierter-Starter-Generator (ISG) eingesetzt. Voll-Hybrid- und auch Plug-in-Hybridfahrzeuge hingegen starten den Verbrennungsmotor bei Bedarf über die E-Maschine. Hierdurch entfällt ein RSG, ISG oder herkömmlicher Starter. Auf die Besonderheiten der einzelnen Hybridisierungen wird im Abschnitt „2.2.3 Einteilung der Hybridantriebe nach Elektrifizierungsgrad“ und „2.3.3 Das Start-Stopp-System bei Hybridfahrzeugen“ eingegangen.

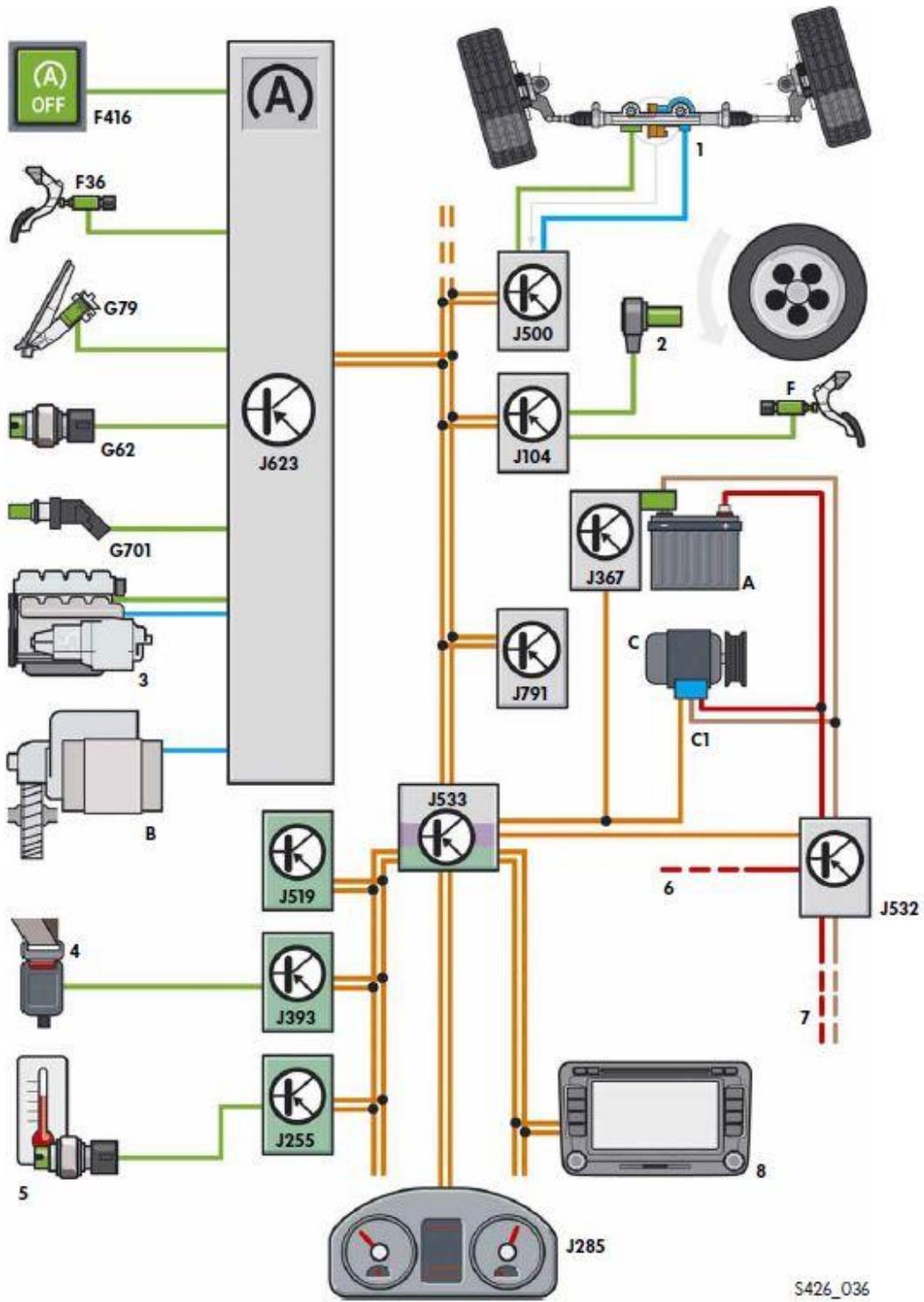


Abbildung 17 Systemvernetzung des Start-Stopp-Systems bei einem Volkswagen Passat BMT 2009 (10)

Legende

Systemaufbau am Beispiel Schaltgetriebe

A	Batterie	1	elektromechanische Servolenkung
C	Drehstromgenerator	2	Geschwindigkeitssignal, Wegerkennung
C1	Spannungsregler	3	Motormanagement-Systeme (z. B. Zündung, Kraftstoffversorgung, Gemischaufbereitung, Abgasrückführung, Sekundärlufteinblasung, Abgasreinigung, etc.)
B	Anlasser	4	Gurterkennung
F	Bremslichtschalter	5	Heizung-, Gebläse-, Klimaregelung
F36	Kupplungspedalschalter	6	Klemme 50R
F416	Taster für Start-Stopp-Betrieb	7	Klemme 30
G62	Kühlmitteltemperaturgeber	8	Radio, Radio-Navigations-System
G79	Gaspedalstellungsgeber		
G701	Geber für Getriebe-Neutralstellung (nur Schaltgetriebe)		
J104	Steuergerät für ABS		
J255	Steuergerät für Climatronic		
J285	Steuergerät im Schalttafelinsatz		
J367	Steuergerät für Batterieüberwachung mit Batteriesensor		
J393	Zentralsteuergerät für Komfortsystem		
J500	Steuergerät für Lenkhilfe		
J519	Bordnetzsteuergerät		
J532	Spannungsstabilisator		
J533	Diagnose-Interface für Datenbus		
J623	Motorsteuergerät		
J791	Steuergerät für Parklenkassistent		

	CAN-Datenbus-Leitung
	LIN-Datenbus-Leitung
	Plus-Leitung
	Masse-Leitung
	Sensor, Eingangs-Signal
	Aktor, Ausgangs-Signal
	CAN-Datenbus Antrieb
	CAN-Datenbus Komfort
	CAN-Datenbus Infotainment

Abbildung 18 Legende für die Systemvernetzung des Start-Stopp-Systems (10)

2.3.2 Bedingungen und Funktion des Start-Stopp-Systems

2.3.2.1 Bedingungen des Start-Stopp-Systems

Die Aktivierung des Start-Stopp-Systems ist an Bedingungen gekoppelt. Der Ladestand der Batterie muss einen sicheren Motorstart gewährleisten. Die Kühlmitteltemperatur hat sich in einem vorgegebenen Temperaturfenster zu befinden, welches sich bei den meisten Fahrzeugen im Bereich zwischen 25 °C und 100 °C liegt. Dies trifft auch auf die Motoröltemperatur zu. Ebenfalls wird die Innenraumtemperatur von entsprechenden Temperatursensoren überwacht. Detektiert das Steuergerät für Temperaturüberwachung ein Delta-T von mehr als 8 °C, wird das Start-Stopp-System deaktiviert. Dabei wird ein ständiger Soll-/Ist-Wert-Vergleich durch. Bei modernen Fahrzeugen werden hierfür mehr als 100 Daten abgeglichen. Wird auch nur ein festgelegtes Kriterium nicht erfüllt, startet die Motorelektronik den Verbrennungsmotor. Alternativ kann das System auch manuell deaktiviert werden. Bei Micro-Hybriden und Fahrzeugen mit konventionellen Verbrennungsmotor muss das Fahrzeug eine

Geschwindigkeit unter 3 km/h aufweisen oder stehen. Dabei haben alle Raddrehzahlsensoren den gleichen Messwert zu übermitteln ($v < 3 \text{ km/h}$). Zudem muss die Leerlaufdrehzahl erreicht sein. Bei Fahrzeugen mit manuellen Getriebe ist in den Leerlauf zu schalten. Das Kupplungspedal darf nicht betätigt sein. Verfügt das Fahrzeug über ein automatisiertes Getriebe oder ein Automatikgetriebe muss das Bremspedal im Stillstand betätigt sein. Sinkt der Bremsdruck unter den festgelegten Sollwert (herstellerspezifisch), wird das System ebenfalls deaktiviert und der Verbrennungsmotor gestartet. Die wichtigsten Kriterien sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1 Bedingungen und Kriterien zur Aktivierung des Start-Stopp-Systems

Bedingung	Kriterium
Batteriespannung	$> 11,5 \text{ V}$
Fahrgeschwindigkeit	$< 3 \text{ km/h}$
Motoröltemperatur	$25^\circ\text{C} < X < 110^\circ\text{C}$ (herstellerspezifisch)
Kühlmitteltemperatur	$25^\circ\text{C} < X < 110^\circ\text{C}$ (herstellerspezifisch)
Innenraumtemperatur- abweichung am Lüftungsausströmer	$\pm 8^\circ\text{C}$ (herstellerspezifisch)
Getriebestufe	Neutralstellung (Schaltgetriebe)
Bremsdruck	$> 500 \text{ mbar}$ (herstellerspezifisch)
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none"> - keine Fehlereinträge im Motorsteuergerät - Fahrer angeschnallt - Fahrzeurtüren geschlossen

2.3.2.2 Funktion des Start-Stopp-Systems

Die Hauptfunktion des Start-Stopp-Systems ist die Abschaltung des Motors in Standphasen. Dies dient der Kraftstoff- und Emissionseinsparung. Dafür prüft das Fahrzeugsystem mittels Sensoren, ob alle Bedingungen für eine Aktivierung des Systems erfüllt sind. Sind alle Parameter erfüllt schaltet das System über die Motorelektronik den Verbrennungsmotor aus. In der Ruhephase wird ein ständiger Soll-/Ist-Werte-Vergleich über die fahrzeugeigenen Sensoren durchgeführt. Weicht ein

Parameter vom vorgegebenen Kennfeldbereich ab, wird der Motor aus Sicherheitsgründen wieder gestartet. Funktioniert das System fehlerfrei wird es durch die Eingabe des Fahrers über die Pedale (oder die Deaktivierung des Start-Stopp-Systems durch den Schalter) gestartet. Diese Eingabe erfolgt bei Fahrzeugen mit einem Schaltgetriebe über die Betätigung des Kupplungspedals. Bei Fahrzeugen mit einem automatisiertem Schaltgetriebe oder einem Automatikgetriebe wird der Start des Verbrennungsmotors über das Lösen des Bremspedals (Unterschreitung des Bremsdrucks) aktiviert. Durch die genaue Bestimmung von Kurbel- und Nockenwellenposition ist ein schnelleres Starten des Motors durch die Motorelektronik gewährleistet. Ein stärkerer Starter verkürzt die Zeit zusätzlich. (10)

2.3.3 Das Start-Stopp-System bei Hybridfahrzeugen

Das Start-Stopp-System in Hybridfahrzeugen unterscheidet sich vor allem nach dem Hybridisierungsgrad. Die Ausgangsbedingungen für die Funktion der Start-Stopp-Automatik bei Hybridfahrzeugen sind identisch mit den Rahmenbedingungen bei Fahrzeugen ohne Hybridisierung. Allerdings kann es zum Wegfallen einzelner Bedingungen (z.B. $v < 3$ km/h, Klimatisierungsbedingung,...) kommen. Grund hierfür sind die durch den geänderten Systemaufbau vorhandenen Komponenten. Ein kombinierter Starter-Generator ermöglicht beispielsweise das Abschalten und Starten des Motors während das Fahrzeug rollt. Zudem ändert der Ersatz des mechanisch angetriebenen Klimakompressors durch einen elektrischen bei Voll- und Plug-in-Hybriden die Soll-Bedingungen der Start-Stopp-Automatik. Ein weiterer Aspekt ist die Möglichkeit elektrisch anzufahren (HEV und PHEV). Dazu nutzt das Fahrzeug die in der Traktionsbatterie gespeicherte elektrische Energie. Der Verbrennungsmotor wird, je nach Art der Steuerung, später oder gar nicht dazu geschaltet. Die Funktionsweise ist herstellerspezifisch in der Fahrzeugsoftware hinterlegt. Somit kann der Fahrer das System nur durch die Lastanforderung oder eine Deaktivierungsmöglichkeit beeinflussen. Einige Fahrzeuge bieten unterschiedliche Steuerungen, zum Beispiel durch die Auswahl von Fahrmodi an, allerdings ist auch hier die Start-Stopp-Regelung vom Fahrzeughersteller über die Software konfiguriert. Das System agiert daher nach den gemessenen IST-Werten entsprechend der Programmierung. Der Systemaufbau eines Mild-Hybrid-Fahrzeugs unterscheidet sich nur gering von Micro-Hybridantrieben

(vgl. 2.2.3.1 und 2.2.3.2). Daher ähnelt die Funktionsweise dieser Hybriden eher dem Vorbild eines konventionellen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor und Auto-Start-Stopp-Funktion (ASSF). Bei HEV und PHEV hingegen ist der Funktionsbereich des Start-Stopp-Systems erweitert.

2.3.4 Erkenntnisse bereits veröffentlichter Arbeiten

Für die Recherche der vorliegenden Arbeit wurden auch bereits verfasste Diplomarbeiten von OPELT (11) und die Studienarbeit von WERNER (12) untersucht. WERNER erläutert den Aufbau des Start-Stopp-Systems. Es folgt eine Aufschlüsselung aller wichtiger Komponenten, Sensoren und Bedingungen die für die Aktivierung der Auto-Start-Stopp-Funktion notwendig sind. Ebenso erklärt WERNER den Funktionsablauf und die Unterschiede der Abschaltssysteme bei Fahrzeugen mit Schalt- und Automatikgetriebe. Zur Erhebung des Zeitverzugs nutzt WERNER das Bremsverzögerungsmessgerät MAHA VZM-300 zusammen mit einem Pedalkraftmesser. Für seine Messreihen wurden acht Fahrzeuge aus unterschiedlichen Fahrzeugklassen geprüft. Durch die Auswertung der Messergebnisse wurde eine durchschnittliche Differenzverlustzeit zwischen aktivierten und deaktivierten Start-Stopp-System von 0,32 s ermittelt. Zur Ermittlung dieser Zeit wurden beide Systemzustände jeweils dreimal pro Fahrzeug geprüft. Bei einem der getesteten Fahrzeuge handelt es sich bereits um ein Fahrzeug mit Mild-Hybrid. Der gemessene Audi A7 Sportback 50 TDI quattro verfügt über einen RSG. Einen signifikanten Zeitgewinn durch das verbaute Hybridaggregat konnte allerdings nicht festgestellt werden. Des Weiteren wurde auch der Einfluss der Lastanforderung untersucht. Dazu wurden die Fahrzeuge jeweils im Anrollvorgang und bei voll getretenen Gaspedal gemessen. Bis auf ein Messergebnis konnten bei diesen Versuchen keine nennenswerten Unterschiede ermittelt werden. (12)

Die von OPELT verfasste Diplomarbeit aus dem Jahr 2019 weist, wie auch WERNER auf fehlende Vergleichswerte hin. OPELT kann für seine Betrachtung lediglich die bisher ermittelten Messwerte von WERNER zur Beurteilung heranziehen. Er beschreibt auch technische Besonderheiten wie zum Beispiel den Hydraulik-Impuls-Speicher. Die vom Maschinenbauer ZF entwickelte Komponente versorgt beim Startvorgang die Steuerungsventile und Bauteile des Automatikgetriebes mit dem nötigen Öldruck. Hierdurch wird eine schnelle Betriebsbereitschaft des Systems

hergestellt, ohne die vom Verbrennungsmotor benötigte Antriebsdrehzahl. Die in der Schweiz organisierten Messfahrten wurden ausnahmslos mit Fahrzeugen der Marke Subaru durchgeführt. Die Fahrzeuge wurden in vier verschiedenen Zuständen gemessen (11):

- dreimal mit eingeschaltetem Start-Stopp-System ohne Umsetzen des rechten Fußes (linker Fuß Bremspedal, rechter Fuß Gaspedal)
- dreimal mit ausgeschaltetem Start-Stopp-System ohne Umsetzen
- dreimal mit eingeschaltetem Start-Stopp-System mit Umsetzen (rechter Fuß setzt vom Brems- aufs Gaspedal um)
- dreimal mit ausgeschaltetem Start-Stopp-System mit Umsetzen

Die Erhebung der Messdaten erfolgte in Echtzeit durch das herstellereigene Programm „Subaru Select Monitor 4“, welches die Steuergerätedaten direkt via On-Board-Diagnose (OBD) ausliest. Damit ist es möglich eine Vielzahl von Umgebungsbedingungen aufzuzeichnen. Jedoch ist die Abfrage dieser Werte nur mit einer Abtastfrequenz von 30 Hz möglich was dazu führt, dass rein rechnerisch nur alle 0,033 s ein neuer Messpunkt aufgezeichnet werden kann. Nimmt die Anzahl der abgefragten Sensorwerte zu, hat dies einen negativen Einfluss auf die Abtastrate. Allerdings lassen sich durch die fahrzeugeigenen Steuergerätedaten die Initialwerte für Deaktivierung der Start-Stoppautomatik und dem in Bewegung setzten des Fahrzeugs auslesen. Aufgrund der groben Skalierung des Raddrehzahlsensors (nur volle km/h) fehlen OPELT in seinen Versuchen genaue Messwerte. Daraus resultiert, dass kein genauer Endwert der Messung entsteht sondern nur eine Zeitspanne. OPELT approximiert die in der Auswertung erstellte Trendlinie um einen genaueren Wert zu berechnen. Anschließend ermittelt er über den berechneten Endwert und den durch den Stopplightschalter gesetzten Startzeitpunkt die Differenzzeit (Verlustzeit). Auch hier wurde, wie schon zuvor bei der Arbeit von WERNER ein Hybridfahrzeug gemessen. Beim geprüften Subaru XV 2.0 e-Boxer handelt es sich um ein Voll-Hybridfahrzeug. Die Verlustzeit des Fahrzeugs ist, entgegen der Annahme, nicht geringer als die der Fahrzeuge mit konventionellen Verbrennungsmotor. Um den Einfluss der entstehenden Verlustzeit darzustellen, simuliert OPELT eine Verkehrssituation mit Hilfe der Software PC-Crash. Im gezeigten Beispiel kommt es zur Kollision durch die zusätzliche Verlustzeit des Start-Stopp-Systems. Zudem wird

aufgezeigt, dass es ohne Verlustzeit der Start-Stopp-Automatik nicht zur Kollision gekommen wäre. Im Anschluss vergleicht OPELT die von ihm gemessenen Werte mit denen von WERNER ermittelten Daten. Trotz der unterschiedlichen Messmittel liegen die Werte nahe beieinander (Subaru Select Monitor 4 ca. 30 Hz, MAHA 100 Hz). Eine Zusammenstellung der Messwerte findet sich im Kapitel „4.2.9 Vergleich der Messwerte mit bereits durchgeführten Messungen“.

3 Versuchsplanung und Durchführung

3.1 Vorüberlegungen

Im Vordergrund der Messung steht die Erhebung der Verlustzeiten. Eine Vielzahl an Versuchsfahrzeugen soll daher eine große Bandbreite und eine genauere Übersicht über die Verlustzeiten geben. Auch die Vielfalt der Hybridsysteme soll hierbei berücksichtigt werden.

3.1.1 Faktoren

Die Verlustzeiten durch Start-Stopp-Systeme ergeben sich nicht nur durch die Art des Antriebes, sondern sind noch von vielen weiteren Faktoren abhängig. Zu diesen zählen:

- Art des Verbrennungsmotors (Diesel, Benzin, Gas)
- Verbrennungsmotor (VM)
 - o Hubraum des VM,
 - o Zylinderanzahl
 - o Leistung
 - o Drehmoment
 - o Bauweise (Sauger, Turbo, Kompressor)
 - o Applikation des VM
 - o Umgebungsbedingungen
 - Ansauglufttemperatur
 - Kraftstoffqualität
 - Zustand des VM (Verschleiß)
- Starter (Ritzelstarter, Startergenerator (RSG, ISG), E-Maschine)
 - o Leistung
 - o Bauweise
 - o Ansteuerung
- Applikation des Starter oder Hybridsystems
- Leistung des Hybridsystems (nur Hybrid)
- Batterie
 - o Kapazität

- Material/ chemische Beschaffenheit
 - Alter
 - Ladezustand
- Getriebe (Schaltgetriebe, Wandlerautomatik, Doppelkupplungsgetriebe, CVT, automatisiertes Schaltgetriebe)
- Getriebeapplikation (bei automatischen und automatisierten Getrieben (z.B. Kupplungsschließung, Schleifpunkt, Anfahr Drehmoment)
- Getriebeübersetzung
- Kardanwelle (falls vorhanden)
- Differenzial
- Felgen
 - Größe
 - Masse
- Reifen
 - Reifengröße
 - Reifenbreite
 - Reifenzusammensetzung/ Reifenmischung
 - Luftdruck
 - (Aufstandsfläche [Fahrwerkseinstellung])
- Umgebungsbedingungen
 - Lufttemperatur
 - Wetter
 - Asphalttemperatur
 - Asphaltbeschaffenheit (Reibwert)
 - Steigung, Gefälle, Neigung
 - (Windgeschwindigkeit und Richtung)
- Fahrzeug
 - Fahrzeugmasse
 - Beladungszustand
 - Fahrzeugzustand
- Fahrer

3.1.2 Versuchsannahme

Es wird unterstellt, dass sich die Verlustzeiten bei einer Start-Stopp-Automatik mit steigendem Grad der Hybridisierung verringern. Grund hierfür sollte der stärkere Anteil des Elektromotors am Startvorgang sein. Elektromotoren haben im Vergleich zum Verbrennungsmotor eine geringere Trägheit beim Startvorgang. Hinzu kommt ein deutlich höheres Ansprech- und Beschleunigungsverhalten im unteren Drehzahlbereich. Ein weiterer Vorteil von Elektromotoren ist der Drehmomentverlauf. Bereits bei der ersten Umdrehung liegt das volle Drehmoment an. Ein Verbrennungsmotor muss dieses Drehmoment erst mit steigender Drehzahl aufbauen. Mit zunehmender Unterstützung des Elektromotors kann das Startverhalten des Verbrennungsmotors verbessert werden. Die Verlustzeiten sollten sich reduzieren und somit auch das Risiko eines Unfalls.

3.2 Versuchsaufbau

3.2.1 Auswahl der Messtechnik

Um den Vorgang des Start-Stopp-Systems vollständig abbilden zu können, gilt es eine Vielzahl von Einflussfaktoren aufzuzeichnen. Zur Aufnahme der Messwerte wird ein geeignetes Messmittel benötigt. Eine Möglichkeit diese Daten zu erhalten ist die Abfrage der Messwerte über die im Fahrzeug verbauten Steuergeräte. Diese sind jedoch codiert und werden von mehreren Steuergeräten im Fahrzeug ausgesendet und empfangen. Der Knotenpunkt an den diese Informationen auslesbar sind, wird als Gateway bezeichnet. Hier werden die Informationen der verschiedenen Steuergeräte gesammelt und für die anderen Informationswege (LIN-Bus, CAN-Bus, MOST-Bus) übersetzt. Dies ist nötig, da jedes Informationssystem unterschiedliche Kommunikationsgeschwindigkeiten oder Kommunikationswege nutzt. Die Abfrage der Daten, die am Gateway ankommen, ist aufgrund der Datenmenge und der Decodierung begrenzt. Je mehr Messwertdaten gleichzeitig ausgelesen werden, desto geringer wird die Abtastfrequenz. Das heißt die messbaren Ergebnisse pro Sekunde verringern sich drastisch. Maximal ist es möglich, durch das Gateway mehrere Messdaten mit 30 Hz abzufragen. Das entspricht einem Messpunkt alle 33 ms.

Die Abtastfrequenz sinkt allerdings je mehr Daten gleichzeitig abgefragt werden. Deshalb führt eine alleinige Abfrage der Messdaten aus dem Gateway zu ungenauen

Ergebnissen. Um die Frequenz der Messdaten zu erhöhen, benötigt man spezielle Software, leistungsstarke Rechner und eine direkte Abfragemöglichkeiten der Steuergeräte.

Eine Möglichkeit, um die Verlustzeit zu bestimmen, ist eine äußere Messung. Als Verlustzeit wird in dieser Arbeit die Zeit definiert, welche von der Eingabe des Fahrwunsches über den Fahrer bis zum tatsächlichen in Bewegung setzten des Fahrzeugs vergeht. Bei Fahrzeugen mit Automatik- oder automatisiertem Getriebe also die Zeit, die das Fahrzeug vom Lösen des Bremspedals bis zum Anfahrbeginn benötigt. Um diesen Zeitraum messen zu können, benötigt es einen Initiator für den Start, eine Messuhr oder Zeitsignal und ein Beschleunigungssignal in Fahrzeuglängsrichtung (x-Achse). Der Initiator wird als Startsignal der Messung benötigt, da das Signal für den Motorstart bei einer äußeren Messung nicht gemessen werden kann. Als geeignetes Messgerät erweist sich das Pic DAQ5 (Abbildung 19, S.36) von DSD (Doktor Steffan Datentechnik Linz-Austria), welches bei den hier durchgeführten Untersuchungen zum Einsatz kam.

Das Pic DAQ5 ist eine „Messplattform zu Messung von Fahrzeugbeschleunigungen und Rotationsgeschwindigkeiten“ (13), welches über zwei Beschleunigungssensoren und einen Winkelgeschwindigkeitssensor verfügt. Ein Vorteil des Pic DAQ5 ist die hohe Abtastrate von bis zu 1 kHz pro Kanal. Hierbei kann eine aussagekräftige Datenqualität durch die hohe Abtastfrequenz, selbst bei der parallelen Aufnahme mehrerer Messwerte, sichergestellt werden.

Tabelle 2 Datenblatt Pic DAQ5 (13)

Abmessungen: (L/B/H)	(135 mm / 130 mm / 40 mm)
Eingangskanäle:	15 analog (12 Bit Auflösung) 4 digitale
Sensoren:	2x 3-axiale Beschleunigungssensoren (± 1.5 g; ± 200 g)

Sensoren:	1x 3-axialer Winkelgeschwindigkeitssensor (± 300 Grad/s)
Abtastrate:	bis zu 1 kHz pro Kanal
GPS:	verfügbar, bis 20 Hz



Abbildung 19 Pic DAQ5

Das Pic DAQ5 wird zum Messen der Zeit als auch der Beschleunigung verwendet. Jedoch wird ein zusätzlicher Sensor benötigt um den exakten Startpunkt der Messung zu definieren.

Hierfür wird bei den Messungen ein Pedalkraftsensor verwendet, der auf den externen Messeingang des Pic DAQ5 eingestellt wurde (Abbildung 20, 21). Über den Pedalkraftmesser, der seine Messwerte über eine definierte Änderung der Spannung erhält, kann der exakte Zeitpunkt des Startwunsches ermittelt werden. Diese hohe Messgenauigkeit ist relevant, da es Fahrzeugsysteme gibt die bereits bei einem leichten berühren des Bremspedals den Startvorgang des Motors einleiten.



*Abbildung 20 Pedalkraftsensor
(Draufsicht)*



*Abbildung 21 Pedalkraftsensor
(Seitenansicht)*

3.3 Versuchsdurchführung

3.3.1 Messaufbau

Der Messaufbau ist bei allen untersuchten Fahrzeugen identisch. Das Pic DAQ 5 wird mittig an der Frontscheibe entlang der Fahrzeugmittellängsachse im Testfahrzeug montiert (Abbildung 24, S.39). Befestigt wird es über einen kurzen Stativarm mit Saugnapf. Die Stromversorgung der Pic DAQ5 erfolgt über einen austauschbaren 9 V-Akkumulator. Um sicherzustellen, dass das Messgerät eine ausreichende Stromversorgung erhält, wird der Akkumulator sobald er eine Nennspannung von 6,7 V unterschreitet ausgetauscht. Somit wird verhindert, dass die Messtechnik durch

Unterspannung die Messergebnisse verfälscht. Der Pedalkraftmesser wird über den seriellen RS232-Stecker mit der Pic DAQ5 verbunden. Zusätzlich benötigt der Pedalkraftmesser auch noch eine externe 12 V-Spannungsversorgung, da die 3,3 V Messausgangsspannung der Pic DAQ5 für die Versorgung nicht ausreicht. Ist die Spannungsversorgung des Pedalkraftmessers erfolgt, wird dieser auf dem Bremspedal des Testfahrzeugs befestigt. Die durch den Fahrer mit der Schuhsole zu berührende Fläche am Pedalsensor hat eine Aluminiumoberfläche. Da der Durchmesser nur 26 mm beträgt, besteht die Gefahr abzurutschen. Um dieses Risiko zu minimieren, trägt der Fahrer Schuhe mit einer dünnen und griffigen Sohle (Abbildung 23). Die Schuhe sorgen zudem für ein sehr gutes Pedal- und Bedienungsgefühl und helfen vergleichbare Messungen zu erzielen. Zur Befestigung des Pedalkraftsensors wird Gewebeklebeband verwendet, weil es sowohl die Zentrierung des Messmittels gewährleistet, als auch die rückstandslose Demontage nach Beenden des Tests sichert (Abbildung 22).



Abbildung 22 Im Messfahrzeug eingebauter Pedalkraftsensor



Abbildung 23 Für Messungen verwendetes Schuhwerk (Sparco SP-F5)

Die für diese Arbeit getesteten Fahrzeuge waren ausnahmslos Leihgaben von privaten Kunden. Deshalb war es erforderlich, den Ein- und Ausbau der Messtechnik ohne Beschädigungen durchführen zu können. Für das knappe zur Verfügung stehende Zeitfenster zur Durchführung der Messungen war es weiterhin wichtig, durch den Einsatz von Gewebeklebeband beim Ein- und Ausbau der Messtechnik effektiv und schnell zu agieren. Beim Einbau der Messtechnik muss darauf geachtet werden die Kabel so zu verlegen, dass diese beim Testen nicht stören. Ebenso dürfen Sie beim

Testen nicht beschädigt werden oder Beschädigungen am Testfahrzeug hinterlassen. Für eine bessere Einordnung der Unterschiedlichen Messreihen wurde zusätzlich eine GPS-Antenne montiert. Mit Hilfe der Pic DAQ5 wird dadurch ein Geschwindigkeitssignal aufgezeichnet. Das ermittelte Geschwindigkeitssignal dient aufgrund der geringen Abtastrate von 10 Hz nur als Beschleunigungsrichtwert. Zudem benötigt das GPS eine Mindestgeschwindigkeit zum Aufzeichnen der Daten von mindestens 1,5 km/h. Das GPS-Modul verfügt über einen Magnetfuß und wird auf dem Fahrzeugdach montiert. Da einige Fahrzeuge mit beschichteten Frontscheiben ausgestattet sind, wird damit das Risiko der Störung des Signals ausgeschlossen.



Abbildung 24 Messaufbau im Fahrzeug

3.3.2 Aufnahme der Verlustzeiten

Alle Messungen der Verlustzeiten werden nach dem gleichen Versuchsaufbau durchgeführt. Zur Sicherstellung gleicher Ausgangsbedingungen werden zuerst alle Fahrzeuge, die über ein Plug-in-Hybridsystem (PHEV) verfügen, mit Strom geladen. Nach der Installation der Messtechnik im zu testenden Fahrzeug und einer Funktionsüberprüfung werden die Umgebungsbedingungen protokolliert. Im Anschluss wird das Fahrzeug auf Betriebstemperatur gebracht. Sind sowohl die Kühlmitteltemperatur (80 °C bis 100 °C) als auch die Öltemperatur (mindestens 80 °C) des Testfahrzeugs im optimalen Betriebsfenster, wird mit der Aufnahme der Messwerte begonnen. Bei Fahrzeugen die über unterschiedlich einstellbare Fahrmodi verfügen, wird jeder einzelne Modus geprüft. Ist das Start-Stopp-System manuell abschaltbar, so werden die Messfahrten erst mit deaktiviertem, danach mit aktiviertem Start-Stopp-System durchgeführt. Für die statistische Auswertung sieht der Messablauf drei verschiedene Prüfungen der Fahrzeuge vor, die jeweils fünfmal hintereinander durchgeführt werden. Dies sind im Einzelnen:

1. Anrollen des Fahrzeugs
2. Geringe Beschleunigung des Fahrzeugs
3. Starke Beschleunigung des Fahrzeugs

3.3.2.1 Anrollen des Fahrzeugs

In der ersten Prüfung wird das Anrollverhalten des Fahrzeugs geprüft. Das heißt, dass nur der Fuß vom Bremspedal genommen wird. Hierbei rollt das Testfahrzeug selbstständig ohne Betätigung des Fahr- bzw. Gaspedals mit Leerlaufdrehzahl bis zu einer Geschwindigkeit von 5 km/h an. Da das Start-Stopp-System bei Fahrzeugen mit Automatik und automatisierten Getriebe unter anderem vom Bremspedaldruck gesteuert wird, kann die Messung einfach ausgelöst werden. Das System startet den Verbrennungsmotor oder der Elektromotor übernimmt direkt den Anfahrvorgang. Somit kann über den Pedalkraftsensor der genaue Zeitpunkt für den Start der Messung ermittelt werden. Ist die Pedalkraft am Bremspedal null, so ist der Fahrwunsch des Fahrers geäußert und das Fahrzeug muss den Startvorgang beginnen. Im Falle eines deaktivierten Start-Stopp-Systems muss das Fahrzeug, sobald die Pedalkraft null beträgt mit dem Anfahrvorgang beginnen. Durch den Vergleich zwischen aktiviertem und deaktiviertem Start-Stopp-System erhält man eine genaue Verlustzeit.

3.3.2.2 Anfahren des Fahrzeugs mit geringer Beschleunigung

Der zweite Prüfpunkt beinhaltet einen Anfahrvorgang mit geringer Beschleunigung. Dieser ist vergleichbar mit dem Anfahren an einer Kreuzung oder im sogenannten Stop-and-Go-Verkehr. Kennzeichen für diese Art des Anfahrens, ist eine geringe oder weiche Beschleunigungsphase. Die Lastanforderung des Motors beträgt zwischen 5 % und 50 %. Durch das zeitlich gemäßigte Umsetzen vom Brems- aufs Fahrpedal, kann es zu Anrollphasen kommen. Das bedeutet, dass je nach Einstellung der Motor gestartet wird und sich das Fahrzeug selbstständig verbrennungsmotorisch, elektrisch oder hybrid in Bewegung setzt, ohne dass bereits ein Fahrwunsch vorliegt. Auch hier wird jeweils mit aktiviertem und deaktiviertem Start-Stopp-System gemessen.

3.3.2.3 Anfahren des Fahrzeugs mit starker Beschleunigung

Im dritten Prüfpunkt wird ein schnelles oder sehr dynamisches Anfahren simuliert. Das Fahrzeug soll sich hier möglichst schnell in Bewegung setzen. Dieses Szenario stellt ein schnelles Anfahren an einer Kreuzung, Einmündung oder Ausfahrt, zum Beispiel durch herannahende Verkehrsteilnehmer dar. Charakteristisch ist das sehr schnelle Umsetzen des Fußes vom Brems- auf das Fahrpedal. Da alle Fahrzeuge über ein elektronisches Gaspedal verfügen, beträgt die Lastanforderung 100 %. Wie bei den vorherigen Prüfungen werden die Messungen jeweils mit aktivierten und deaktivierten Start-Stopp-System durchgeführt. Auch die Unterschiede des Systems in den einzelnen Fahrmodi werden analysiert. Durch das starke Beschleunigen werden diese Baugruppen hoher mechanischer und thermischer Belastung ausgesetzt, was zu starken Verschleiß oder zu Schäden führen kann. Außerdem können zu hohe Temperaturen, zum Beispiel Motoröltemperatur, dazu führen dass die Bedingungen für einen Motorstopp des Start-Stopp-Systems nicht erfüllt sind. In diesem Falle wäre eine Messung nicht möglich. Aus diesem Grund wurde darauf geachtet, innerhalb der oben bereits erwähnten Betriebsfenster zu testen.

3.3.3 Messstrecken

Die drei Messstrecken wurden entsprechend der Standorte der Fahrzeuge gewählt. Es wurde darauf geachtet, dass diese möglichst keine großen Steigungen oder Gefälle aufweisen (Steigung < 3 % oder 1,5° in Längsrichtung), dass der Oberflächenbelag intakt ist und es nicht zu einem Wechsel des Fahrbahnbelages kommt. Die Strecken

wiesen ein geringes Verkehrsaufkommen auf, um ein sicheres Messen zu ermöglichen.

Testfahrzeuge, die in Zwickau verfügbar waren, wurden vor dem August-Horch-Bau der Westsächsischen Hochschule in Zwickau getestet (Abbildung 25). Diese Teststrecke ist 80 m lang und weist nur eine einseitige Neigung der Fahrbahn um $2,4^\circ$ auf. Diese Messstrecke erfüllt alle genannten Anforderungen. Der Fahrbahnbelag aus Asphalt weist eine geschlossene Struktur auf und ist unbeschädigt.

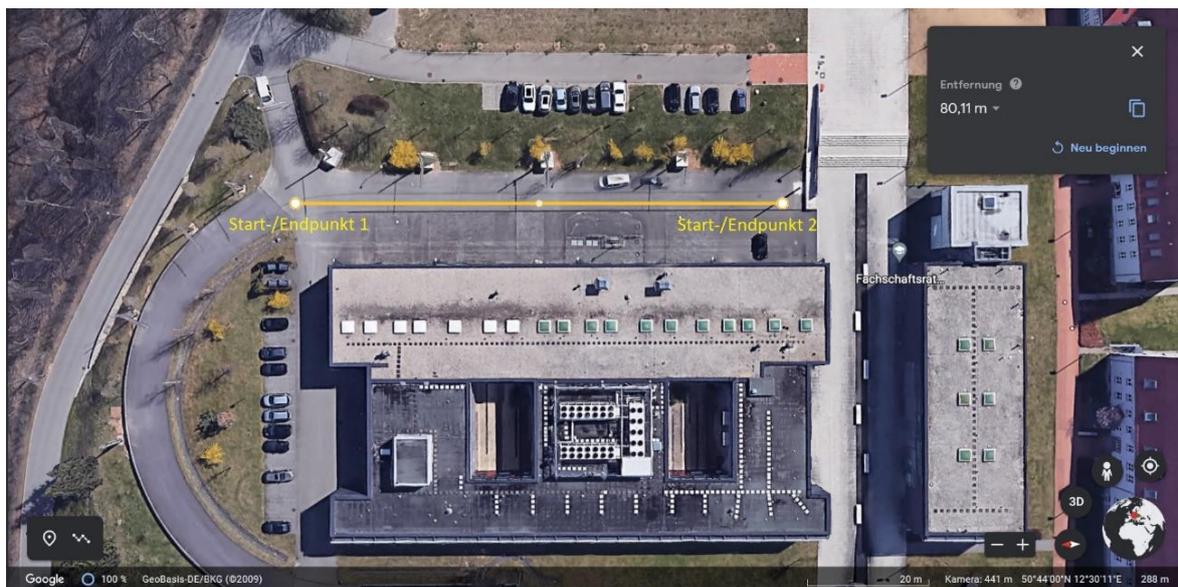


Abbildung 25 Messstrecke am AHB WHZ Zwickau (Länge = 80,11 m)

Die zweite Teststrecke befindet sich in der Straße Forstweg in Nienburg/Weser. Die ausgewählte Teststrecke ist 280 m lang, wie Abbildung 26 auf Seite 43 darstellt. Der Asphalt fällt an beiden Seiten zum Seitenstreifen mit $2,5^\circ$ Neigung ab (Abbildung 27, S.43). Die Teststrecke weist lediglich an einem Ende ab etwa 50 m eine Steigung von etwa 2° auf. Gemessen werden die Fahrzeuge abwechselnd in beiden Fahrtrichtungen. Bei der Auswertung der Messergebnisse konnte festgestellt werden, dass die geringe Steigung von 2° keinen Einfluss auf die Messwerte hat.

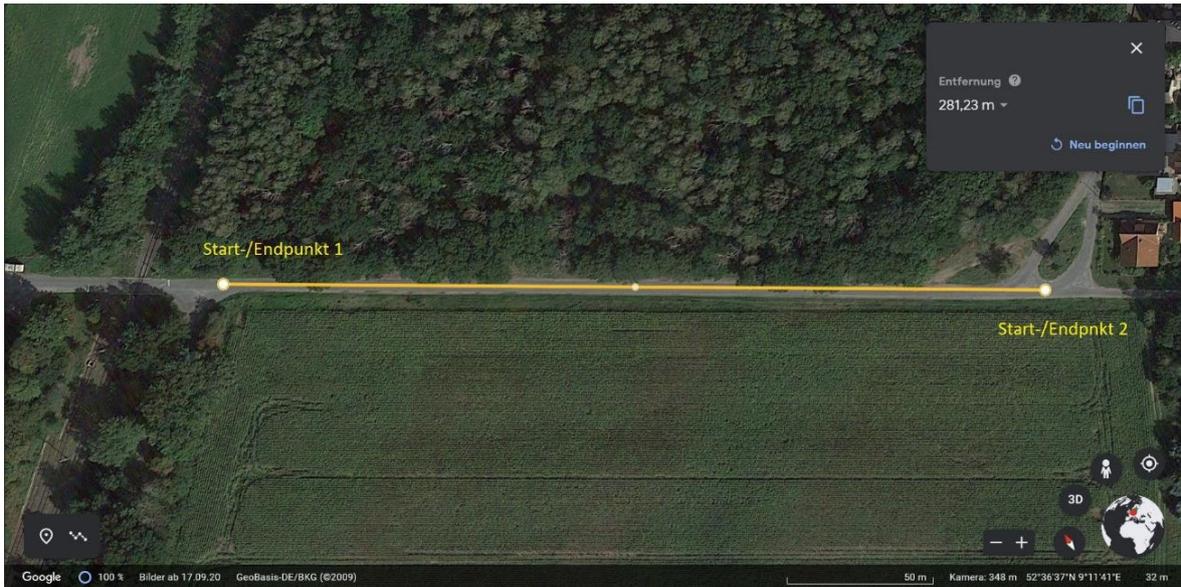


Abbildung 26 Messstrecke Nienburg/Weser, Forstweg, (Länge = 281,23 m)



Abbildung 27 Asphalt und Fahrbahnbeschaffenheit

Abbildung 28 auf Seite 44 zeigt die dritte Teststrecke, welche sich in Leinefelde befindet. Die Fahrzeuge wurden in der Zeißstraße gemessen. Die Messstrecke hat eine Länge von 210 m und ein einseitiges 4,5° Gefälle zum Gehweg. Die Asphaltdecke ist unbeschädigt und weist keine Verwerfungen auf.



Abbildung 28 Messstrecke Leinefelde, ZeiBstraße, (Länge = 210,09 m)

3.3.4 Messfahrzeuge

Für die Durchführung der Messfahrten wurden insgesamt 21 Fahrzeuge von sieben verschiedenen Herstellern geprüft. Tabelle 3 stellt alle Messfahrzeuge und die Hybrideinordnung nach dem Elektrifizierungsgrad vor. Exemplarisch wird das Fahrzeugdatenblatt des Audi A6 Avant 50 TDI quattro in Tabelle 4 aufgezeigt (Abbildung 29, 30, S.46). Die Fahrzeugdatenblätter (Abbildung 29, 30, S.46) der weiteren Testfahrzeuge sind in den Anlagen zu finden.

Tabelle 3 Übersicht gemessener Fahrzeuge

Hersteller	Fahrzeug	Hybridisierungsgrad	Teststrecke	Anlage Datenblatt
Audi	A3 Sportback 35 TFSI	MHEV	Leinefelde	1
Audi	A4 Avant 35 TDI Advanced	MHEV	Leinefelde	2
Audi	A4 Avant 40 TFSI S-LINE	MHEV	Leinefelde	3
Audi	A6 50 TDI quattro	MHEV	Leinefelde	4
BMW	330e (G20)	PHEV	Zwickau	5
BMW	i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition	PHEV	Zwickau	6
Cupra	Leon VZ 1.4 e-HYBRID	PHEV	Leinefelde	7

Hersteller	Fahrzeug	Hybridisierungsgrad	Teststrecke	Anlage Datenblatt
Mercedes-Benz	CLA 250e Shootingbrake	PHEV	Zwickau	8
Mercedes-Benz	C300e T-Modell	PHEV	Zwickau	9
Mercedes-Benz	C300de T-Modell	PHEV	Zwickau	10
Renault	Capture E-TECH Plug-in Intense	PHEV	Nienburg /Weser	11
Toyota	Corolla Touring-Sports 2.0 Hybrid GR Sport	HEV	Nienburg /Weser	12
Toyota	Highlander 2.5 Hybrid Luxury	HEV	Nienburg /Weser	13
Toyota	Prius III	HEV	Zwickau	14
Toyota	Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive	PHEV	Nienburg /Weser	15
Toyota	RAV4 Plug-in AWD-i	PHEV	Nienburg /Weser	16
Toyota	Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD	HEV	Nienburg /Weser	17
Volkswagen	Golf VIII GTE	PHEV	Zwickau	18
Volkswagen	Golf VIII GTE	PHEV	Leinefelde	19
Volkswagen	Golf 1.5 eTSI ACT Style	MHEV	Zwickau	20
Volkswagen	Touareg R eHybrid	PHEV	Leinefelde	21

3.3.4.1 Audi A6 Avant 50 TDI quattro



Abbildung 29 Audi A6 Avant 50 TDI quattro
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 30 Audi A6 Avant 50 TDI quattro
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 4 Fahrzeugdatenblatt Audi A6 Avant 50 TDI quattro

Hybridisierungsgrad	MHEV mit 48 V Bordnetz und Riemenstartergenerator
Kraftstoffart	Diesekraftstoff
Hubraum / Zylinder	2967 cm ³ / 6
Leistung	210 kW / (286 PS)
max. Drehmoment	620 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	8-Gang Hydraulischer Drehmomentwandler mit Überbrückungskupplung / permanenter Allradantrieb (quattro) mit selbstsperrenden Mitteldifferenzial
Leermasse	1965 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Continental PremiumContact 6 245/45 R19 102Y
Erstzulassung	08.02.2021
Länge / Breite / Höhe	4939 mm / 1886 mm / 1467 mm
Kilometerstand	26469 km

3.4 Messwerte

Die in der Tabelle 5 dargestellten Messwerte bilden jeweils die Verlustzeiten eines Fahrzeuges in unterschiedlichen Szenarien und Modi ab. Messwerte in der Spalte „Verlustzeit in s“ sind der Mittelwert aus den fünf gemessenen Versuchen im Szenario je Modus. Die Einzelmesswerte der Fahrzeuge sind im Anhang zu finden.

Tabelle 5 Mittlere Verlustzeit aller gemessenen Fahrzeuge

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)</i>	Anrollen	StaSto aktiviert	0,334
<i>Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)</i>	Anrollen	StaSto deaktiviert	0,119
<i>Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,585
<i>Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,236
<i>Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,550
<i>Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,236
<i>Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)</i>	Anrollen	StaSto aktiviert	0,926
<i>Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)</i>	Anrollen	StaSto deaktiviert	0,138
<i>Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,763
<i>Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,295
<i>Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,702
<i>Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,316
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	Anrollen	auto StaSto aktiviert	0,543
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	Anrollen	auto StaSto deaktiviert	0,285
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	0,598
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	0,619
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,570

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,302
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	0,618
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	0,555
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,676
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,353
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	0,648
<i>Audi A4 Avant 40 TFSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	0,636
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	Anrollen	auto StaSto aktiviert	0,577
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	Anrollen	auto StaSto deaktiviert	0,065
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	0,648
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	0,603
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,613
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,098
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	0,598
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	0,589
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,592
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,144
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	0,628
<i>Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	0,598
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	Anrollen	eDrive	0,465
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid	0,439
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	Anrollen	Sport	0,594

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	Anrollen	XtraBoost	0,159
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	eDrive	0,399
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid	0,419
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport	0,485
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	XtraBoost	0,201
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	eDrive	0,327
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid	0,317
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport	0,406
<i>BMW 330e (G20) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	XtraBoost	0,199
<i>BMW i8 Roadster (PHEV)</i>	Anrollen	eDrive Comfort	0,217
<i>BMW i8 Roadster (PHEV)</i>	Anrollen	Sport	0,138
<i>BMW i8 Roadster (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	eDrive Comfort	0,233
<i>BMW i8 Roadster (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport	0,182
<i>BMW i8 Roadster (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	eDrive Comfort	0,254
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,226
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid Comfort	0,334
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid Sport	0,296
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	Anrollen	Cupra	0,277
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,277
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,342
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,428
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e- Hybrid (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Cupra	0,428

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,364
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,383
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,382
<i>Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Cupra	0,392
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	Anrollen	Battery Level	0,601
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,626
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	Anrollen	Sport	0,674
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Battery Level	0,557
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,540
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport	0,553
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Battery Level	0,465
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,477
<i>Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport	0,485
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,484
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid	0,439
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	Anrollen	Sport	0,032
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,532
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid	0,457
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport	0,064
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,421
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid	0,385
<i>Mercedes-Benz C300e T (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport	0,071

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,490
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid	0,457
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	Anrollen	Sport	0,048
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,438
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid	0,464
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport	0,077
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,356
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid	0,384
<i>Mercedes-Benz C300de T (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport	0,112
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	Anrollen	EV-Pure	0,129
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	Anrollen	MySENSE	0,148
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	Anrollen	Sport	0,174
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	EV-Pure	0,184
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	MySENSE	0,204
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport	0,192
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	EV-Pure	0,238
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	MySENSE	0,239
<i>Renault Capture Intense PiH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport	0,233
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Eco	0,129
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Comfort	0,145
<i>Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Normal	0,163
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Sport/Sport+	0,133

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Eco	0,143
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Comfort	0,164
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Normal	0,201
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport/Sport+	0,193
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Eco	0,133
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Comfort	0,166
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Normal	0,214
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport/Sport+	0,137
<i>Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)</i>	Anrollen	EV	0,136
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Eco	0,160
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Normal	0,201
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	Anrollen	Sport/Sport+	0,147
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	EV	0,191
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Eco	0,183
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Normal	0,221
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Sport/Sport+	0,217
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Eco	0,246
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Normal	0,255
<i>Toyota Corolla ST 2.0 HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Sport/Sport+	0,268
<i>Toyota Prius III (HEV)</i>	Anrollen	Eco	0,279
<i>Toyota Prius III (HEV)</i>	Anrollen	PWR-Mode	0,314
<i>Toyota Prius III (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	Eco	0,392

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Toyota Prius III (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	PWR-Mode	0,306
<i>Toyota Prius III (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	Eco	0,345
<i>Toyota Prius III (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	PWR-Mode	0,338
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	Anrollen	EV	0,149
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	Anrollen	HV Eco	0,124
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	Anrollen	HV Normal	0,153
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	Anrollen	HV Sport/Sport+	0,142
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	EV	0,176
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Eco	0,272
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Normal	0,187
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Sport/Sport+	0,165
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	EV	0,202
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Eco	0,207
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Normal	0,217
<i>Toyota Prius 1.8 VVT PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Sport/Sport+	0,217
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	Anrollen	EV	0,121
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	Anrollen	HV Eco	0,129
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	Anrollen	HV Normal	0,162
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	Anrollen	HV Sport/Sport+	0,140
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	EV	0,209
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Eco	0,202
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Normal	0,229

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Sport/Sport+	0,218
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	EV	0,239
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Eco	0,248
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Normal	0,258
<i>Toyota RAV4 PIH (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Sport/Sport+	0,279
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	Anrollen	EV	0,151
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	Anrollen	HV Eco	0,212
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	Anrollen	HV Normal	0,161
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	Anrollen	HV Sport/Sport+	0,172
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	EV	0,192
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Eco	0,199
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Normal	0,225
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	geringe Beschleunigung	HV Sport/Sport+	0,211
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Eco	0,282
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Normal	0,258
<i>Toyota Yaris Cross HY (HEV)</i>	hohe Beschleunigung	HV Sport/Sport+	0,251
			0,282
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,258
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid Comfort	0,304
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid Sport	0,178
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,456
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,362
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,380

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,263
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,295
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,293
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,462
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid AUTO	0,506
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,434
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid AUTO	0,416
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,356
<i>Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid AUTO	0,328
<i>Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)</i>	Anrollen	SS aktiviert	0,657
<i>Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)</i>	Anrollen	SS deaktiviert	0,234
<i>Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	SS aktiviert	0,667
<i>Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)</i>	geringe Beschleunigung	SS deaktiviert	0,209
<i>Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	SS aktiviert	0,361
<i>Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)</i>	hohe Beschleunigung	SS deaktiviert	0,35
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	Anrollen	e-Mode	0,589
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid Comfort	0,625
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	Anrollen	Hybrid Sport	0,605
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,573
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,620
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,646
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,509

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,539
<i>Volkswagen Touareg R (PHEV)</i>	hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,602

4 Auswertung der Versuchsergebnisse und Zusammenfassung

4.1 Auswertung der Verlustzeiten am Beispiel einer Messung

Die Auswertung der Messungen erfolgt durch die von der Firma DSD, Dr. Steffan Datentechnik GmbH, entwickelte Software PocketDAQ Analyzer. Dieses Programm ist für die Auswertung der mit einer Pic DAQ5 aufgenommenen Daten vorgesehen. Die Daten werden als Text-Datei (txt.) gespeichert. Alternativ können diese auch über ein Tabellenkalkulationsprogramm, wie zum Beispiel Microsoft Excel, ausgewertet werden. Für die grafische Auswertung wurde das Programm PocketDAQ Analyzer benutzt.

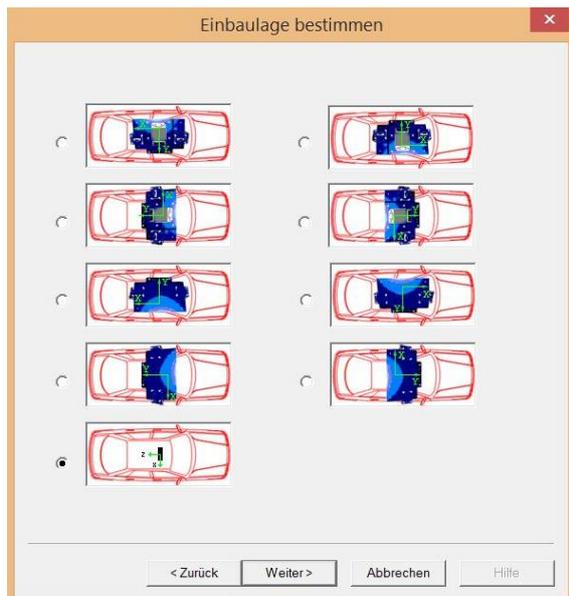


Abbildung 31 Setup der Einbaulage im Fahrzeug zur Auswertung der Messdaten im PocketDAQ Analyzer

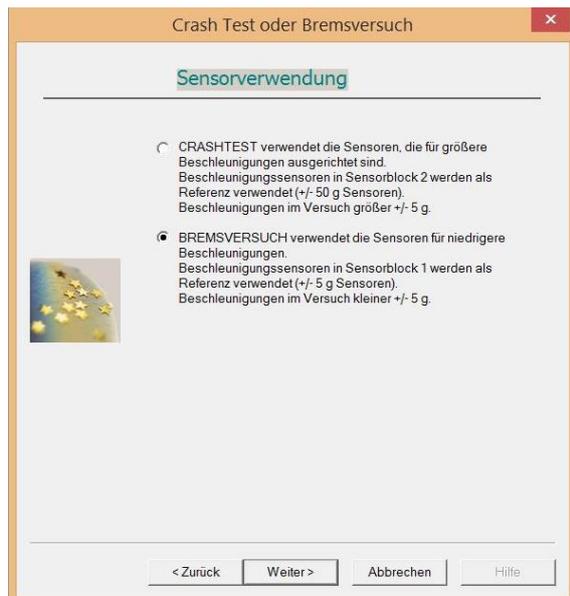


Abbildung 32 Setup des der zu erwartenden Beschleunigungskräfte der Messung

Zuerst wird die Einbaulage und Ausrichtung des Messgerätes im Fahrzeug ausgewählt (Abbildung 31). Hierbei werden den Sensoren der Pic DAQ5 die entsprechenden Raumachsen für die grafische Darstellung zugewiesen. Während der Messfahrten ist

die Pic DAQ senkrecht an der Frontscheibe, entlang der Fahrzeuginnerebene, angebracht. Wie in Abbildung 32 zu sehen ist, erfolgt die Differenzierung der aufgenommenen Beschleunigungen, um zwischen Crash- oder Bremsversuch zu unterscheiden. Nach Festlegung des Offsets, dem Bereich der Messung ohne Veränderungen, wird die Messdatei eingeladen. Die Messwerte werden nun in sechs Fenstern grafisch dargestellt. Zur Ermittlung der Verlustzeit werden jedoch nur das Fenster der Beschleunigungsmessung und das Fenster für das Signal des Pedalkraftsensors benötigt. Alle weiteren Messfenster sind für die Messung der Verlustzeit nicht relevant.

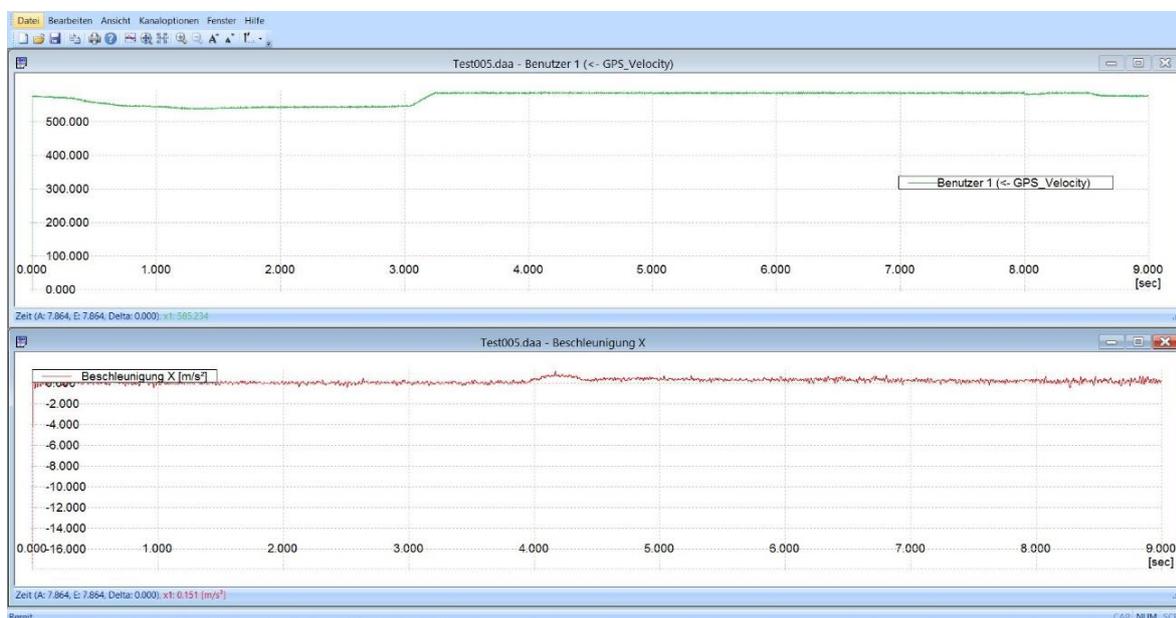


Abbildung 33 Messdatenfenster mit Signal des Bremspedalsensors im oberen Geschwindigkeitsanzeigefenster (türkis) und der Längsbeschleunigung (violett)

Für eine bessere Auswertbarkeit wird ein Filter zur Glättung der Daten benutzt. Die für diese Versuche verwendete Filterstufe „CFD 1000“ ermöglicht eine höhere Genauigkeit bei der Definierung der Anfangs- und Endzeitpunkte. Der verwendete Filter ist Bestandteil der Auswertesoftware des PocketDAQ Analyzer. Als Startpunkt der Verlustzeit dient das Signal des Pedalkraftsensors (türkisfarbene Kurve). Sobald die Signalspannung den Ruhewert erreicht, beginnt die Messung (Abbildung 33, 34). Als Ruhewert wird in den Messungen der Messwert des unbelasteten Pedalkraftsensors bezeichnet. Als Endpunkt der Verlustzeit wird der Anstiegsbeginn der Längsbeschleunigung (violette Kurve) definiert. Sobald sich das Testfahrzeug

bewegt, wird eine Beschleunigung registriert. Die Aufzeichnung der Geschwindigkeit via GPS-Signal konnte nicht zur Ermittlung der Verlustzeit herangezogen werden. Der bei den Tests zur Verfügung stehende GPS-Sensor war mit einer Signalfrequenz von 10 Hz zu ungenau. Zudem wird erst ein Signal oberhalb von 0,44 m/s² (1,6 km/h) aufgezeichnet.



Abbildung 34 Ausmessen der Verlustzeit (von Messpunkt des Pedalkraftsensors erreicht Ruhewert, bis einsetzen der Längsbeschleunigung)

4.2 Besonderheiten der Systeme bei der Versuchsdurchführung

Aufgrund der hohen Anzahl der gemessenen Fahrzeuge mit unterschiedlichem Hybridisierungsgrad, wurden schon im Anfangsstadium der Testdurchführung die Systemunterschiede deutlich. Fahrzeuge mit Plug-In-Hybrid starten ihren Verbrennungsmotor nicht und fahren nach der Startbetätigung elektrisch an. Mildhybrid-Systeme hingegen starten immer den Verbrennungsmotor. Wegen des geringeren Drehmoments des Starter-Generators ist es MHEV-Fahrzeugen nicht möglich, rein elektrisch zu fahren. Der zumeist genutzte Riemenstartergenerator sitzt bauartbedingt gegenüber der Abtriebsseite des Motors. Hierdurch hat er keine direkte Verbindung zum Getriebe. Allerdings würde die maximale verfügbare Leistung der Starteinrichtung, welche zwischen 8 und 16 kW betragen kann, ausreichen um das Fahrzeug in Bewegung zu setzen oder geringe Geschwindigkeiten zu halten. Diese

Belastung würde aber zu einer hohen thermischen Beanspruchung der elektrischen Komponenten führen. Bei Vollhybridfahrzeugen ist der erste Startvorgang abhängig von der Batterieladung. Wird die im Batteriemangement festgelegte Spannung der Traktionsbatterie unterschritten, startet das Fahrzeug immer den Verbrennungsmotor. Weitere Unterscheidungen zwischen den Hybridkonzepten konnten bei den Versuchsfahrten festgestellt werden. MHEV-Fahrzeuge aktivieren bei Verzögerungen bereits das Start-Stopp-System bei etwa 20 km/h und schalten den Motor ab. Bei höheren Geschwindigkeiten wird abhängig von den Umgebungsdaten und Einflussfaktoren die Kupplung geöffnet und der Motor fällt in den Leerlauf (meist als Freilauf bezeichnet). PHEV-Fahrzeuge hingegen können den Verbrennungsmotor bereits bei viel höheren Geschwindigkeitsbereichen ein- und ausschalten. Abhängig ist diese Regelung vom eingestellten Fahrmodus und der Bedienung des Fahrzeugs.

4.2.1 Differenzierung zwischen abschaltbaren und nicht abschaltbaren Start-Stopp-Systemen

Das wichtigste Merkmal der drei Hybridisierungsgrade stellt jedoch das Abschalten des Start-Stopp-Systems dar. Fahrzeuge ohne elektrifizierten Antriebsstrang aber mit Start-Stopp-System verfügen meist über die Möglichkeit, das System manuell zu deaktivieren. Diese Form des manuellen Abschaltens ist auch in Fahrzeugen mit Mild-Hybrid-System zu finden. Entscheidet der Fahrer, dass die Situation im Straßenverkehr ungeeignet zur Verwendung des Systems ist, kann er dieses abschalten. Bei Vollhybrid und Plug-In-Hybridfahrzeugen hingegen hat der Fahrzeugführer selbst keine Möglichkeit das System zu deaktivieren.

4.2.2 Start-Stopp-System bei HEV und PHEV

Hybridfahrzeuge mit Hochvoltsystemen (PHEV und HEV) haben keine direkte Abschaltvorrichtung für das Start-Stopp-System. Allerdings existieren bei diesen Hybridisierungsgraden Start-Stopp-Systeme wie im konventionellen Verbrennerfahrzeugen nicht. Die Aufgabe und Funktionsweise eines Start-Stopp-Systems ist es, den Motor im Stand abzuschalten. Diese Funktion dient der Einsparung von Kraftstoff und der Reduzierung der Emissionen. Wird ein Fahrwunsch durch den Fahrer geäußert, das System deaktiviert oder werden die Bedingungen für die Abschaltung nicht erreicht, startet das Fahrzeug den Verbrennungsmotor.

Bei Fahrzeugen, die über eine Traktionsbatterie und eine E-Maschine verfügen, arbeitet das Start-Stopp-System folgendermaßen. Den Anfahrvorgang übernimmt die E-Maschine. Das Fahrzeug setzt sich rein elektrisch in Bewegung. Somit ist der eigentliche Start-Stopp-Vorgang nicht beendet, da der Verbrennungsmotor noch ausgeschaltet ist. Je nach Anforderung des Fahrwunsches kann es dazu kommen, dass sich der Verbrennungsmotor beim Start mit dazu schaltet oder erst ab einer gewissen Geschwindigkeit. Durch die zusätzlichen und leistungsstarken Komponenten ist es dem System möglich, auch bei höheren Geschwindigkeiten den Motor abzuschalten. Da Plug-In-Hybrid- und Vollhybrid-Fahrzeuge nicht über einen herkömmlichen Starter verfügen, wird der Start des Motors ebenfalls von der E-Maschine übernommen. Daher ist ein Start des Motors immer mit der Nutzung der E-Maschine verbunden. Das Abschalten der Start-Stopp-Systems ist zudem nur indirekt möglich, über die Nutzung einzelner, meist sportlicher orientierter Fahrmodi. Sind diese angewählt, schaltet sich der Motor nicht ab. Bei HEV kann es außerdem dazu kommen, dass der Motor aufgrund einer zu geringen Batteriespannung der Traktionsbatterie nicht ausgeschaltet wird. HEV-Fahrzeuge verfügen meist über eine kleine Traktionsbatterie, die nicht extern aufgeladen werden kann. Zudem unterschreitet der Ladestand des Akkumulators nie einen bestimmten Wert (je nach Hersteller etwa 25 % Ladestand), um immer den Start des Motors und die Bordnetzversorgung zu gewährleisten.

4.2.3 Einfluss der Fahrmodi auf das Anfahrverhalten

Die Fahrmodi der für die Untersuchung genutzten Versuchsfahrzeuge verändern teilweise die Motorcharakteristik und das Ansprechverhalten des Antriebsstranges. Dabei wurde festgestellt, dass die Fahrmodi auf jedes Fahrzeug unterschiedliche Auswirkungen haben. Selbst bei Fahrzeugen des gleichen Herstellers gibt es je nach Peripherie des Hybridantriebsstranges unterschiedliche Ergebnisse. Jeder Fahrmodus ist anders appliziert und an das jeweilige Fahrzeug angepasst. So kommt es vor, dass Voll-Hybridfahrzeuge im gleichen Fahrmodus je nach Ladestand der Traktionsbatterie elektrisch oder hybrid anfahren. Zudem kann das Fahrzeug selbst, trotz angewählten rein elektrischen Fahrprogramm den Modus ändern und kombiniert anfahren. Die Ursache liegt in der Konzipierung der beiden Hybridvarianten. Zum einen haben vollhybridische Fahrzeuge eine kleinere Batteriekapazität als Fahrzeuge mit Plug-In-Hybridsystem, zum anderen sind Voll-Hybridantriebe auch nicht dafür ausgelegt, die

Traktionsbatterie voll zu laden. HEV-Fahrzeuge streben einen Arbeitsbereich der Traktionsbatterie von 20 % bis 80 % Ladestand (SOC) an, d. h. die Batterie wird niemals ganz leer gefahren oder voll geladen. Da die Batterie der HEV nur durch Fahrbetrieb aufgeladen werden kann und keine externe Stromzufuhr erhält, wäre ein großer Akku ineffektiv. Bei allen Hochvolthybridsystemen kann es dazu kommen, dass die manuelle Auswahl einzelner Fahrmodi nicht möglich ist. Aufgrund von Umgebungsbedingungen oder fahrzeugeigenen Systembedingungen verweigert das Fahrzeug die Wahl bzw. Änderung der Fahrmodi. Meist soll das Hybridsystem vor Überbelastung geschützt werden. Jedoch können auch ein zu niedriger Ladestand der Traktionsbatterie oder die notwendige Kühlung des Verbrennungsmotors Gründe für die Verweigerung der Auswahl sein. Als konkretes Beispiel ist die Motorkühlung nach vielen Anfahrversuchen mit hoher Beschleunigung zu nennen. Die Versuchsfahrzeuge starteten hierbei hybrid, d.h. es wurde sowohl der Verbrennungsmotor als auch die E-Maschine zum Anfahren genutzt. Bei diesen Versuchen kam es darauf an, die maximale Systemleistung zur Verfügung zu stellen. Dabei tourte der Verbrennungsmotor schnellstmöglich hoch und wurde zusätzlich von der E-Maschine unterstützt. Das Getriebe schaltete zudem erst bei höheren Drehzahlen in den nächsten Gang. Hält man das Fahrzeug kurz darauf wieder an, verfällt das System nicht in den Start-Stopp-Modus. Oftmals geht der Motor nach zweimaliger Wiederholung nicht aus. Durch die fehlende Abkühlung durch den Fahrtwind soll eine thermische Überlastung verhindert werden. Wird jetzt beispielsweise der reinelektrische Fahrmodus ausgewählt erscheint oft die Meldung: „gewählter Fahrmodus zurzeit leider nicht verfügbar“. Gleiches gilt für Fahrzeuge bei denen der Ladezustand der Traktionsbatterie auf einem geringen Niveau liegt oder die durch die Steuerung vorgegebene Batteriestandhaltung einen programmierten Wert unterschreitet.

4.2.4 Gesamtbetrachtung der Messungen

Die Durchführung der Messversuche mit den insgesamt 21 Fahrzeugen stellt vor allem die Individualität der auf dem Markt verfügbaren Hybridsysteme dar. Man kann die Verlustzeit eines Hybridfahrzeuges nicht pauschalisieren. Bei allen gemessenen Versuchsfahrzeugen wurden unterschiedliche Ergebnisse erzielt. Die größten Verlustzeiten wurden bei Mild-Hybridfahrzeugen ermittelt. So beträgt beispielsweise der Zeitunterschied zwischen aktiviertem und deaktiviertem Start-Stopp-System beim

Audi A4 Avant 35 TDI zwischen 0,788 s beim Anrollen, 0,468 s bei geringer Beschleunigung bzw. 0,396 s bei hoher Beschleunigung (Abbildung 35)(Tabelle 8).

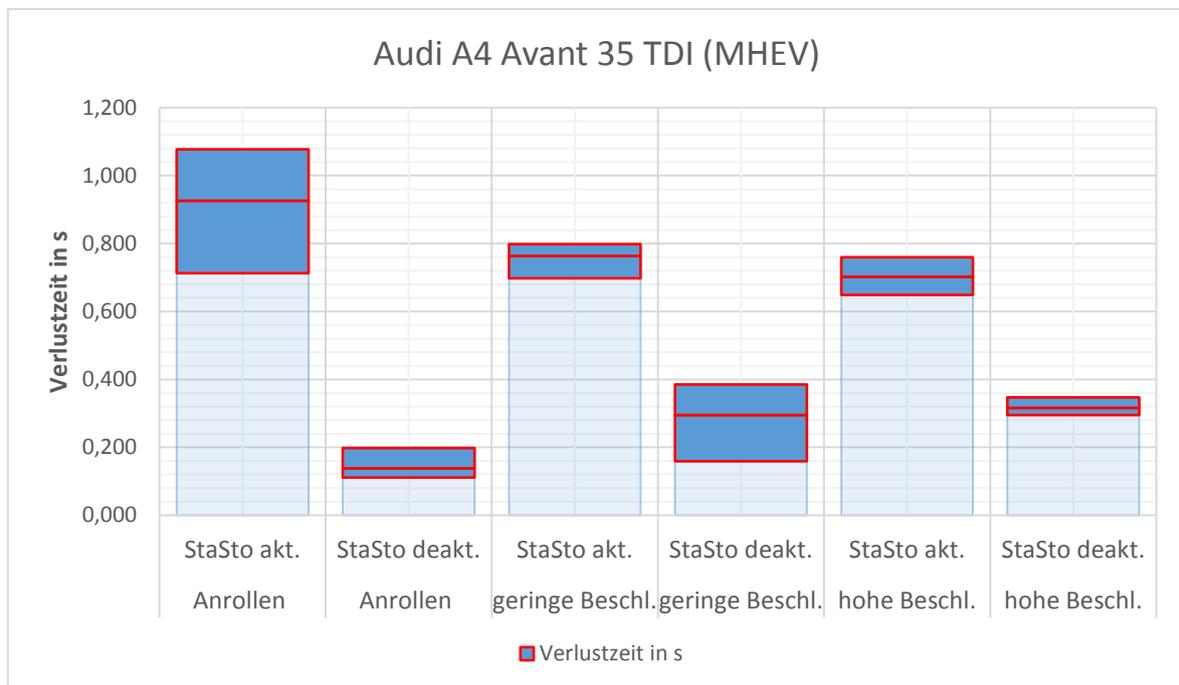


Abbildung 35 Diagramm gemittelte Verlustzeiten Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)

Tabelle 6 Gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A4 35 TDI

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s
Audi A4 AV 35 TDI (MHEV)	Anrollen	StaSto aktiviert	0,926	0,713	1,077	0,364
Audi A4 AV 35 TDI (MHEV)	Anrollen	StaSto deaktiviert	0,138	0,111	0,198	0,087
Audi A4 AV 35 TDI (MHEV)	geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,763	0,698	0,798	0,100
Audi A4 AV 35 TDI (MHEV)	geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,295	0,159	0,385	0,226
Audi A4 AV 35 TDI (MHEV)	hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,702	0,649	0,760	0,111
Audi A4 AV 35 TDI (MHEV)	hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,316	0,295	0,347	0,052

Eine genaue Aussage zur Differenzierung der Verlustzeit zwischen aktiviertem und deaktiviertem Start-Stopp-System sind nur bei den Messungen der MHEV – Fahrzeuge möglich. Da das Start-Stopp-System bei Voll- und Plug-in-Hybriden nicht manuell abschaltbar ist, kann hier keine genaue Differenzierung erfolgen.

Bei der allgemeinen Betrachtung der gemessenen Verlustzeiten lassen sich keine Rückschlüsse auf die Systemleistung des Fahrzeuges ziehen. Fahrzeuge mit einer hohen Systemleistung sind nicht zwangsläufig schneller als ein Fahrzeug mit geringerer Systemleistung. Als Beispiel ist hier der Volkswagen Touareg R (vgl. Abbildung 37, S.65) mit einer Systemleistung von 340 kW (462 PS) zu nennen. Trotz der hohen Systemleistung und permanenten Allradantrieb liegen seine Verlustzeiten im Mittel zwischen 0,509 s (Szenario: „hohe Beschleunigung“, e-Modus) und 0,646 s (Szenario: „geringe Beschleunigung“, Hybrid Sport). Der Renault Capture hingegen leistet maximal 116 kW (156 PS). Die gemessenen Verlustzeiten liegen jedoch nur zwischen 0,129 s (Szenario: „Anrollen“, EV-Pure) und 0,239 s (Szenario: „hohe Beschleunigung“, My-Sense) (Abbildung 36).

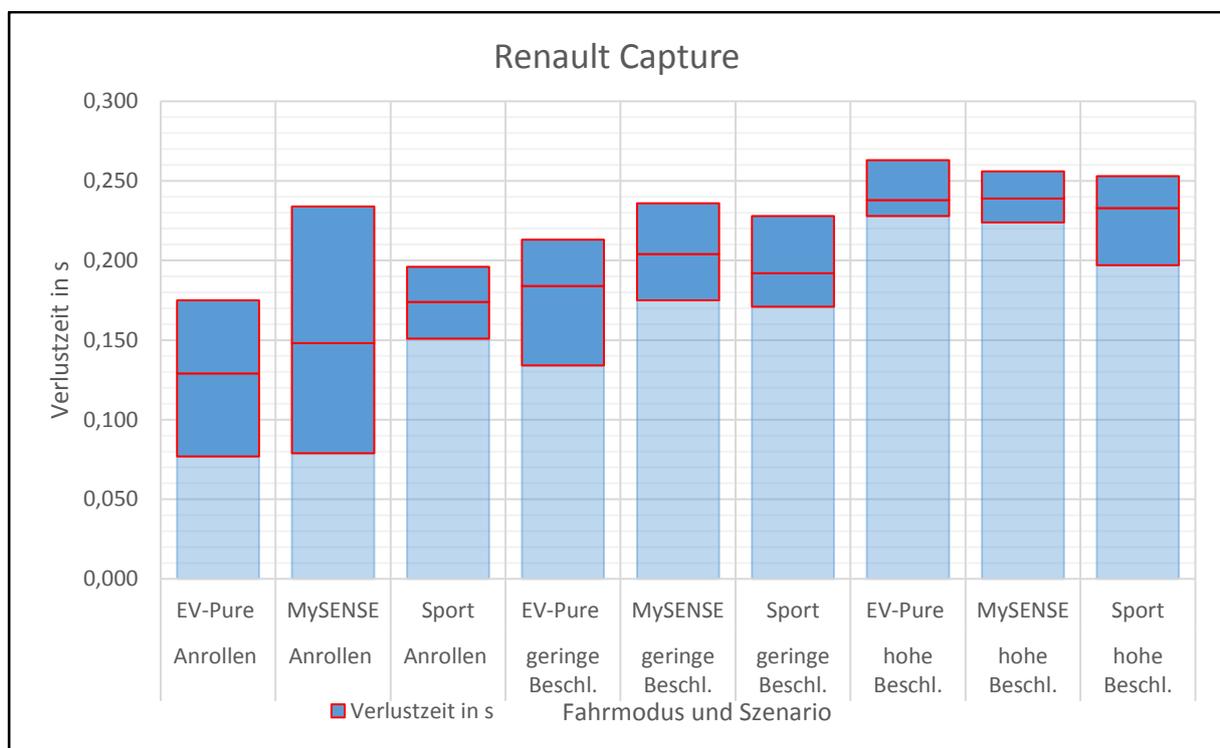


Abbildung 36 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Renault Capture

Bei der Auswertung der Testszenarien (Anrollen, geringe Beschleunigung, hohe Beschleunigung) ist ebenfalls keine besondere Schwankung der Messergebnisse zu erkennen. In der Theorie sind bei geringer Beschleunigung die höchsten Schwankungen zu erwarten gewesen. Die Schwierigkeit dieses Prüfverfahrens liegt in der Reproduzierbarkeit, da sowohl die Umsetzzeit für den Wechsel vom Brems- zum Fahrpedal als auch die Lastanforderung in diesem Versuch variieren können. Im Szenario Anrollen wurde hingegen die geringste Zeitschwankung der Einzelergebnisse erwartet, da sowohl Umsetzzeit als auch die Lastanforderung nicht relevant sind. Dennoch liegt die Varianz der Messwerte im Bereich der anderen Szenarien. Eine höhere Range der Einzelmesswerte ist besonders bei unterschiedlichen Fahrmodi im Szenario Anrollen festzustellen. Die Höhe der gemessenen Verlustzeit variierte je nach gewähltem Fahrmodus. Die größten Schwankungen wurden bei Fahrmodi festgestellt, die für eine hohe Kraftstoffeinsparung konfiguriert wurden. Dabei bleibt der errechnete Mittelwert jedoch innerhalb der üblichen Schwankung der Messwerte.

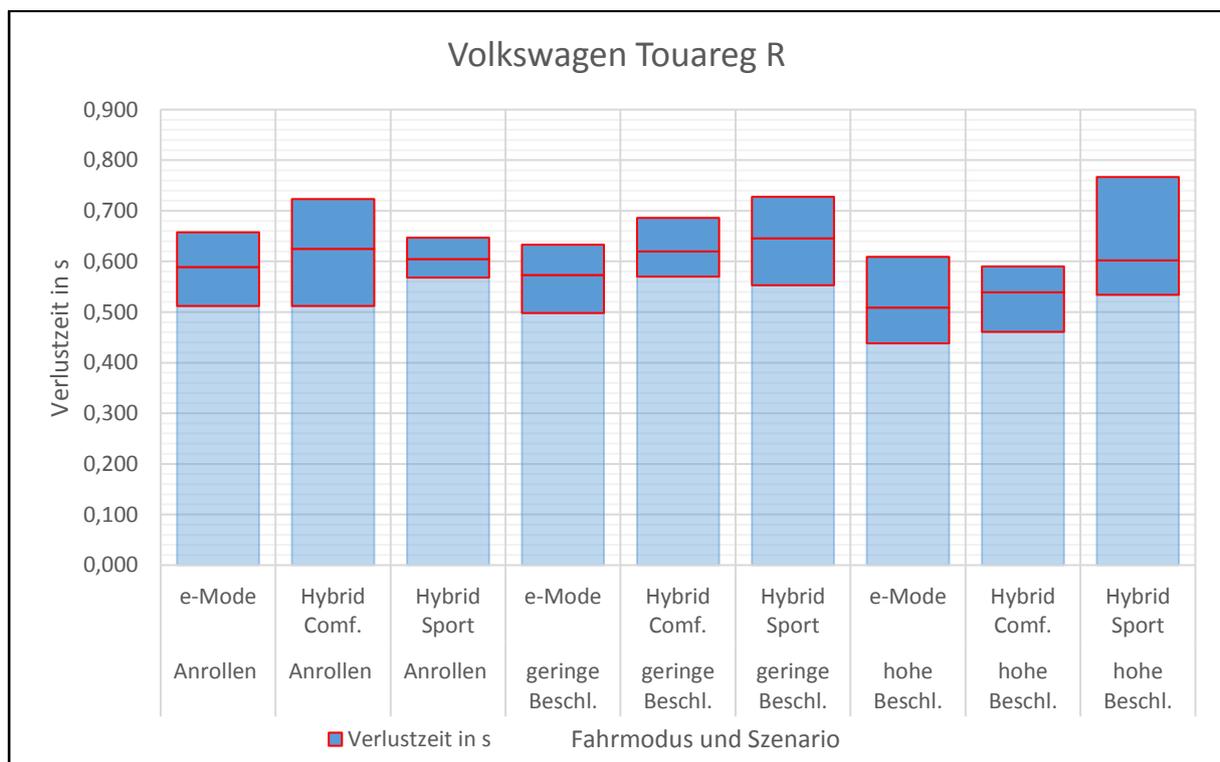


Abbildung 37 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Touareg R

4.2.5 Betrachtung der Messwerte der Mild-Hybrid-Fahrzeuge (MHEV)

Insgesamt wurden fünf Fahrzeuge mit einem Mild-Hybrid-System getestet. Von diesen Fahrzeugen gehören vier der Marke Audi an, eines der Marke Volkswagen. Jedoch gehören beide Marken zum Volkswagen Konzern. Aus diesem Grund verfügen die Testfahrzeuge Audi A3 Sportback 35 TFSI und Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI über ein identisches Antriebsaggregat sowie dem gleichen Mild-Hybridantrieb. Alle getesteten MHEV-Fahrzeuge sind mit einem Riemenstartergenerator (RSG) und einem zusätzlichen 48 V-Bordnetz ausgestattet. Bei allen Fahrzeugen war es zudem möglich, das Start-Stopp-System manuell zu deaktivieren. Aus diesem Grund können die gemessenen Verlustzeiten genau unterschieden und somit auch die Differenzzeit zwischen ein- und ausgeschaltetem System ermittelt werden. Von den Messfahrzeugen waren der Audi A6 Avant 50 TDI quattro und der Audi A4 Avant 40 TFSI zusätzlich mit einstellbaren Fahrmodi ausgestattet. Diese erlauben es, Kennfelder von Motor, Getriebe, Fahrwerk und Lenkung anzupassen. Beide Fahrzeuge wurden in den werksseitig konfigurierten Fahrmodi getestet. Hierbei fiel auf, dass die Einflüsse der Änderung des Fahrmodus nur eine geringe Auswirkung auf die Verlustzeit haben. Die größte Differenz der Verlustzeit innerhalb der Fahrmodi „auto“, „efficiency“ und „dynamic“ lag beim gemessenen Audi A4 40 TFSI bei maximal 0,076 s (Szenario Anrollen „auto“ – „dynamic“) und 0,071 s beim Audi A6 50 TDI (Szenario Anrollen „auto“ – „dynamic“). Das geringste Delta der Fahrmodi beim Audi A4 40 TFSI beträgt hingegen 0,012 s (Szenario hohe Beschleunigung „efficiency“ – „dynamic“) und beim A6 50 TDI 0,006 s (Szenario hohe Beschleunigung „auto“ – „dynamic“). Der Fahrer bemerkt den Unterschied nicht unmittelbar im Moment des sich in Bewegung setzenden Fahrzeugs, sondern erst im weiteren Verlauf der Beschleunigung. Im Fahrmodus „efficiency“ ist diese Beschleunigung geringer und in „dynamic“ höher. (siehe Anlage 3 und 4)

4.2.6 Betrachtung der Messwerte der HEV-Fahrzeuge

Alle vier gemessenen HEV-Fahrzeuge sind vom Hersteller Toyota und erzielten Verlustzeiten auf einem sehr niedrigen Niveau. Unabhängig vom angewähltem Fahrmodus und dem dargestellten Szenario, liegen die mittleren Verlustzeiten der neueren Modelle im Bereich zwischen 0,129 s (Corolla) und 0,289 s (Yaris Cross). Die

ermittelten Verlustzeiten des Toyota Prius aus dem Baujahr 2014 hingegen befinden sich durchschnittlich 0,100 s bis 0,200 s darüber. Auffällig hier ist die geringe aber konstante Erhöhung der Verlustzeit, je größer die Lastanforderung des Fahrers, also der Beschleunigungswunsch, ist. Als Beispiel ist hier der Toyota Highlander 2.5 Hybrid zu nennen. Bei diesem Fahrzeug kann der konstante Anstieg der Verlustzeit gut erkannt werden (Abbildung 38).

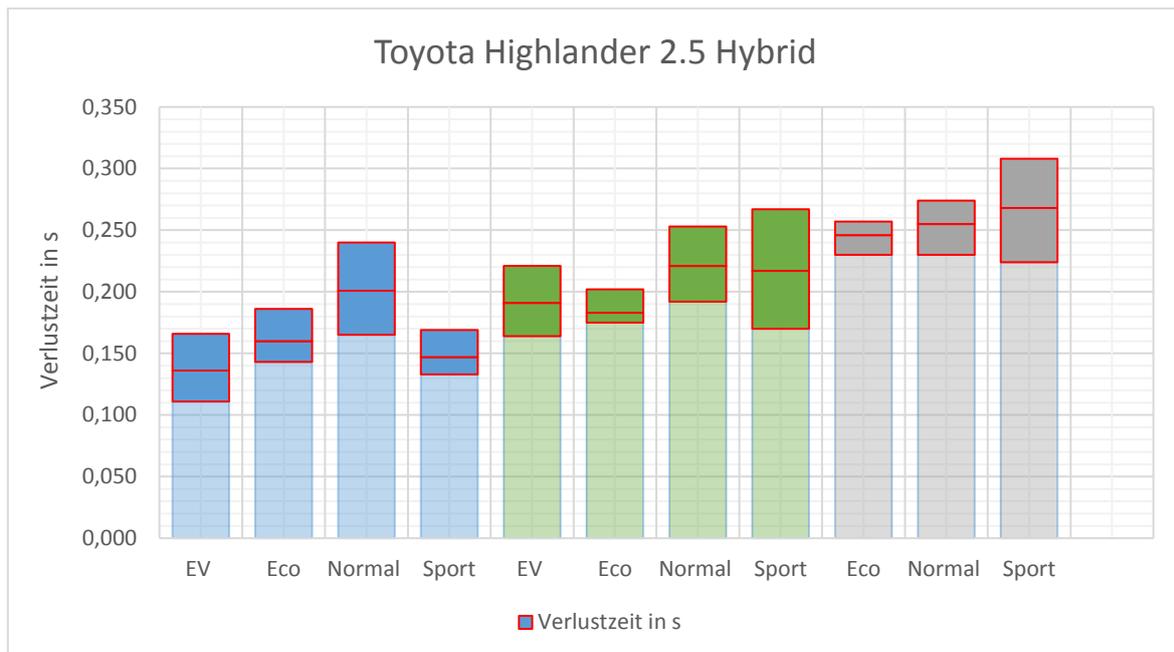


Abbildung 38 Messwertediagramm Verlustzeiten Toyota Highlander 2.5 Hybrid (Anrollen = blau; geringe Beschleunigung = grün; hohe Beschleunigung = grau)

Eine Ursache für den Zeitanstieg ist der steigende Anteil des mechanischen Kraftflusses, da der Toyota Highlander 2.5 Hybrid über einen leistungsverzweigten Hybridantrieb verfügt. Mit steigender Lastanforderung erhöht sich der Anteil, der vom Verbrennungsmotor beigesteuerten Leistung. Da dieser jedoch erst mittels der E-Maschine gestartet werden muss, entsteht ein Zeitverzug, der sich in der steigenden Verlustzeit äußert. Auffällig ist auch, dass der elektrische Fahrmodus bei diesem Modell keine hohe Beschleunigung zulässt, sondern direkt in den kombinierten Betrieb wechselt. Über das Informationsdisplay lässt sich der Kraftfluss des Fahrzeugantriebs mit leichter Verzögerung anzeigen. Im Verlauf der Messfahrten wurde festgestellt, dass der Toyota Highlander 2.5 Hybrid immer im Allradmodus anfährt. Die Besonderheit des Modells ist der elektrische Allradantrieb. Bei diesem Fahrzeug wird die Vorderachse von einem Verbrennungsmotor und einem Elektromotor gemeinsam

angetrieben, während der Antrieb der Hinterachse nur über einen kleineren Elektromotor erfolgt. Aufgrund dieser Konstellation ist es möglich, alle Räder schnell mit Drehmoment zu versorgen, was wiederum zu einer geringen Verlustzeit führt. Wie in Abbildung 39 visualisiert wird, kann der aktuelle Kraftfluss und Betriebszustand des Hybridantriebes im Infotainmentsystem angezeigt werden.



Abbildung 39 Energieflussanzeige Infotainmentsystem Toyota Highlander

Auffällig bei den vom Toyota Highlander 2.5 Hybrid gemessenen Daten ist die kleine Range, welche die größten positiven und negativen Differenzen der Einzelmesswerte zum Mittelwert darstellt. Die durchschnittliche Range beträgt, wie in der Tabelle 9 aufgezeigt wird, nur 0,055 s. Dieses Ergebnis spiegelt die gute Reproduzierbarkeit der Anfahrvorgänge und der Regelung des Fahrzeugsystems dar, welches auch für alle anderen getesteten HEV-Fahrzeuge gilt.

Tabelle 7 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Highlander

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	EV	0,136	0,111	0,166	0,055

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimal- wert in s	Maximal- wert in s	Range in s
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	Eco	0,160	0,143	0,186	0,043
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	Normal	0,201	0,165	0,240	0,075
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	Sport	0,147	0,133	0,169	0,036
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschleunigung	EV	0,191	0,164	0,221	0,057
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschleunigung	Eco	0,183	0,175	0,202	0,027
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschleunigung	Normal	0,221	0,192	0,253	0,061
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschleunigung	Sport	0,217	0,170	0,267	0,097
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	hohe Beschleunigung	Eco	0,246	0,230	0,257	0,027
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	hohe Beschleunigung	Normal	0,255	0,230	0,274	0,044
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	hohe Beschleunigung	Sport	0,268	0,224	0,308	0,084
∅						0,055

Alle getesteten Fahrzeuge, die mit einem Voll-Hybridantrieb ausgestattet sind, zeichnen sich durch eine geringe Verlustzeit aus. Ebenso sind die Unterschiede innerhalb der Messwerte sehr gering. Das hat den Vorteil, dass das Anfahrverhalten

der Fahrzeuge mit Voll-Hybridantrieb im Straßenverkehr sehr berechenbar ist. Der Fahrer wird nicht, bei unterschiedlichen Fahrmodis, durch veränderte Verlustzeiten des Systems überrascht.

4.2.7 Betrachtungen der Messwerte der PHEV-Fahrzeuge

Zwölf der einundzwanzig für diese Arbeit gemessenen Fahrzeuge sind Plug-in-Hybridmodelle. Diese Prüffahrzeuge unterscheiden sich in ihren Antriebskonzepten. Als wesentlicher Unterscheidungspunkt ist hier das Arbeitsprinzip der Verbrennungskraftmaschine (Diesel- oder Ottomotor) sowie unterschiedliche Getriebearten (Doppelkupplungsgetriebe, Wandlerautomatik, CVT-Getriebe und kupplungsloses Multi-Mode-Getriebe) zu nennen. Die Fahrzeuge verfügten, unterschiedlich, über Front-, Heck- und Allradantrieb. Bei zwei Plug-In-Hybridantrieben wird der elektrische Antrieb genutzt, um durch eine elektrisch angetriebene Achse ein Allradsystem zu erzeugen (BMW i8, Toyota RAV4). Trotz so vielen unterschiedlichen Konzepten, Karosserieformen und Fahrzeugklassen sind Gemeinsamkeiten zu finden. Beispielsweise ist der Antriebsstrang im Volkswagen Golf VIII GTE und Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid identisch. Plattformbedingt teilen sie sich den gleichen Verbrennungsmotor, die E-Maschine sowie das Doppelkupplungsgetriebe (DKG/im Volkswagenkonzern Direktschaltgetriebe-DSG). Jedoch obliegt die Abstimmung der Fahrzeuge den jeweiligen Herstellern.

Die Messdaten können aufgrund der Ähnlichkeit der beiden Fahrzeuge, sowie der Messung auf derselben Messstrecke am gleichen Tag gut miteinander verglichen werden. Sowohl im Cupra Leon VZ 1.4 e-HYBRID als auch im Volksagen Golf VIII GTE sind verschiedene Fahrmodi anwählbar. Ein rein elektrisches Fahrprogramm sowie zwei Hybridprogramme stehen zur Wahl. Der Leon Cupra VZ 1.4 e-HYBRID besitzt zusätzlich noch einen „Cupra“-Mode bei dem alle Fahrzeugsysteme auf maximale Performance eingestellt sind.

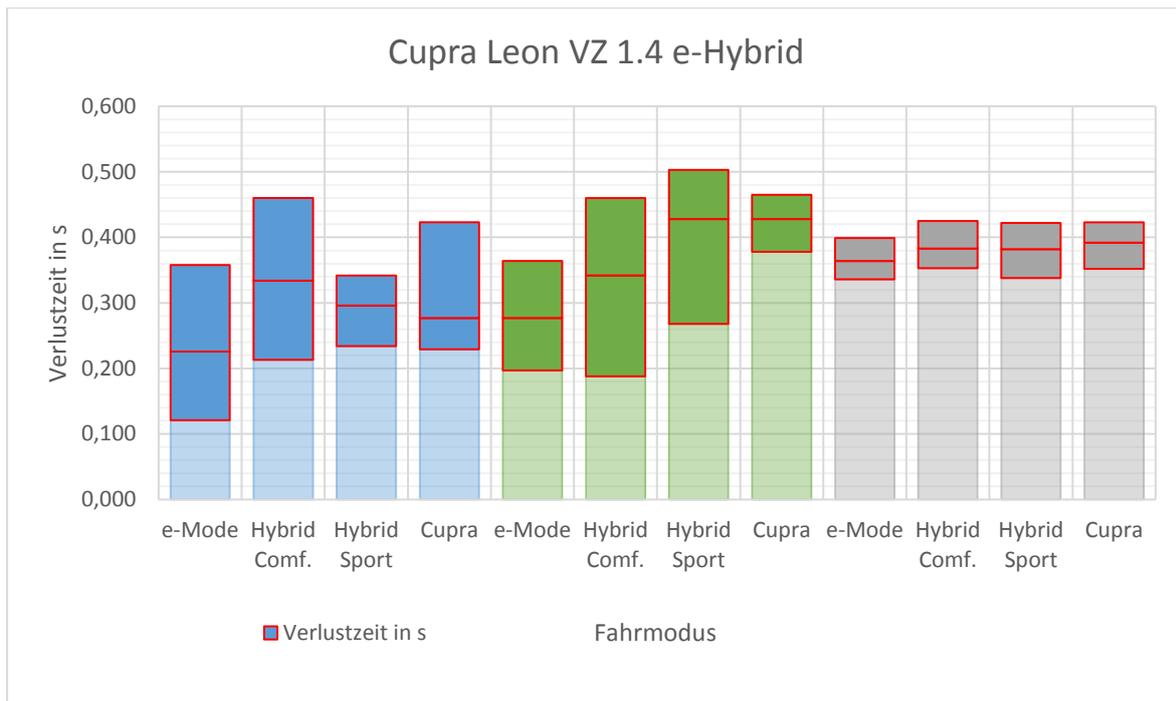


Abbildung 40 Messwertediagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid (blau = Anrollen, grün = geringe Beschleunigung, grau = hohe Beschleunigung)

Wie in Abbildung 40 und 41, sowie in Tabelle 10 dargestellt wird, liegen die mittleren Verlustzeiten der beiden Fahrzeuge auf einem ähnlichen Niveau. Die größte Verlustzeit entsteht im e-Modus der Fahrzeuge. In den anderen Fahrmodi ist die Differenzzeit innerhalb von 0,1 s. Diese Messwerte führen zu der Annahme, dass der Antriebsstrang, der in anderen Fahrzeugen eingesetzt wird, Ergebnisse innerhalb dieser Differenzzeit erreicht. Was die Ursache für großen zeitlichen Unterschied des e-Modus im Szenario Anrollen beim Volkswagen Golf VIII GTE hervorruft, darüber können nur Vermutungen angestellt werden. Denkbare Auslöser sind zum Beispiel die Applikation der Fahrzeugsysteme sowie der Softwaredatenstand, der Verschleißzustand einzelner Bauteile oder auch unterschiedliche Ausstattung der Testfahrzeuge.

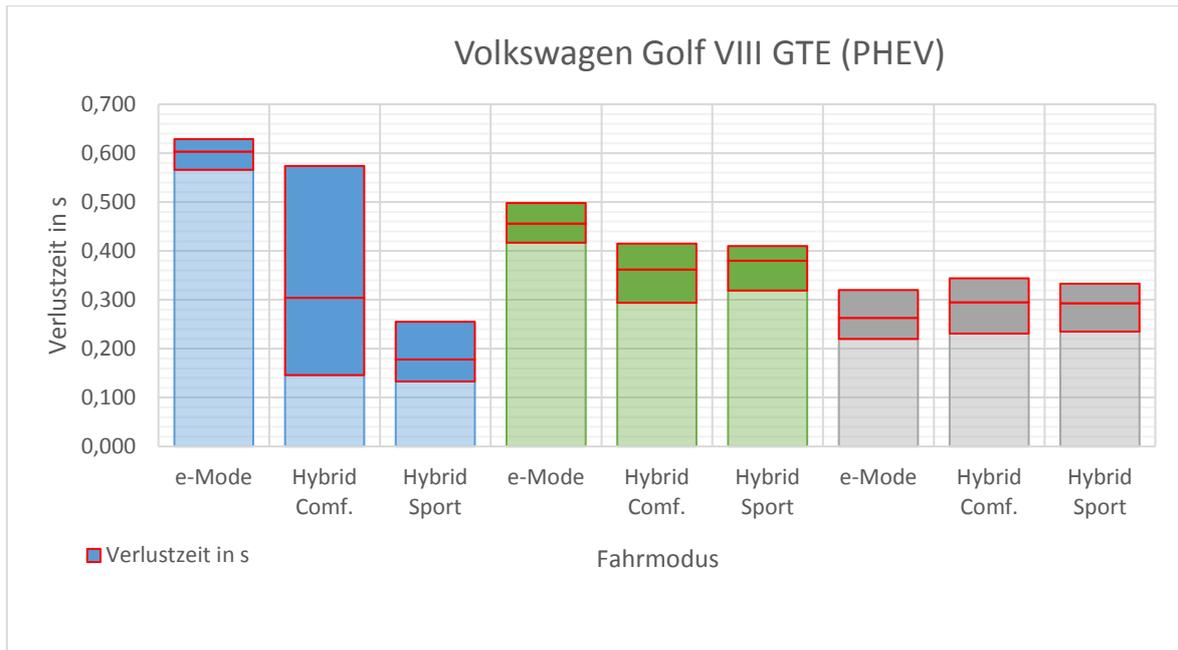


Abbildung 41 Messwertediagramm gemittelte Verlustzeiten mit Range Volkswagen Golf VIII GTE (Albertsmeyer) (blau = Anrollen, grün = geringe Beschleunigung, grau = hohe Beschleunigung)

Tabelle 8 Vergleich der gemessenen Verlustzeiten von Cupra Leon und Golf VIII GTE

Verlustzeit	Szenario	Modus	Cupra	Golf GTE	Differenzzeit in s
Verlustzeit in s	Anrollen	e-Mode	0,226	0,603	-0,377
Verlustzeit in s	Anrollen	Hybrid Comfort	0,334	0,304	0,030
Verlustzeit in s	Anrollen	Hybrid Sport	0,296	0,178	0,118
Verlustzeit in s	Anrollen	Cupra	0,277	-	-
Verlustzeit in s	geringe Beschleunigung	e-Mode	0,277	0,456	-0,179
Verlustzeit in s	geringe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,342	0,362	-0,020
Verlustzeit in s	geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,428	0,380	0,048

Verlustzeit	Szenario	Modus	Cupra	Golf GTE	Differenzzeit in s
Verlustzeit in s	geringe Beschleunigung	Cupra	0,428	-	-
Verlustzeit in s	hohe Beschleunigung	e-Mode	0,364	0,263	0,101
Verlustzeit in s	hohe Beschleunigung	Hybrid Comfort	0,383	0,295	0,088
Verlustzeit in s	hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	0,382	0,293	0,089
Verlustzeit in s	hohe Beschleunigung	Cupra	0,392	-	-

Tendenziell liefert der Cupra Leon VZ 1.4 e-HYBRID im „Cupra“-Modus die größten Verlustzeiten. Auffällig ist hier, dass die größte Verlustzeit im Szenario der „geringen Beschleunigung“ erreicht wird. Ein Grund dafür kann die etwas höhere Umsetzzeit sein. Ein weiteres auffälliges Merkmal ist der leichte Anstieg der Verlustzeit, je höher die Lastanforderung ist. Vom Szenario „Anrollen“ bis zum Szenario „hohe Beschleunigung“ steigen die Werte durchschnittlich um fast 0,1 s an (Anrollen $\bar{\varnothing}$ = 0,283 s, hohe Beschleunigung $\bar{\varnothing}$ = 0,380 s). Der Volkswagen Golf VIII GTE hingegen weist eine leicht sinkende durchschnittliche Verlustzeit durch das Start-Stopp-System von 0,079 s auf (Anrollen $\bar{\varnothing}$ = 0,363 s, hohe Beschleunigung $\bar{\varnothing}$ = 0,284).

4.2.8 Einfluss des Anfahrscenarios auf die Verlustzeit

Einer der wichtigsten Einflussfaktoren bleibt die Art und Weise des Anfahrvorgangs. Hierbei nimmt der Führer des Fahrzeugs die entscheidende Rolle ein. Sein aktives Handeln beeinflusst das Anfahrverhalten des Fahrzeugs signifikant. Die Prozedur wird je nach Eingabe durch den hinterlegten Datensatz gesteuert. Das System entscheidet auch, ob rein elektrisch oder hybrid angefahren wird (gilt nur für HEV- und PHEV-Fahrzeuge). Die Umsetzung ist bei jedem Fahrzeug entsprechend der Umgebungsbedingungen unterschiedlich. Eines eint jedoch alle Fahrzeuge. Wird das

Fahrpedal maximal durchgetreten (Kickdown Funktion), heißt das für das Fahrzeug maximale Beschleunigung. Dann wird der E-Motor als Booster eingesetzt, um das Beschleunigungsverhalten des Verbrennungsmotors zu unterstützen. Nicht immer resultiert die „sportlichste Eingabe“ des Fahrers in der geringsten Verlustzeit. Das kann daran liegen, dass versucht wird, möglichst schnell viel Motorleistung und Motordrehmoment zur Verfügung zu stellen. Der Schwerpunkt liegt auf der Beschleunigung, die über den Stand hinausgeht. Hierdurch entstehen die größeren Verlustzeiten, welche bei den Testversuchen im Bereich von 0,050 – 0,150 s liegen.

4.2.9 Vergleich der Messwerte mit bereits durchgeführten Messungen

In den bereits vorgestellten Arbeiten von WERNER und OPELT wurden Messwerte von Verlustzeiten bei Start-Stopp-Systemen ermittelt (Tabelle 11, S.74). In der Arbeit von OPELT wurde zudem auch die Verlustzeit eines Hybridfahrzeugs gemessen. Die in dieser Arbeit erfassten Verlustzeiten lassen sich jedoch nur bedingt mit denen der vorangegangenen Arbeiten vergleichen. Grund hierfür ist die Differenzierung der Abschaltung des Start-Stopp-Systems. Bei HEV- und PHEV-Fahrzeugen konnten nur die Verlustzeiten ermittelt werden, ohne genau definieren zu können, wie das Fahrzeug angefahren ist (elektrisch, verbrennungsmotorisch oder kombiniert). Dieses Problem zeigte sich bereits bei den Messungen durch OPELT (Subaru XV 2.0 e-Boxer). Hierbei konnte keine Verlustzeit durch das Deaktivieren des Systems ermittelt werden. Jedoch lassen sich die Messungen der Mild-Hybrid-Fahrzeuge vergleichen, da hier eine direkte Abschaltung der Start-Stopp-Automatik möglich ist. Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Verlustzeiten für die Mild-Hybrid-Systeme liegen im Bereich der Messwerte von WERNER und OPELT. Folglich ist keine Verringerung der Verlustzeit von Start-Stopp Systemen in Bezug auf die Mild-Hybridisierung zu erkennen. Somit ist eine allgemeine Differenzierung für die Unfallrekonstruktion, zumindest bei MHEV-Fahrzeugen nicht notwendig. Es sollte jedoch immer betrachtet werden, ob das System aktiviert oder deaktiviert war. Die Auswirkungen der Differenzzeit werden erst durch eine Simulation bezogen auf die Unfallrekonstruktion sichtbar.

Tabelle 9 Vergleich der ermittelten Differenzzeiten mit den Ergebnissen vom WERNER und OPELT

Messungen durch	Fahrzeug	Verlustzeit mit aktiviertem Start-Stopp-System in s	Verlustzeit mit deaktiviertem Start-Stopp-System in s	Differenzzeit in s
Werner	Audi A1 1.4 TFSI	0,790	0,490	0,300
	Audi A3 Cabriolet 1.4 TFSI	0,570	0,220	0,350
	Audi A6 Avant 3.0 TDI	0,500	0,150	0,350
	Audi A7 50 TDI	0,510	0,190	0,320
	Audi Q7 3.0 TDI	0,510	0,230	0,280
	Ford Kuga 2.0 TDCi	0,510	0,210	0,300
	Porsche 718 Boxster	0,700	0,250	0,450
	Skoda Kodiaq 2.0 TDI	0,520	0,160	0,360
Opelt	Subaru XV 2.0i	0,357	0,240	0,117
	Subaru XV 2.0 e-Boxer	0,522	-	-
	Subaru Impreza 2.0i	0,363	0,274	0,089
	Subaru Levorg 2.0i	0,675	0,251	0,424
Mesée	Audi A3 SB 35 TFSI	0,550	0,267	0,283
	Audi A4 Avant 35 TDI	0,702	0,316	0,386
	Audi A4 Avant 40 TFSI	0,676	0,353	0,323
	Audi A6 Avant 50 TDI q.	0,592	0,144	0,448
	VW Golf VIII 1.5 eTSI	0,361	0,353	0,008

(Hinweis: bei Mesée alle Fahrzeuge hohe Beschleunigung Fahrmodus „auto“)

4.3 Fallbeispiel der Unfallrekonstruktion

4.3.1 Einfluss der Verlustzeit im Straßenverkehr und Rekonstruktion eines Verkehrsunfalls

Im Straßenverkehr spielen Achtsamkeit der Fahrzeugführer und Funktionsfähigkeit der Fahrzeuge eine wichtige Rolle. Um einen reibungslosen Verkehrsfluss zu ermöglichen, müssen beide Kriterien erfüllt sein. Ist dieses nicht der Fall, kann es zu Verkehrsunfällen kommen. Vor allem die Unachtsamkeit der Verkehrsteilnehmer durch Ablenkung nimmt laut Fahreignungsregister (FAER-Grundstatistik) zu. (14) Trotz der ständigen Erweiterung an Assistenztechnik wie z.B. Notbremsassistent, Spurhalteassistent, Totwinkelwarner, Müdigkeitswarner, Antiblockiersystem (ABS), Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) und Automatischer Abstandsregelung (ACC) verringern sich die Unfallzahlen nur gering. Auch der Gesetzgeber hat dies

erkannt. Deshalb sind im Jahr 2022 viele der genannten Systeme bereits bei Neuzulassungen vorgeschrieben und somit serienmäßig im Fahrzeug integriert. Hierbei hat sich die Schwere der Unfälle durch Assistenz- und Sicherheitssysteme sowie die gestiegene Fahrzeugsicherheit minimiert. Im Jahr 2020 ereigneten sich laut dem Statistischen Bundesamt in Deutschland 2.245.245 polizeilich erfasste Verkehrsunfälle. 73,3 % der Verkehrsunfälle fanden innerorts, d.h. im angenommenen Geschwindigkeitsbereich unterhalb von 50 km/h statt (15). Im Folgenden wird nun mittels einer Simulation die Auswirkung der Verlustzeit auf ein Verkehrsszenario untersucht. Mit Hilfe des Simulationsprogramms PC Crash wird eine innerstädtische Verkehrssituation simuliert ($v \leq 50$ km/h).

4.3.1.1 Versuchsaufbau

Der Ort des Geschehens ist die Ausfahrt der HEM Tankstelle in der Reichenbacher Straße 142a (B173) in 08056 Zwickau. Ein Fahrzeug fährt die B173 in Richtung des Flugplatzes, während ein zweites Fahrzeug auf die B173, fahrspurquerend nach links aus der Ausfahrt der HEM Tankstelle auffährt. Für die Simulation muss eine genaue Differenzierung der Verlustzeit des Start-Stopp-Systems möglich sein. Aus diesem Grund kommen nur Fahrzeuge mit abschaltbaren Start-Stopp-System in Frage. Von den für die zur Untersuchung stehenden fünf Mild-Hybrid-Fahrzeuge wurde nun das Fahrzeug mit der größten Differenzzeit zwischen aktivierten und deaktivierten Start-Stopp-System bei hoher Beschleunigung ausgewählt. Die Auswertung ergab, dass der Audi A6 Avant 50 TDI quattro mit einer Differenzzeit von 0,448 s die größte Verlustzeit aufweist. (Tabelle 12)

Tabelle 10 Tabelle X Verlust- und Differenzzeiten der gemessenen MHEV-Fahrzeuge zur Ermittlung der größten Differenzzeit (rot)

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Differenzzeit in s
Audi A3 Sportback 35 TFSI	hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,550	0,314
Audi A3 Sportback 35 TFSI	hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,236	
Audi A4 Avant 35 TDI	hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,702	0,386

Audi A4 Avant 35 TDI	hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,316	
Audi A4 Avant 40 TFSI	hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,676	0,323
Audi A4 Avant 40 TFSI	hohe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,353	
Audi A6 Avant 50 TDI quattro	hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,592	0,448
Audi A6 Avant 50 TDI quattro	hohe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,144	
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI	hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiviert	0,361	0,008
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI	hohe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,353	

4.3.1.2 Simulation

Um mögliche Auswirkungen der Verlustzeit darstellen zu können, muss eine Verkehrssituation simuliert werden. Eine gute Möglichkeit dieser Darstellung lässt sich mittels Softwareprogramm PC-Crash der Firma DSD Dr. Steffan Datentechnik aus Linz erzeugen. Mit Hilfe des Programms lassen sich auch komplexe Abläufe alltäglicher Verkehrssituationen darstellen, ebenso Unfallszenarien. Das Programm stellt ein wichtiges Hilfsmittel in der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen dar. So können auch Verläufe des Unfallgeschehens und Vermeidbarkeitsbetrachtungen durchgeführt werden. Für die hier genutzte Simulation wird Kartenmaterial der ausgewählten Örtlichkeit aus Google Earth eingeladen. Im Anschluss erfolgt die Auswahl der Fahrzeuge und ihrer Startpositionen. Bei den Fahrzeugen können aus einer Datenbank vorhandene Fahrzeugmodelle eingeladen werden. Diese simulieren dann die erforderlichen Eigenschaften der realen Fahrzeuge. Vor allem die Fahrzeugabmessungen, die Fahrzeugmasse und die Schwerpunktlage spielen eine wichtige Rolle bei der Simulation. Zudem enthalten die Daten auch DXF-Modelle

(Drawing Interchange File Format-Modelle) der Fahrzeuge, wodurch die Simulation zur Veranschaulichung in 2D und 3D Darstellungen angezeigt werden kann. Im Anschluss erfolgt die Einstellung der Parameter der Fahrzeuge. Hier wird definiert, zu welchem Zeitpunkt welches Fahrzeug eine Aktion (Bewegung, Reaktion) ausführt. Dadurch wird in diesem Fall ein Unfallhergang simuliert.

In der ersten Simulation wird ein ausgeschaltetes Start-Stopp-System dargestellt. Um möglichst viele Einflussfaktoren auszuschließen, wird nur mit der Differenz der Verlustzeit simuliert. Somit entfallen Einflussfaktoren wie z.B. die Reaktionszeit des Fahrers. Zudem entstehen in jedem Fahrzeug beim Anfahren Verlustzeiten, ehe sich das Fahrzeug in Bewegung setzt. Entscheidend ist für die Simulation nur die Verlängerung der Verlustzeit durch das Start-Stopp-System. In der ersten Simulation, mit deaktiviertem Start-Stopp-System, setzt sich der Audi A6 Avant 50 TDI quattro unverzüglich in Bewegung. In der zweiten Simulation hingegen, mit aktiviertem Start-Stopp-System, erst mit einer Verzögerung von 0,448 s (Differenzzeit). Die Beschleunigung des Audi A6 50 TDI quattro erfolgt nach einer geringen Schwellzeit mit konstanten 3 m/s^2 in beiden Betrachtungen. Die Schwellzeit kennzeichnet einen Beschleunigungsaufbau bis hin zu der angenommenen Beschleunigung. Auch der Lenkradeinschlag bleibt während der Beschleunigung konstant. Fahrzeug zwei (Subaru Legacy) nähert sich unterdessen aus 34 m Entfernung mit gleichbleibenden 50 km/h ($13,89 \text{ m/s}$). Die Entfernung wurde gewählt, da sich das Fahrzeug auf Höhe der Preistafel der Tankstelle befindet. Somit ist es gut sichtbar und in abschätzbarer Entfernung und für den Fahrer des Audi A6 Avant 50 TDI quattro.

In der ersten Simulation ohne Verlustzeit kommt es nicht zum Kontakt beider Fahrzeuge. Der Subaru kann seine Fahrt ungehindert fortsetzen. Auch der Audi kann problemlos abbiegen. Auf Abbildung 42 sind die Anfangs- und Endpositionen beider Fahrzeuge dargestellt. Es ist gut zu erkennen, wie groß der Unterschied der zurückgelegten Wege innerhalb der gleichen Zeit ist. Der Audi legt während der Beschleunigung nicht einmal die Hälfte des Weges zurück, wie der konstant fahrende Subaru. Auch der Abstand der Endlagen lässt erkennen, wie gering die Distanz beider Fahrzeuge zueinander ist.



Abbildung 42 Simulation ohne Verlustzeit des Start-Stopp-Systems

Die zweite Simulation stellt das Szenario mit der Verlustzeit durch das Start-Stopp-System dar. Die Ausgangsposition der Fahrzeuge ist identisch zur ersten Simulation. Das rote Fahrzeug (Subaru Legacy) nähert sich aus 34 m Entfernung mit konstanten 50 km/h. Der Audi A6 Avant 50 TDI quattro setzt sich erst nach der Verlustzeit von 0,448 s in Bewegung. Auch hier ist die Startposition identisch zur ersten Simulation. Durch die Verlustzeit des Start-Stopp-Systems kommt es in diesem Szenario zur Kollision. Der Subaru Legacy fährt, wenn unterstellt wird dass der Fahrer nicht reagiert, ungebremst in die linke Seite des Audi A6 Avant 50 TDI quattro. Er trifft den hier blau dargestellten Audi A6 Avant 50 TDI quattro in Höhe der hinteren Tür, kurz hinter der B-Säule. Durch den Zusammenstoß ändern beide Fahrzeuge die Richtung. Der Audi wird gedreht und kommt schräg, entgegen der Fahrtrichtung auf der zweiten Spur zum Stehen. Der Aufprall erfolgt nicht im 90° Winkel (seitlich), sondern leicht schräg, da der Audi A6 bereits den Abbiegevorgang eingeleitet hat. Der Subaru wird daher ebenfalls schräg in Richtung der Gegenfahrbahn abgelenkt. (Abbildung 43)



Abbildung 43 Simulation mit Verlustzeit des aktivierten Start-Stopp-Systems

4.3.1.3 Folgen der Verlustzeiten

Die Ergebnisse der Simulation zeigen einen deutlichen Einfluss der Verlustzeit auf das Verkehrsgeschehen. Für den gewählten Versuch wurde das Fahrzeug mit der größten Verlustzeit ausgewählt. Folglich würden sich alle weiteren getesteten Fahrzeuge mit einer geringeren Verlustzeit weiter vom Punkt des Zusammenstoßes entfernen. Der Kontakt verlagert sich bei geringeren Verlustzeiten immer weiter in den Heckbereich von Fahrzeug eins (blau). Somit kann unterstellt werden, dass sich die Schwere des Unfalls für die Fahrzeuginsassen durch die zu erwartende niedrigere Aufprallenergie verringert. Im Idealfall verfehlt der Subaru das Fahrzeug eins knapp. Auch die Chance der Vermeidung durch eine geringe Ausweichbewegung des zweiten Fahrzeugs erhöht sich durch eine geringere Verlustzeit.

Simulationsdaten, sowie eine Videoanimation des Unfallgeschehens sind auf dem Datenträger einsehbar.

5 Zusammenfassung

Sowohl die Messergebnisse als auch die Simulationen zeigen, dass die Einsparung von Kraftstoff und Emissionen durch das Start-Stopp-Systems nur in Verbindung mit einer höheren Verlustzeit erreicht werden. Das gilt vor allem für Fahrzeuge, die mit einem Mild-Hybrid-System ausgestattet sind. Es erhöht zwar die Leistung des Gesamtsystems, kann aber die durch den Motoranlass- und Anfahrvorgang entstehende Verlustzeit bei den geprüften Fahrzeugen nicht signifikant ausgleichen. Grund hierfür ist der Kraftfluss, der analog zum nicht hybridisierten Antriebsstrang vollzogen werden muss. Der Startvorgang ist durch stärkerer Startergeneratoren optimiert, jedoch ist der Anfahrvorgang identisch. Bei Fahrzeuge mit einem höheren Hybridisierungsgrad sind geringere Verlustzeiten zu messen. Im Gegensatz zu geringer hybridisierten Systemen kann die Abschaltung des Systems nur bedingt manuell erfolgen, da die Start-Stopp-Automatik fester Bestandteil der Regelung des Hybridsystems ist. Der Anfahrvorgang bei PHEV- und HEV-Fahrzeugen wird von der E-Maschine begonnen. Die weitere Gestaltung ist hersteller- und systemabhängig. Die wichtigsten Faktoren bleiben somit die Positionierung des antreibenden Elektromotors im Antriebsstrang sowie die Getriebeart. Die Messungen haben gezeigt, dass Fahrzeuge mit einem CVT-Getriebe die geringsten Verlustzeiten aufweisen. Testwagen, die über eine Wandlerautomatik oder ein Doppelkupplungsgetriebe verfügten, erzielten Zeitverluste, die 0,1 s - 0,45 s über den Zeiten der Fahrzeuge mit CVT-Getriebe lagen. In der Schlussfolgerung können die Verlustzeiten nur über eine Elektrifizierung der Achsen, durch radnahe oder Radnabenelektromotoren weiter minimiert werden. Diese Maßnahme würde zu einer direkten Kraftübertragung auf die Räder führen, wodurch nur die Anfahrwiderstände überwunden werden müssen.

Bei der Rekonstruktion von Verkehrsunfällen muss die Verlustzeit zwingend berücksichtigt werden. Wie die Simulation zeigt, reichen bereits geringe Verlustzeiten aus, um die Verkehrssituation und den Unfallausgang zu verändern. Fraglich ist ob die Kraftstoffersparnis und die Minimierung des Emissionsausstoßes, die höhere Verlustzeit durch die Start-Stopp-Einrichtung Sinn ergeben. Diese Untersuchung kann nur in der Auswertung eines direkten Anwendungsfalls diagnostiziert werden. Hilfreich bei dem Problem der Verlustzeit könnte in Zukunft die Fahrzeugkommunikation mit der Umgebung sein. Durch das sogenannte Car-to-X kommunizieren Fahrzeuge mit ihrer

Umgebung und anderen Verkehrsteilnehmer in Echtzeit. Das Fahrzeug könnte somit das Verkehrsgeschehen analysieren und den Verbrennungsmotor in kritischen Bereichen automatisch starten. Aufgrund der Vielzahl von Fahrzeugen mit Start-Stopp-System und der steigenden Anzahl an Fahrzeugen mit hybriden Antriebssträngen wird die Erfassung durch einzelne Personen und Messungen als unzureichend angesehen. Vorteilhaft wäre hierbei eine herstellergestützte Datenbank. Bei der Verkehrsunfallrekonstruktion könnten diese Daten einfacher zur Analyse verwendet werden. Nach heutigem Stand ist es notwendig, ein Vergleichsfahrzeug zu messen, um relevante Verlustzeitdaten in die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen einbeziehen zu können.

6 Verzeichnis der Quellen

6.1 Literatur

1. **Thiebes, Phillip, Geimer, Marcus und Gregor, Jansen.** Hybridantriebe für mobile Arbeitsmaschinen. *Hybridantriebe abseits der Straße - Methodisches Vorgehen zur Bestimmung von Effizienzsteigerungspotenzialen.* s.l.: Lehrstuhl für Mobile Arbeitsmaschinen Universität Karlsruhe (TH).
2. **Opelt, Toni.** Diplomarbeit. *Untersuchungen von systembedingten Verlustzeiten von Start-Stopp-Systemen und deren Auswirkungen auf die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen.* 2019.
3. **Europäische Union.** Verordnung (EG) Nr. 443/2009 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES. *Festsetzung von Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen im Rahmen des Gesamtkonzepts der Gemeinschaft zur Verringerung der CO₂-Emissionen von Personenkraftwagen und leichten Nutzfahrzeugen.* März 2009.
4. **Duden.** Duden. *Rechtschreibung Hybrid.* [Online] [Zitat vom: 7. 11 2021.] <https://www.duden.de/rechtschreibung/Hybrid>.
5. **Reif, Noreikat, Borgeest.** *Kraftfahrzeughybridantriebe.* ATM/MTZ Fachbuch. Wiesbaden : Springer Verlag, 2012.
6. **Hofmann, Peter.** Hybridfahrzeuge. *Definition und Klassifizierung der Hybridkonzepte.* Wien : Springer Vienna, 2014. 2.
7. —. Definition und Klassifizierung von Hybridkonzepten. [Buchverf.] Hofmann. *Hybridfahrzeuge.* 2014, S. 40.
8. **Schröder, Christoph und Stuffer, Andreas.** www.schaeffler-events.com. *Mild-Hybridisierung; P0-Mild-Hybrid Mit Systemeffizienz zu maximaler Effizienz.* [Online] [Zitat vom: 15. 12 2021.] <https://schaeffler-events.com/kolloquium/lecture/h2/index.html>.

9. **Audi AG**. Selbststudienprogramm 627. *Der Audi A3 e-tron*. Ingolstadt : Audi AG, 2014. 627.

10. **Volkswagen AG** . Selbststudienprogramm 426 (SSP). *Die Start-Stopp-Anlage 2009*. Wolfsburg : s.n., 2008. 426.

11. **Opelt, Toni**. Diplomarbeit. *Untersuchungen zu systembedingten Verlutzeiten von Start-Stopp-Systemen und deren Auswirkungen auf die Rekonstruktion von Verkehrsunfällen*. 2019. S. 14-15.

12. **Werner, Robert**. Studienarbeit . *Bestimmung des Zeitverzuges für Beschleunigungsvorgänge durch Start-Stopp-Funktionen*. 2017.

13. **DSD - Dr. Steffan Datentechnik Linz Austria. Pic DAQ5**. [Online] [Zitat vom: 16. 10 2021.] http://www.dsd.at/index.php?option=com_content&view=article&id=327:pic-daq-deutsch&catid=53&Itemid=175&lang=de.

14. **Kraftfahrtbundesamt (KBA). KBA. Fahreignungsregister**. [Online] [Zitat vom: 22. 12 2022.] https://www.kba.de/DE/Themen/ZentraleRegister/FAER/faer_node.html.

6.2 Bildquellen

Abbildung 1	https://files.porsche.com/filestore/image/multimedia/none/sempervividus-xle/normal/85c406d4-3225-11e6-9225-0019999cd470/porsche-normal.jpg
Abbildung 2	Auszug aus VO (EG) 443_2009 Artikel 9 Absatz b Berechnungsgrundlage

Abbildung 3	HOFMANN (2014). Kapitel 2 Definition und Klassifizierung von Hybridantrieben; In: Hybridfahrzeuge, Springer Vienna (Wien); S. 24 Abb. 2.1 (6)
Abbildung 4	SAENGER-ZETINA, WAGNER (2012). 2.3 Leistungsverzweigte Hybride; In: Kraftfahrzeuge Hybridantriebe, Springer Vieweg (Wiesbaden); S28 . Abb.2.19 (5)
Abbildung 5	HOFMANN (2014). Kapitel 2 Definition und Klassifizierung von Hybridantrieben; In: Hybridfahrzeuge, Springer Vienna (Wien); S. 30 Abb. 2.4 (6)
Abbildung 6	SAENGER-ZETINA, WAGNER (2012). 2.3 Leistungsverzweigte Hybride; In: Kraftfahrzeuge Hybridantriebe, Springer Vieweg (Wiesbaden); S. 42. Abb. 2.3.1 (6)
Abbildung 7	HOFMANN (2014). Kapitel 2 Definition und Klassifizierung von Hybridantrieben; In: Hybridfahrzeuge, Springer Vienna (Wien); S. 39 Abb. 2.11 (6)
Abbildung 8	HOFMANN (2014). Kapitel 2 Definition und Klassifizierung von Hybridantrieben; In: Hybridfahrzeuge, Springer Vienna (Wien); S. 40 Abb. 2.14 (6)
Abbildung 9	https://images.prismic.io/shacarlacca/ZTJiYWRkZjAtNjNkMy00NjBmLWFiZmUtOGVhNjdhNTk2OGQx__10.jpg?auto=compress%2Cformat&rect=0%2C0%2C1600%2C900&w=1200&h=1200

Abbildung 10	https://audimediacenter-a.akamaihd.net/system/production/media/90690/images/ee68079b80a9ddee6bd547dd85a34c462f577b2c/A202018_overfull.jpg?1583845518
Abbildung 11	https://schaeffler-events.com/kolloquium/lecture/h2/images/h2_v05_01_de.jpg?crc=4043102480 (8)
Abbildung 12	https://audimediacenter-a.akamaihd.net/system/production/media/77703/images/5fbb11a57dbbf124c1e951effbc77e3e03acdf4/A195618_overfull.jpg?1582517634
Abbildung 13	Audi AG Selbststudienprogramm (SSP) 627, Audi A3 Sportback e-tron; S.10, Bildnr.: 627_093
Abbildung 14	https://www.audi-mediacenter.com/de/suche?type=image&query=A206565&order=relevance&filter=
Abbildung 15	https://www.gm-volt.com/attachments/slide31-jpg.164350/
Abbildung 16	https://www.gm-volt.com/attachments/slide21-jpg.168446/
Abbildung 17, 18	Volkswagen Selbststudienprogramm (SSP) 426, Die Start-Stopp-Anlage 2009 <i>Konstruktion und Funktion</i> : S.14, Bildnr.: S426_036
Abbildung 19-38	Bilder des Autors

Abbildung 39	https://t1-cms.images.toyota-europe.com/toyotaone/dede/hybrid_monitor_1600x600_tcm-17-2040287.jpg
Abbildung 40-105	Bilder des Autors

7 Anlagen

Anlage 1 Audi A3 Sportback 35 TFSI

Tabelle 11 Umgebungsbedingungen Messung Audi A3 SB 35 TFSI

Testtag/Ort:	15.09.2021	Leinefelde
Wetter:	bewölkt	21°C
Asphalt:	trocken	15°C
Wind:	5 km/h	NNW
Km-Stand:		21300
Hybridisierungsgrad:	MHEV	



Abbildung 44 Audi A3 Sportback 35 TFSI
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 45 Audi A3 Sportback 35 TFSI
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 12 Fahrzeugdatenblatt Audi A3 Sportback 35 TFSI

Hybridisierungsgrad	MHEV mit 48 V Bordnetz und Riemenstartergenerator
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1498 cm ³ / 4
Leistung	110 kW / (150 PS)
max. Drehmoment	250 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	7-Gang Doppelkupplungsgetriebe (S tronic) / Vorderradantrieb
Leermasse	1395 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Nexen NFERA Sport 225/45 R17 91Y
Erstzulassung	31.08.2020
Länge / Breite / Höhe	4343 mm / 1816 mm / 1449 mm
Kilometerstand	21287 km

Tabelle 13 Einzelmesswerte Audi A3 SB 35 TFSI

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Messdatei
anrollen	StaSto aktiviert	1	0,311	1,107-1,418	Test001
anrollen	StaSto aktiviert	2	0,298	3,028-3,326	Test002
anrollen	StaSto aktiviert	3	0,394	1,459-1,853	Test003
anrollen	StaSto aktiviert	4	0,247	1,033-1,280	Test004
anrollen	StaSto aktiviert	5	0,420	1,217-1,637	Test005
anrollen	StaSto deaktiviert	1	0,135	2,573-2,708	Test001
anrollen	StaSto deaktiviert	2	0,084	1,879-1,963	Test002
anrollen	StaSto deaktiviert	3	0,084	2,381-2,465	Test003
anrollen	StaSto deaktiviert	4	0,156	1,673-1,829	Test004
anrollen	StaSto deaktiviert	5	0,137	1,349-1,486	Test005
normal anfahren	StaSto aktiviert	1	0,622	1,372-1,994	Test006
normal anfahren	StaSto aktiviert	2	0,558	1,001-1,559	Test007
normal anfahren	StaSto aktiviert	3	0,598	0,961-1,559	Test008
normal anfahren	StaSto aktiviert	4	0,599	1,401-2,000	Test009
normal anfahren	StaSto aktiviert	5	0,547	1,609-2,156	Test010
normal anfahren	StaSto deaktiviert	1	0,236	1,726-1,962	Test006
normal anfahren	StaSto deaktiviert	2	0,253	1,547-1,800	Test007
normal anfahren	StaSto deaktiviert	3	0,278	2,035-2,313	Test008
normal anfahren	StaSto deaktiviert	4	0,132	1,667-1,799	Test009
normal anfahren	StaSto deaktiviert	5	0,279	1,182-1,461	Test010
schnelles anfahren	StaSto aktiviert	1	0,636	1,123-1,759	Test011

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Messdatei
schnelles anfahren	StaSto aktiviert	2	0,431	1,299-1,730	Test012
schnelles anfahren	StaSto aktiviert	3	0,464	0,962-1,426	Test013
schnelles anfahren	StaSto aktiviert	4	0,460	1,111-1,571	Test014
schnelles anfahren	StaSto aktiviert	5	0,613	0,887-1,501	Test015
schnelles anfahren	StaSto aktiviert	6	0,694	1,465-2,159	Test016
schnelles anfahren	StaSto deaktiviert	1	0,297	1,240-1,537	Test011
schnelles anfahren	StaSto deaktiviert	2	0,265	1,902-2,167	Test012
schnelles anfahren	StaSto deaktiviert	3	0,286	2,128-2,414	Test013
schnelles anfahren	StaSto deaktiviert	4	0,223	2,551-2,773	Test014
schnelles anfahren	StaSto deaktiviert	5	0,265	5,948-6,213	Test015

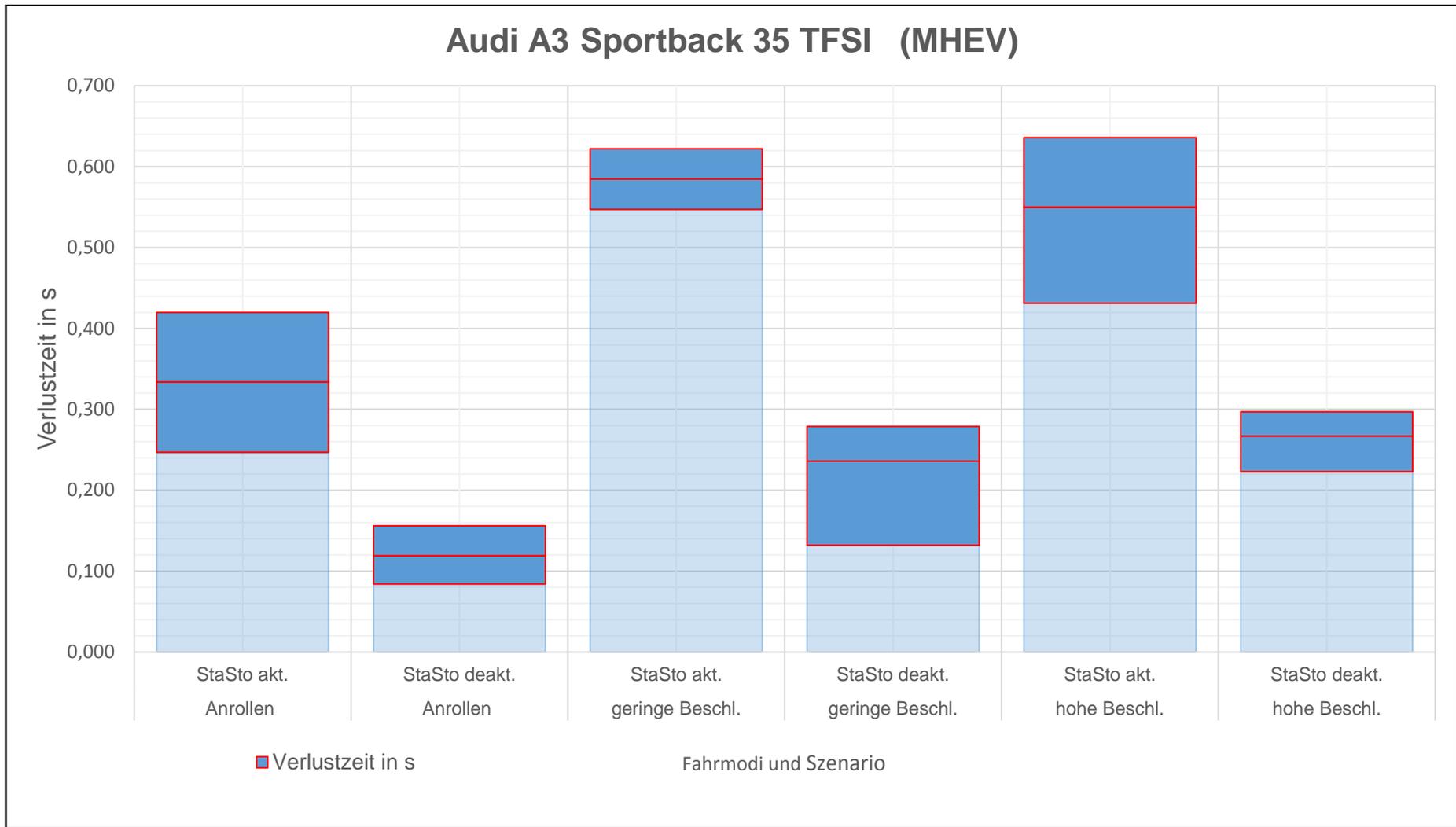


Abbildung 46 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A3 35 TFSI

Tabelle 14 Gemittelte Verlustzeiten, Range und Differenzverlustzeiten Audi A3 SB 35 TFSI

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min Partiell	Max. Partiell	Differenz- verlustzeit
Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)	anrollen	StaSto aktiviert	0,334	0,247	0,420	0,173	0,087	0,086	0,215
Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)	anrollen	StaSto deaktiviert	0,119	0,084	0,156	0,072	0,035	0,037	
Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)	geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,585	0,547	0,622	0,075	0,038	0,037	0,349
Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)	geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,236	0,132	0,279	0,147	0,104	0,043	
Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)	hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	0,550	0,431	0,636	0,205	0,119	0,086	0,283
Audi A3 SB 35 TFSI (MHEV)	hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	0,267	0,223	0,297	0,074	0,044	0,030	

Anlage 2 Audi A4 Avant Advanced 35 TDI

Tabelle 15 Umgebungsdaten Messung Audi A4 Avant 35 TDI

Testtag/Ort:	15.09.2021	Leinefelde
Wetter:	sonnig	18°C
Asphalt:	trocken	13°C
Wind:	3 km/h	SW
Km-Stand:		11442
Hybridisierungsgrad:	MHEV	



Abbildung 47 Audi A4 AV 35 TDI Advanced
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 48 Audi A4 AV 35 TDI Advanced
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 16 Fahrzeugdatenblatt Audi A4 35 TDI Advanced

Hybridisierungsgrad	MHEV mit 48 V Bordnetz und Riemenstartergenerator
Kraftstoffart	Diesekraftstoff
Hubraum / Zylinder	1968 cm ³ / 4
Leistung	120 kW / (163 PS)
max. Drehmoment	380 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	7-Gang Doppelkupplungsgetriebe (S tronic) / Vorderradantrieb
Leermasse	1615 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Goodyear Eagle F1 Asymetric3 245/40 R18 93H
Erstzulassung	12.02.2020
Länge / Breite / Höhe	4762 mm / 1847 mm / 1435 mm
Kilometerstand	11442 km

Tabelle 17 Einzelmesswerte Audi A4 Avant 35 TDI

Versuch	Modus	1,	Zeit in s	Zeitraum	Test
anrollen	StaSto aktiviert	1	0,713	1,575-2,288	Test001
anrollen	StaSto aktiviert	2	0,974	1,523-2,497	Test003
anrollen	StaSto aktiviert	3	0,816	2,384-3,200	Test004
anrollen	StaSto aktiviert	4	1,077	2,291-3,368	Test005
anrollen	StaSto aktiviert	5	1,048	2,240-3,288	Test006
anrollen	StaSto deaktiviert	1	0,142	0,858-1,000	Test001
anrollen	StaSto deaktiviert	2	0,111	0,701-0,812	Test002
anrollen	StaSto deaktiviert	3	0,198	1,145-1,343	Test003
anrollen	StaSto deaktiviert	4	0,113	1,286-1,400	Test004
anrollen	StaSto deaktiviert	5	0,128	1,021-1,149	Test005
geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	1	0,761	8,758-9,518	Test007
geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	2	0,698	1,173-1,871	Test008
geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	3	0,794	6,351-7,145	Test009
geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	4	0,798	4,196-4,994	Test010
geringe Beschleunigung	StaSto aktiviert	5	0,764	1,546-2,310	Test011
geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	1	0,159	1,374-1,533	Test006
geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	2	0,379	0,733-1,130	Test007
geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	3	0,306	1,109-1,325	Test008
geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	4	0,246	2,037-2,283	Test009
geringe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	5	0,385	2,676-3,062	Test010

Versuch	Modus	1,	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	1	0,693	1,270-1,963	Test012
hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	2	0,699	1,617-2,316	Test013
hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	3	0,707	1,261-1,968	Test014
hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	4	0,760	1,004-1,764	Test015
hohe Beschleunigung	StaSto aktiviert	5	0,649	2,275-2,924	Test016
hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	1	0,295	0,915-1,210	Test011
hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	2	0,347	1,059-1,406	Test012
hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	3	0,306	1,802-2,108	Test013
hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	4	0,305	0,462-0,767	Test014
hohe Beschleunigung	StaSto deaktiviert	5	0,327	1,276-1,603	Test015



Abbildung 49 Grafische Darstellung der Verlustzeiten Audi A4 Avant 35 TDI

Tabelle 18 Gemittelte Verlustzeiten, Range und Differenzverlustzeiten Audi A4 Avant 35 TDI

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. partiell	Max. partiell
Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	Anrollen	StaSto aktiviert	0,926	0,713	1,077	0,364	0,213	0,151
Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	Anrollen	StaSto deaktiviert	0,138	0,111	0,198	0,087	0,027	0,060
Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	geringe Beschl.	StaSto aktiviert	0,763	0,698	0,798	0,100	0,065	0,035
Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	geringe Beschl.	StaSto deaktiviert	0,295	0,159	0,385	0,226	0,136	0,090
Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	hohe Beschl.	StaSto aktiviert	0,702	0,649	0,760	0,111	0,053	0,058
Audi A4 Avant 35 TDI (MHEV)	hohe Beschl.	StaSto deaktiviert	0,316	0,295	0,347	0,052	0,021	0,031

Anlage 3 Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line

Tabelle 19 Umgebungsdaten Messung Audi A4 Avant 40 TFSI

Testtag/Ort:	15.09.2021	Leinefelde
Wetter:	leichter Regen	18°C
Asphalt:	feucht	13°C
Wind:	3 km/h	SW
Km-Stand:		7188
Hybridisierungsgrad:	MHEV	



Abbildung 50 Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 51 Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 20 Fahrzeugdatenblatt Audi A4 Avant 40 TFSI S-Line

Hybridisierungsgrad	MHEV mit 48 V Bordnetz und Riemenstartergenerator
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1984 cm ³ / 4
Leistung	140 kW / (190 PS)
max. Drehmoment	320 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	7-Gang Doppelkupplungsgetriebe (S tronic) / Vorderradantrieb
Leermasse	1585 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Goodyear Eagle F1 Asymetric3 245/40 R18 93H
Erstzulassung	25.02.2020
Länge / Breite / Höhe	4762 mm / 1847 mm / 1435 mm
Kilometerstand	7188 km

Tabelle 21 Einzelmesswerte Audi A4 Avant 40 TFSI

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	auto StaSto aktiv	1	0,500	1,764-2,264	Test001
Anrollen	auto StaSto aktiv	2	0,556	1,556-2,112	Test002
Anrollen	auto StaSto aktiv	3	0,529	1,271-1,800	Test003
Anrollen	auto StaSto aktiv	4	0,488	3,586-4,074	Test004
Anrollen	auto StaSto aktiv	5	0,641	3,967-4,608	Test005
Anrollen	auto StaSto deakt	1	0,369	1,925-2,294	Test001
Anrollen	auto StaSto deakt	2	0,165	3,167-3,332	Test002
Anrollen	auto StaSto deakt	3	0,354	1,698-2,052	Test003
Anrollen	auto StaSto deakt	4	0,315	1,719-2,034	Test004
Anrollen	auto StaSto deakt	5	0,222	1,224-1,446	Test005
Anrollen	efficiency StaSto ak	1	0,566	1,531-2,097	Test001
Anrollen	efficiency StaSto ak	2	0,603	1,166-1,769	Test002
Anrollen	efficiency StaSto ak	3	0,550	1,595-2,145	Test003
Anrollen	efficiency StaSto ak	4	0,623	1,427-2,050	Test004
Anrollen	efficiency StaSto ak	5	0,647	1,400-2,047	Test005
Anrollen	sport StaSto aktiv	1	0,605	0,248-0,853	Test022
Anrollen	sport StaSto aktiv	2	0,617	1,791-2,408	Test023
Anrollen	sport StaSto aktiv	3	0,642	1,464-2,106	Test024
Anrollen	sport StaSto aktiv	4	0,645	1,359-2,004	Test025
Anrollen	sport StaSto aktiv	5	0,585	1,714-2,299	Test026
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	1	0,592	4,636-5,228	Test006

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	2	0,536	2,121-2,657	Test007
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	3	0,546	2,015-2,561	Test008
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	4	0,599	4,401-5,000	Test009
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	5	0,578	9,758-10,336	Test010
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt	1	0,179	1,533-1,712	Test006
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt	2	0,356	1,990-2,346	Test007
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt	3	0,524	2,148-2,672	Test008
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt	4	0,237	1,648-1,885	Test009
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt	5	0,213	1,794-2,007	Test010
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	1	0,608	1,930-2,538	Test006
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	2	0,520	1,377-1,897	Test007
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	3	0,567	4,210-4,777	Test008
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	4	0,769	1,476-2,245	Test009
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	5	0,624	1,803-2,426	Test010
geringe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	1	0,581	1,200-1,781	Test027
geringe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	2	0,536	0,978-1,514	Test028
geringe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	3	0,601	1,656-2,257	Test029
geringe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	4	0,494	2,075-2,571	Test030
geringe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	5	0,565	2,235-2,800	Test031
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	1	0,649	1,054-1,703	Test011
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	2	0,747	1,313-2,061	Test012

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	3	0,601	1,212-1,813	Test013
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	4	0,638	1,328-1,964	Test014
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	5	0,747	0,767-1,514	Test015
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt	1	0,406	1,510-1,916	Test011
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt	2	0,388	1,555-1,943	Test012
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt	3	0,311	1,603-1,914	Test013
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt	4	0,313	1,319-1,632	Test014
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt	5	0,349	1,671-2,020	Test015
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	1	0,651	2,311-2,962	Test011
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	2	0,645	1,355-2,000	Test012
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	3	0,598	1,958-2,556	Test013
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	4	0,697	0,945-1,642	Test014
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	5	0,557	1,338-1,894	Test015
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto ak	6	0,740	1,198-1,938	Test016
hohe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	1	0,615	2,817-3,432	Test032
hohe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	2	0,729	1,180-1,909	Test033
hohe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	3	0,621	1,580-2,201	Test034
hohe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	4	0,631	1,254-1,885	Test035
hohe Beschleunigung	sport StaSto aktiv	5	0,584	3,587-4,171	Test036

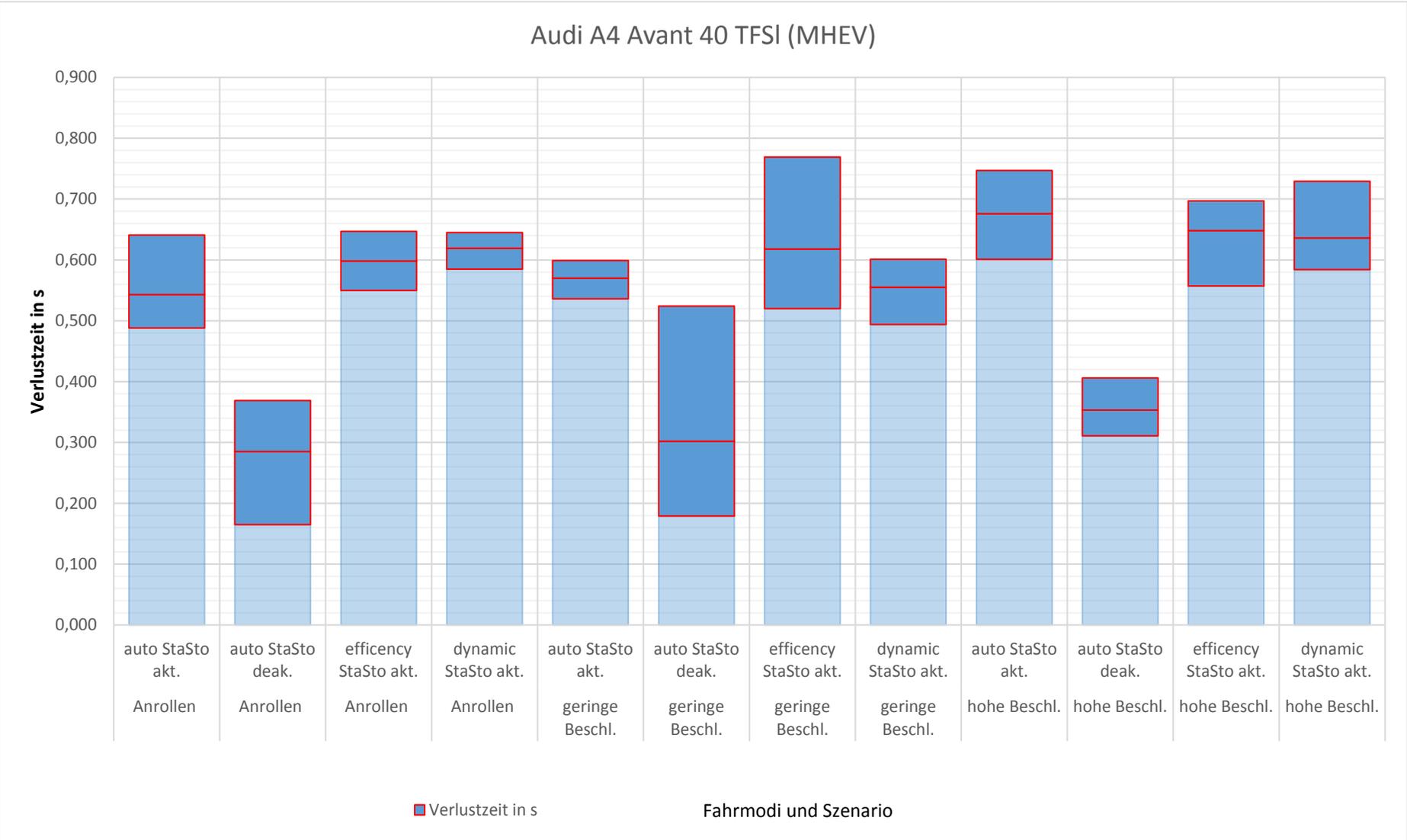


Abbildung 52 Diagramm der Verlustzeiten und Range Audi A4 Avant 40 TFSI

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiiell	Max. Partiiell
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	Anrollen	auto StaSto aktiv	0,543	0,488	0,641	0,153	0,055	0,098
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	Anrollen	auto StaSto deaktiviert	0,285	0,165	0,369	0,204	0,120	0,084
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	0,598	0,550	0,647	0,097	0,048	0,049
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	0,619	0,585	0,645	0,060	0,034	0,026
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	0,570	0,536	0,599	0,063	0,034	0,029
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	geringe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,302	0,179	0,524	0,345	0,123	0,222
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	0,618	0,520	0,769	0,249	0,098	0,151
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	0,555	0,494	0,601	0,107	0,061	0,046
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	0,676	0,601	0,747	0,146	0,075	0,071
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	hohe Beschleunigung	auto StaSto deaktiviert	0,353	0,311	0,406	0,095	0,042	0,053
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	0,648	0,557	0,697	0,140	0,091	0,049
Audi A4 Avant 40 TFSI Advanced (MHEV)	hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	0,636	0,584	0,729	0,145	0,052	0,093

Tabelle 22 Gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A4 Avant 40 TFSI

Anlage 4 Audi A6 Avant 50 TDI quattro

Tabelle 23 Umgebungsdaten Messung Audi A6 Avant 50 TDI quattro

Testtag/Ort:	15.09.2021	Leinefelde
Wetter:	leichter Regen	18°C
Asphalt:	feucht	13°C
Wind:	3 km/h	SW
Km-Stand:		26469
Hybridisierungsgrad:	MHEV	

Tabelle 24 Einzelmesswerte Audi A6 Avant 50 TDI quattro

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	auto StaSto aktiv	1	0,637	1,057-1,694	Test001
Anrollen	auto StaSto aktiv	2	0,558	0,960-1,518	Test002
Anrollen	auto StaSto aktiv	3	0,626	2,098-2,724	Test003
Anrollen	auto StaSto aktiv	4	0,540	1,124-1,664	Test004
Anrollen	auto StaSto aktiv	5	0,525	1,643-2,168	Test005
Anrollen	auto StaSto deakt.	1	0,079	1,174-1,253	Test001
Anrollen	auto StaSto deakt.	2	0,036	0,916-0,952	Test002
Anrollen	auto StaSto deakt.	3	0,078	1,732-1,810	Test003
Anrollen	auto StaSto deakt.	4	0,073	1,240-1,313	Test004
Anrollen	auto StaSto deakt.	5	0,059	1,245-1,304	Test005
Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	1	0,751	1,440-2,191	Test001
Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	2	0,546	1,188-1,734	Test002
Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	3	0,667	1,361-2,028	Test003

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	4	0,630	1,617-2,257	Test004
Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	5	0,648	1,163-1,811	Test005
Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	1	0,531	0,942-1,473	Test001
Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	2	0,554	1,349-1,903	Test002
Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	3	0,616	1,224-1,840	Test003
Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	4	0,609	2,377-2,986	Test004
Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	5	0,702	3,241-3,944	Test005
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	1	0,649	1,877-2,526	Test006
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	2	0,599	2,468-3,067	Test007
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	3	0,629	1,123-1,752	Test008
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	4	0,619	0,970-1,589	Test009
geringe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	5	0,567	0,824-1,391	Test010
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	1	0,098	1,932-2,030	Test006
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	2	0,105	1,035-1,140	Test007
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	3	0,086	1,072-1,158	Test008
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	4	0,112	1,162-1,274	Test009
geringe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	5	0,090	1,054-1,144	Test010
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	1	0,556	2,374-2,930	Test006

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	2	0,669	1,569-2,238	Test007
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	3	0,561	1,163-1,724	Test008
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	4	0,606	1,433-2,039	Test009
geringe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	5	0,596	1,999-2,595	Test010
geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	1	0,613	1,318-1,931	Test006
geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	2	0,592	0,890-1,482	Test007
geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	3	0,585	1,168-1,753	Test008
geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	4	0,604	1,180-1,784	Test009
geringe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	5	0,552	4,573-5,125	Test010
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	1	0,590	2,186-2,776	Test011
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	2	0,569	2,681-3,250	Test012
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	3	0,618	1,087-1,705	Test013
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	4	0,607	1,183-1,690	Test014
hohe Beschleunigung	auto StaSto aktiv	5	0,575	1,371-1,946	Test015
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	1	0,143	1,041-1,184	Test011
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	2	0,140	0,962-1,102	Test012
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	3	0,154	0,754-0,908	Test013
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	4	0,144	0,985-1,129	Test014

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	auto StaSto deakt.	5	0,137	0,217-0,354	Test015
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	1	0,586	1,331-1,919	Test011
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	2	0,611	1,066-1,677	Test012
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	3	0,684	1,217-1,901	Test013
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	4	0,582	1,319-1,901	Test014
hohe Beschleunigung	efficiency StaSto aktiviert	5	0,677	1,062-1,739	Test015
hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	1	0,547	1,520-2,067	Test011
hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	2	0,617	1,036-1,653	Test012
hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	3	0,578	0,859-1,437	Test013
hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	4	0,646	0,851-1,497	Test014
hohe Beschleunigung	dynamic StaSto aktiviert	5	0,602	1,427-2,029	Test015

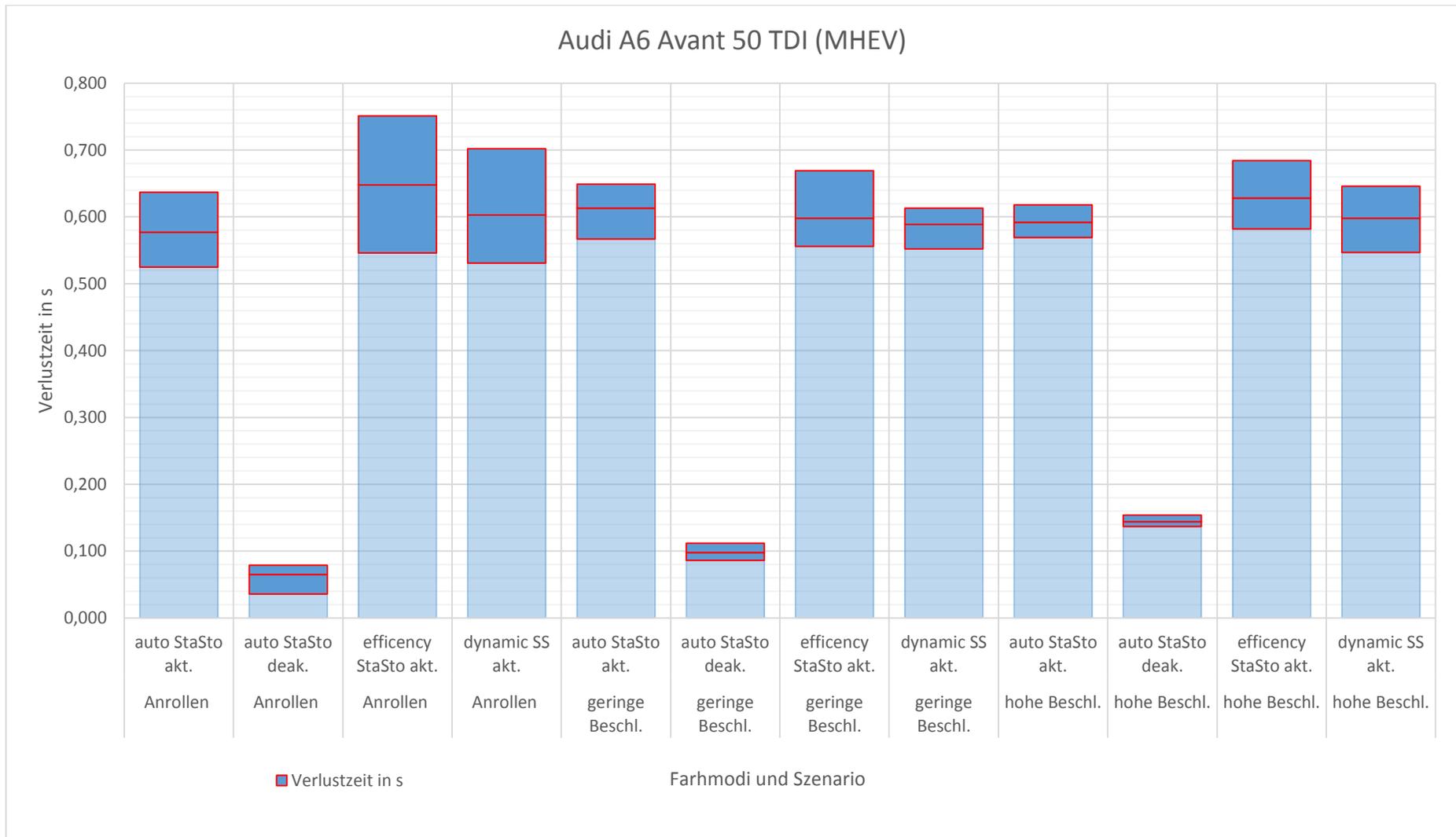


Abbildung 53 Diagramm der Verlustzeiten und Range Audi A6 Avant 50 TDI quattro

Tabelle 25 Gemittelte Verlustzeiten und Range Audi A6 50 TDI quattro

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	Anrollen	auto StaSto aktiv	0,577	0,525	0,637	0,112	0,052	0,060
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	Anrollen	auto StaSto deaktiviert	0,065	0,036	0,079	0,043	0,029	0,014
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	Anrollen	efficiency StaSto aktiviert	0,648	0,546	0,751	0,205	0,102	0,103
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	Anrollen	dynamic StaSto aktiviert	0,603	0,531	0,702	0,171	0,072	0,099
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	geringe Beschl.	auto SS aktiviert	0,613	0,567	0,649	0,082	0,046	0,036
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	geringe Beschl.	auto StaSto deaktiviert	0,098	0,086	0,112	0,026	0,012	0,014
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	geringe Beschl.	efficiency StaSto aktiviert	0,598	0,556	0,669	0,113	0,042	0,071
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	geringe Beschl.	dynamic StaSto aktiviert	0,589	0,552	0,613	0,061	0,037	0,024
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	hohe Beschl.	auto StaSto aktiv	0,592	0,569	0,618	0,049	0,023	0,026

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	hohe Beschl.	auto StaSto deaktiviert	0,144	0,137	0,154	0,017	0,007	0,010
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	hohe Beschl.	efficiency StaSto aktiviert	0,628	0,582	0,684	0,102	0,046	0,056
Audi A6 Avant 50 TDI quattro (MHEV)	hohe Beschl.	dynamic StaSto aktiviert	0,598	0,547	0,646	0,099	0,051	0,048

Anlage 5 BMW 330e G20

Tabelle 26 Umgebungsdaten Messung BMW 330e

Testtag/Ort:	26.08.2021	Zwickau
Wetter:	leichter Regen	13°C
Asphalt:	feucht	8°C
Wind:	1	NW
Km-Stand:		48341
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 54 BMW 330e (G20)
(Schrägsicht vorne links)



Abbildung 55 BMW 330e (G20)
(Schrägsicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 27 Fahrzeugdatenblatt BMW 330e (G20)

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1998 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	215 kW / (292 PS) 135 kW / (184 PS) 83 kW / (113 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	420 Nm 300 Nm 250 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	8-Gang Hydraulischer Drehmomentwandler mit Überbrückungskupplung / Hinterradantrieb
Leermasse	1815 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Michelin Pilot Sport 4 ZP 225/45 R18 95Y Michelin Pilot Sport 4 ZP 245/40 R18 99Y

Erstzulassung	14.02.2020
Länge / Breite / Höhe	4709 mm / 1827 mm / 1444 mm
Kilometerstand	48341 km

Tabelle 28 Einzelmesswerte BMW 330e

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,565	(6,199-6,765)	Test002
Anrollen	e-Mode	2	0,385	(1,875-2,260)	Test003
Anrollen	e-Mode	3	0,465	(2,180-2,645)	Test004
Anrollen	e-Mode	4	0,374	(1,402-1,776)	Test005
Anrollen	e-Mode	5	0,536	(2,086-2,622)	Test006
Anrollen	Hybrid	1	0,379	(2,552-2,931)	Test001
Anrollen	Hybrid	2	0,397	(1,206-1,603)	Test002
Anrollen	Hybrid	3	0,492	(0,748-1,240)	Test003
Anrollen	Hybrid	4	0,504	(1,288-1,792)	Test004
Anrollen	Hybrid	5	0,425	(1,238-1,664)	Test005
Anrollen	Sport	1	0,389	(1,665-2,054)	Test020
Anrollen	Sport	2	0,491	(1,090-1,581)	Test021
Anrollen	Sport	3	0,667	(1,047-1,714)	Test022
Anrollen	Sport	4	0,774	(1,099-1,872)	Test023
Anrollen	Sport	5	0,647	(1,599-2,247)	Test024
geringe Beschl.	e-Mode	1	0,441	(2,595-3,036)	Test007
geringe Beschl.	e-Mode	2	0,686	(1,539-2,224)	Test008
geringe Beschl.	e-Mode	3	0,014	(3,775-3,789)	Test009
geringe Beschl.	e-Mode	4	0,436	(1,357-1,793)	Test010
geringe Beschl.	e-Mode	5	0,417	(2,003-2,421)	Test011
geringe Beschl.	Hybrid	1	0,445	(1,956-2,401)	Test006
geringe Beschl.	Hybrid	2	0,399	(4,081-4,480)	Test007
geringe Beschl.	Hybrid	3	0,447	(1,992-2,439)	Test008
geringe Beschl.	Hybrid	4	0,383	(3,257-3,640)	Test009
geringe Beschl.	Sport	1	0,450	(2,057-2,507)	Test025
geringe Beschl.	Sport	2	0,418	(2,548-2,996)	Test026
geringe Beschl.	Sport	3	0,530	(07383-1,313)	Test027
geringe Beschl.	Sport	4	0,536	(2,235-2,891)	Test028
geringe Beschl.	Sport	5	0,489	(0,876-1,365)	Test029
hohe Beschl.	e-Mode	1	0,417	(2,771-3,188)	Test013
hohe Beschl.	e-Mode	2	0,350	(3,220-3,570)	Test014

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschl.	e-Mode	3	0,251	(3,089-3,340)	Test015
hohe Beschl.	e-Mode	4	0,231	(4,783-5,015)	Test016
hohe Beschl.	e-Mode	5	0,387	(1,939-2,326)	Test 017
hohe Beschl.	Hybrid	1	0,313	(2,813-3,125)	Test012
hohe Beschl.	Hybrid	2	0,319	(4,604-4,923)	Test013
hohe Beschl.	Hybrid	3	0,325	(2,526-2,850)	Test014
hohe Beschl.	Hybrid	4	0,321	(2,200-2,521)	Test015
hohe Beschl.	Hybrid	5	0,306	(4,323-4,630)	Test016
hohe Beschl.	Sport	1	0,362	(2,055-2,418)	Test030
hohe Beschl.	Sport	2	0,430	(1,462-1,892)	Test031
hohe Beschl.	Sport	3	0,482	(1,683-2,164)	Test032
hohe Beschl.	Sport	4	0,565	(0,846-1,411)	Test033
hohe Beschl.	Sport	5	0,191	(1,002-1,194)	Test034
anrollen	XtraBoost	1	0,130	(2,259-2,389)	Test038
anrollen	XtraBoost	2	0,228	(1,109-1,337)	Test039
anrollen	XtraBoost	3	0,156	(0,907-1,063)	Test040
anrollen	XtraBoost	4	0,142	(0,954-1,096)	Test041
anrollen	XtraBoost	5	0,139	(1,193-1,332)	Test042
geringe Beschl.	XtraBoost	1	0,201	(2,402-2,603)	Test043
geringe Beschl.	XtraBoost	2	0,182	(1,956-2,139)	Test044
geringe Beschl.	XtraBoost	3	0,239	(0,502-0,741)	Test045
geringe Beschl.	XtraBoost	4	0,207	(1,138-1,345)	Test046
geringe Beschl.	XtraBoost	5	0,174	(0,779-0,953)	Test047
hohe Beschl.	XtraBoost	1	0,134	(1,861-1,995)	Test049
hohe Beschl.	XtraBoost	2	0,218	(1,815-2,032)	Test050
hohe Beschl.	XtraBoost	3	0,220	(1,517-1,737)	Test051
hohe Beschl.	XtraBoost	4	0,183	(2,373-2,555)	Test052
hohe Beschl.	XtraBoost	5	0,238	(3,535-3,773)	Test053

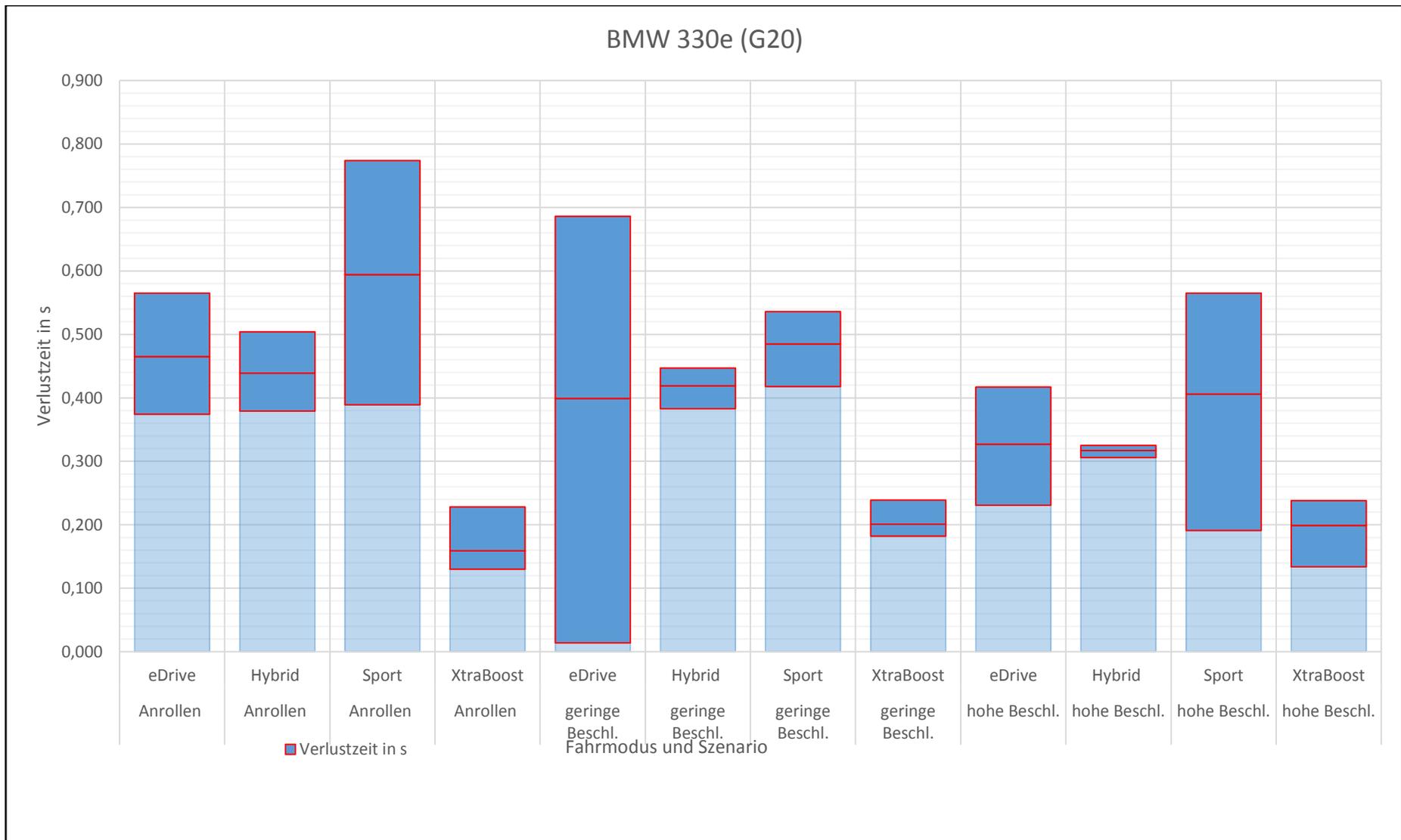


Abbildung 56 Grafische Darstellung der Verlustzeiten BMW 330e

Tabelle 29 Gemittelte Verlustzeiten und Range 330e

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Pariell
BMW 330e (G20) (PHEV)	Anrollen	eDrive	0,465	0,374	0,565	0,191	0,091	0,100
BMW 330e (G20) (PHEV)	Anrollen	Hybrid	0,439	0,379	0,504	0,125	0,060	0,065
BMW 330e (G20) (PHEV)	Anrollen	Sport	0,594	0,389	0,774	0,385	0,205	0,180
BMW 330e (G20) (PHEV)	Anrollen	XtraBoost	0,159	0,130	0,228	0,098	0,029	0,069
BMW 330e (G20) (PHEV)	geringe Beschl.	eDrive	0,399	0,014	0,686	0,672	0,385	0,287
BMW 330e (G20) (PHEV)	geringe Beschl.	Hybrid	0,419	0,383	0,447	0,064	0,036	0,028
BMW 330e (G20) (PHEV)	geringe Beschl.	Sport	0,485	0,418	0,536	0,118	0,067	0,051
BMW 330e (G20) (PHEV)	geringe Beschl.	XtraBoost	0,201	0,182	0,239	0,057	0,019	0,038
BMW 330e (G20) (PHEV)	hohe Beschl.	eDrive	0,327	0,231	0,417	0,186	0,096	0,090
BMW 330e (G20) (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid	0,317	0,306	0,325	0,019	0,011	0,008
BMW 330e (G20) (PHEV)	hohe Beschl.	Sport	0,406	0,191	0,565	0,374	0,215	0,159
BMW 330e (G20) (PHEV)	hohe Beschl.	XtraBoost	0,199	0,134	0,238	0,104	0,065	0,039

Anlage 6 BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition

Tabelle 30 Umgebungsdaten BMW i8 Roadster

Testtag/Ort:	27.08.2021	Zwickau
Wetter:	leichter Regen	14°C
Asphalt:	feucht	10°C
Wind:	10 km/h	W
Km-Stand:		69
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 57 BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition (Schrägsicht vorne links)



Abbildung 58 BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 31 Fahrzeugdatenblatt BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1499 cm ³ / 3
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	275 kW / (374 PS) 170 kW / (231 PS) 105 kW / (143 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	570 Nm 320 Nm 250 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	6-Gang Hydraulischer Drehmomentwandler mit Überbrückungskupplung (VM) + Zweigangautomatik an der Vorderachse (EM) / Allradantrieb möglich; VA Elektrisch, HA Verbrennungsmotorisch
Leermasse	1670 kg

Bereifung VA	Bridgestone Potenza S001 215/45 R20 95W
Bereifung HA	Bridgestone Potenza S001 245/40 R20 99W
Erstzulassung	XX.XX.XXXX
Länge / Breite / Höhe	4689 mm / 1942 mm / 1289 mm
Kilometerstand	69 km

Tabelle 32 Einzelmesswerte BMW i8 Roadster Ultimate Sophisto Edition

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	E-Comfort	1	0,203	(1,550-1,754)	Test006
Anrollen	E-Comfort	2	0,201	(2,648-2,849)	Test007
Anrollen	E-Comfort	3	0,236	(1,948-2,184)	Test008
Anrollen	E-Comfort	4	0,244	(1,913-2,156)	Test009
Anrollen	E-Comfort	5	0,201	(1,825-2,026)	Test010
Anrollen	Sport	1	0,131	(2,667-2,798)	Test001
Anrollen	Sport	2	0,153	(1,665-1,818)	Test002
Anrollen	Sport	3	0,116	(2,072-2,192)	Test003
Anrollen	Sport	4	0,160	(1,738-1,898)	Test004
Anrollen	Sport	5	0,132	(3,015-3,147)	Test005
geringe Beschleunigung	E-Comfort	1	0,166	(4,266-4,433)	Test011
geringe Beschleunigung	E-Comfort	2	0,168	(3,532-3,700)	Test012
geringe Beschleunigung	E-Comfort	3	0,247	(2,353-2,600)	Test013
geringe Beschleunigung	E-Comfort	4	0,297	(1,882-2,179)	Test014
geringe Beschleunigung	E-Comfort	5	0,288	(1,444-1,732)	Test015
geringe Beschleunigung	Sport	1	0,173	(9,602-9,775)	Test006
geringe Beschleunigung	Sport	2	0,194	(1,331-1,525)	Test007
geringe Beschleunigung	Sport	3	0,158	(1,980-2,138)	Test008
geringe Beschleunigung	Sport	4	0,220	(3,600-3,812)	Test009
geringe Beschleunigung	Sport	5	0,164	(1,821-1,985)	Test010
hohe Beschleunigung	E-Comfort	1	0,238	(3,259-3,497)	Test016

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	E-Comfort	2	0,269	(2,410-2,679)	Test017
hohe Beschleunigung	E-Comfort	3	0,254	(3,781-4,035)	Test018
hohe Beschleunigung	E-Comfort	4	0,258	(4,255-4,513)	Test019
hohe Beschleunigung	E-Comfort	5	0,252	(6,393-6,645)	Test020

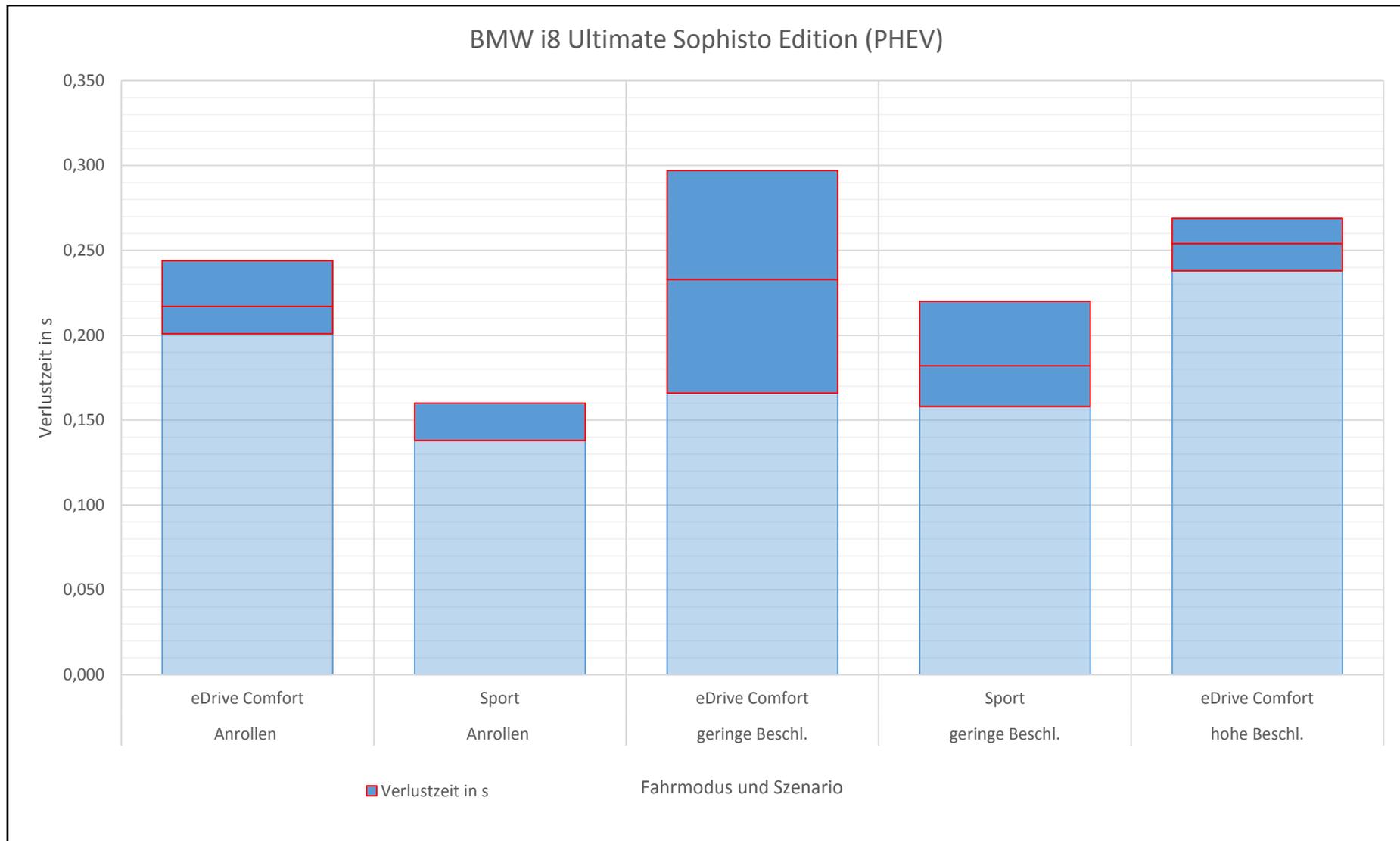


Abbildung 59 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range BMWi8 Roadster Ultimate Sophisto Edition

Tabelle 33 Gemittelte Verlustzeit und Range BMW i8 Ultimate Sophisto Edition

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
BMW i8 Roadster (PHEV)	Anrollen	eDrive Comfort	0,217	0,201	0,244	0,043	0,016	0,027
BMW i8 Roadster (PHEV)	Anrollen	Sport	0,138	0,138	0,160	0,022	0,000	0,022
BMW i8 Roadster (PHEV)	geringe Beschl.	eDrive Comfort	0,233	0,166	0,297	0,131	0,067	0,064
BMW i8 Roadster (PHEV)	geringe Beschl.	Sport	0,182	0,158	0,220	0,062	0,024	0,038
BMW i8 Roadster (PHEV)	hohe Beschl.	eDrive Comfort	0,254	0,238	0,269	0,031	0,016	0,015

Anlage 7 Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid

Tabelle 34 Umgebungsbedingungen Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid

Testtag/Ort:	10.09.2021	Leinefelde
Wetter:	sonnig, trocken	25°C
Asphalt:	trocken	20°C
Wind:	5 km/h	W
Km-Stand:		4432
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 60 Cupra Leon VZ 1.4 e-HYBRID
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 61 Cupra Leon VZ 1.4 e-HYBRID
(Schrägansicht hinten rechts)

Technische Daten:

Tabelle 35 Fahrzeugdatenblatt Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1395 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	180 kW / (245 PS) 110 kW / (150 PS) 70 kW / (95 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	400 Nm 250 Nm 330 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	6-Gang Doppelkupplungsgetriebe (DSG) / Frontantrieb
Leermasse	1671 kg

Bereifung VA Bereifung HA	Bridgestone Potenza S005 235/35 R19 91Y
Erstzulassung	09.06.2021
Länge / Breite / Höhe	4398 mm / 1799 mm / 1467 mm
Kilometerstand	4432 km

Tabelle 36 Einzelmesswerte Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,186	(1,424-1,610)	Test001
Anrollen	e-Mode	2	0,121	(0,866-0,987)	Test003
Anrollen	e-Mode	3	0,358	(0,656-1,015)	Test004
Anrollen	e-Mode	4	0,275	(0,912-1,187)	Test005
Anrollen	e-Mode	5	0,188	(1,022-1,210)	Test006
Anrollen	Hybrid Comf.	1	0,460	(1,071-1,531)	Test020
Anrollen	Hybrid Comf.	2	0,283	(1,071-1,354)	Test021
Anrollen	Hybrid Comf.	3	0,213	(1,002-1,215)	Test022
Anrollen	Hybrid Comf.	4	0,426	(0,836-1,262)	Test023
Anrollen	Hybrid Comf.	5	0,289	(0,882-1,171)	Test024
Anrollen	Hybrid Sport	1	0,288	(1,375-1,663)	Test001
Anrollen	Hybrid Sport	2	0,234	(1,960-2,194)	Test002
Anrollen	Hybrid Sport	3	0,342	(0,823-1,164)	Test003
Anrollen	Hybrid Sport	4	0,287	(1,638-1,925)	Test004
Anrollen	Hybrid Sport	5	0,330	(1,270-1,600)	Test005
Anrollen	Cupra	1	0,246	(1,438-1,684)	Test001
Anrollen	Cupra	2	0,229	(0,820-1,249)	Test002
Anrollen	Cupra	3	0,423	(0,798-1,221)	Test003
Anrollen	Cupra	4	0,254	(1,070-1,324)	Test004
Anrollen	Cupra	5	0,231	(0,864-1,095)	Test005
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,276	(1,617-1,893)	Test007
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,364	(0,695-1,059)	Test008

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,319	(0,694-1,013)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,228	(0,872-1,100)	Test010
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,197	(0,890-1,087)	Test011
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	1	0,460	(1,069-1,529)	Test025
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	2	0,409	(1,121-1,530)	Test026
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	3	0,267	(0,829-1,096)	Test027
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	4	0,387	(1,390-1,777)	Test028
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	5	0,188	(0,870-1,058)	Test029
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	1	0,503	(0,983-1,486)	Test006
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	2	0,469	(0,930-1,399)	Test007
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	3	0,445	(2,399-2,844)	Test008
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	4	0,454	(1,063-1,517)	Test009
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	5	0,268	(0,776-1,043)	Test010
geringe Beschleunigung	Cupra	1	0,378	(1,315-1,693)	Test006
geringe Beschleunigung	Cupra	2	0,453	(1,398-1,851)	Test007
geringe Beschleunigung	Cupra	3	0,391	(0,886-1,277)	Test008
geringe Beschleunigung	Cupra	4	0,455	(0,942-1,397)	Test009
geringe Beschleunigung	Cupra	5	0,465	(0,977-1,442)	Test010
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,399	(1,782-2,181)	Test012
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,371	(1,386-1,757)	Test013
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,350	(0,827-1,177)	Test014
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,366	(0,920-1,286)	Test015

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	0,336	(0,928-1,264)	Test016
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	1	0,353	(0,798-1,151)	Test030
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	2	0,403	(0,859-1,262)	Test031
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	3	0,425	(0,812-1,237)	Test032
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	4	0,371	(1,345-1,716)	Test033
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	5	0,363	(0,833-1,196)	Test034
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	1	0,338	(0,826-1,164)	Test011
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	2	0,366	(1,199-1,565)	Test012
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	3	0,422	(0,792-1,214)	Test013
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	4	0,403	(1,780-2,183)	Test014
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	5	0,381	(0,895-1,276)	Test015
hohe Beschleunigung	Cupra	1	0,393	(4,149-4,542)	Test011
hohe Beschleunigung	Cupra	2	0,396	(2,357-2,752)	Test012
hohe Beschleunigung	Cupra	3	0,423	(2,062-2,485)	Test014
hohe Beschleunigung	Cupra	4	0,393	(1,107-1,500)	Test015
hohe Beschleunigung	Cupra	5	0,395	(1,126-1,521)	Test016
hohe Beschleunigung	Cupra	6	0,352	(0,722-1,074)	Test017

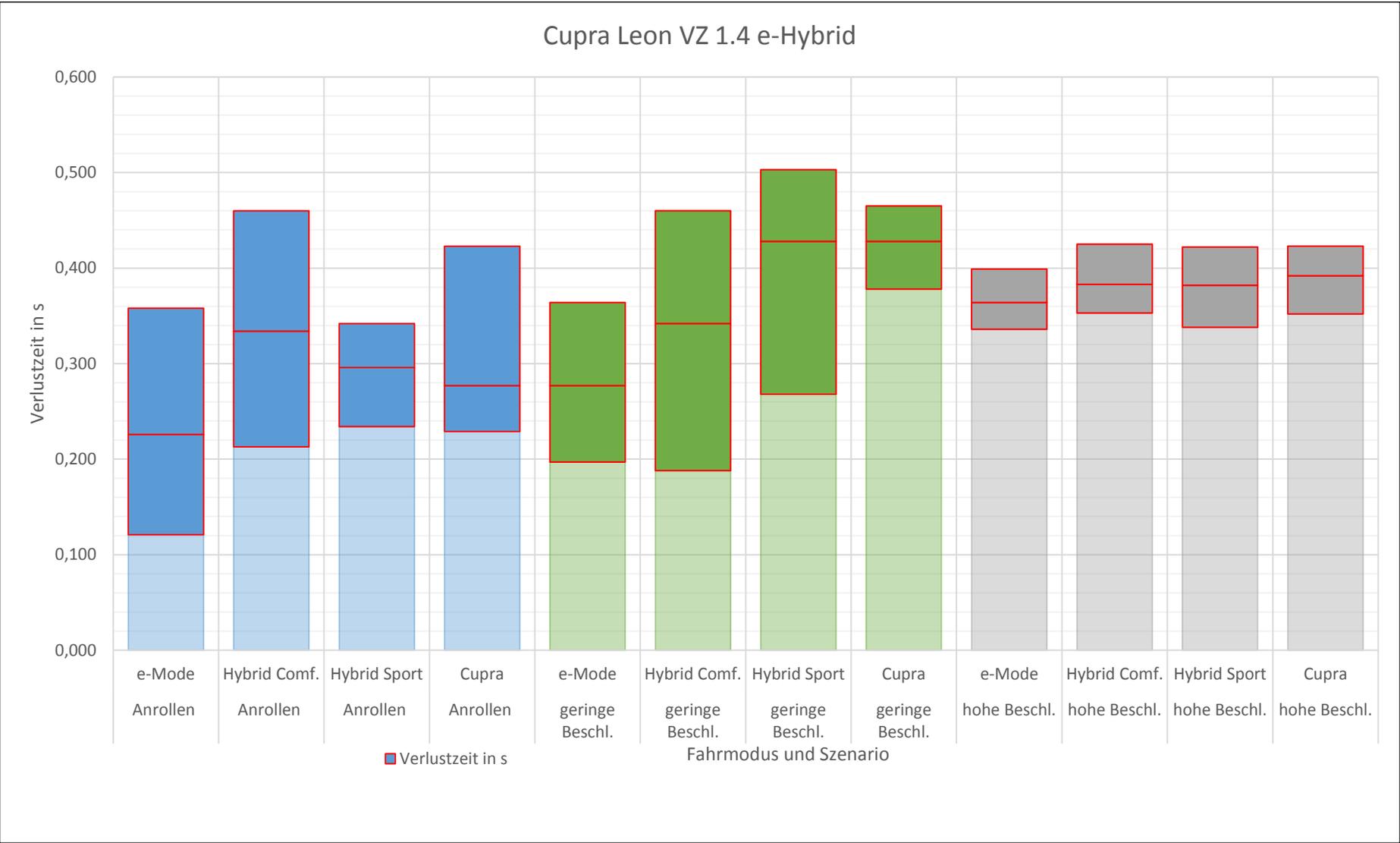


Abbildung 62 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid

Tabelle 37 Gemittelte Verlustzeiten und Range Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Pariell
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	Anrollen	e-Mode	0,226	0,121	0,358	0,237	0,105	0,132
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	Anrollen	Hybrid Comf.	0,334	0,213	0,460	0,247	0,121	0,126
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	Anrollen	Hybrid Sport	0,296	0,234	0,342	0,108	0,062	0,046
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	Anrollen	Cupra	0,277	0,229	0,423	0,194	0,048	0,146
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	geringe Beschl.	e-Mode	0,277	0,197	0,364	0,167	0,080	0,087
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	geringe Beschl.	Hybrid Comf.	0,342	0,188	0,460	0,272	0,154	0,118
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	geringe Beschl.	Hybrid Sport	0,428	0,268	0,503	0,235	0,160	0,075
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	geringe Beschl.	Cupra	0,428	0,378	0,465	0,087	0,050	0,037
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	hohe Beschl.	e-Mode	0,364	0,336	0,399	0,063	0,028	0,035
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	hohe Beschl.	Hybrid Comf.	0,383	0,353	0,425	0,072	0,030	0,042
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	hohe Beschl.	Hybrid Sport	0,382	0,338	0,422	0,084	0,044	0,040
Cupra Leon VZ 1.4 e-Hybrid	hohe Beschl.	Cupra	0,392	0,352	0,423	0,071	0,040	0,031

Anlage 8 Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake

Tabelle 38 Umgebungsbedingungen Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake

Testtag/Ort:	25.08.2021	Zwickau
Wetter:	sonnig, trocken	20 °C
Asphalt:	trocken	16 °C
Wind:	3 km/h	W
Km-Stand:		807
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 63 Mercedes-Benz CLA 250e Shooting Brake (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 64 Mercedes-Benz CLA 250e Shooting Brake (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 39 Fahrzeugdatenblatt Mercedes Benz CLA250e Shooting Brake

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1332 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	160 kW / (218 PS) 118 kW / (160 PS) 75 kW / (102 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	450 Nm 230 Nm 330 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	8-Gang Hydraulischer Drehmomentwandler mit Überbrückungskupplung / Frontantrieb
Leermasse	1750 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Continental EcoContact 6 225/45 R18 91W
Erstzulassung	01.07.2021

Länge / Breite / Höhe	4688 mm / 1830 mm / 1442 mm
Kilometerstand	807 km

Tabelle 40 Einzelmesswerte Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Interval	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,584	(2,263-2,847)	Test001
Anrollen	e-Mode	2	0,624	(1,097-1,711)	Test002
Anrollen	e-Mode	3	0,571	(1,331-1,902)	Test003
Anrollen	e-Mode	4	0,606	(1,329-1,935)	Test004
Anrollen	e-Mode	5	0,746	(1,960-2,706)	Test005
Anrollen	Battery Level	1	0,698	(1,409-2,107)	Test017
Anrollen	Battery Level	2	0,473	(1,293-1,766)	Test018
Anrollen	Battery Level	3	0,615	(0,948-1,563)	Test019
Anrollen	Battery Level	4	0,611	(1,246-1,857)	Test020
Anrollen	Battery Level	5	0,609	(2,525-3,134)	Test021
Anrollen	Sport	1	0,732	(1,339-2,071)	Test026
Anrollen	Sport	2	0,724	(3,126-3,850)	Test027
Anrollen	Sport	3	0,748	(2,130-2,878)	Test029
Anrollen	Sport	4	0,562	(0,866-1,428)	Test030
Anrollen	Sport	5	0,602	(1,118-1,720)	Test031
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,425	(1,172-1,597)	Test006
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,529	(1,728-2,257)	Test007
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,566	(1,157-1,723)	Test008
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,599	(1,277-1,876)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,579	(1,365-1,944)	Test010
geringe Beschleunigung	Battery Level	1	0,550	(1,620-2,170)	Test022
geringe Beschleunigung	Battery Level	2	0,587	(1,078-1,665)	Test023

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Interval	Test
geringe Beschleunigung	Battery Level	3	0,501	(1,871-2,372)	Test024
geringe Beschleunigung	Battery Level	4	0,562	(0,745-1,307)	Test025
geringe Beschleunigung	Battery Level	5	0,583	(2,035-2,618)	Test026
geringe Beschleunigung	Sport	1	0,519	(1,038-1,557)	Test032
geringe Beschleunigung	Sport	2	0,501	(1,710-2,211)	Test033
geringe Beschleunigung	Sport	3	0,638	(1,029-1,667)	Test034
geringe Beschleunigung	Sport	4	0,583	(1,693-2,276)	Test035
geringe Beschleunigung	Sport	5	0,525	(1,554-2,079)	Test036
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,489	(0,066-0,555)	Test011
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,474	(1,281-1,754)	Test012
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,468	(2,271-2,739)	Test013
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,497	(0,919-1,416)	Test014
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	0,458	(1,529-1,967)	Test015
hohe Beschleunigung	Battery Level	1	0,492	(1,666-2,158)	Test043
hohe Beschleunigung	Battery Level	2	0,441	(1,146-1,587)	Test044
hohe Beschleunigung	Battery Level	3	0,458	(1,111-1,569)	Test045
hohe Beschleunigung	Battery Level	4	0,444	(0,783-1,227)	Test046
hohe Beschleunigung	Battery Level	5	0,491	(0,406-0,897)	Test047
hohe Beschleunigung	Sport	1	0,514	(0,241-0,755)	Test048
hohe Beschleunigung	Sport	2	0,438	(1,409-1,847)	Test049
hohe Beschleunigung	Sport	3	0,419	(1,646-2,065)	Test050

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Interval	Test
hohe Beschleunigung	Sport	4	0,484	(0,912-1,396)	Test051
hohe Beschleunigung	Sport	5	0,572	(3,923-4,495)	Test052

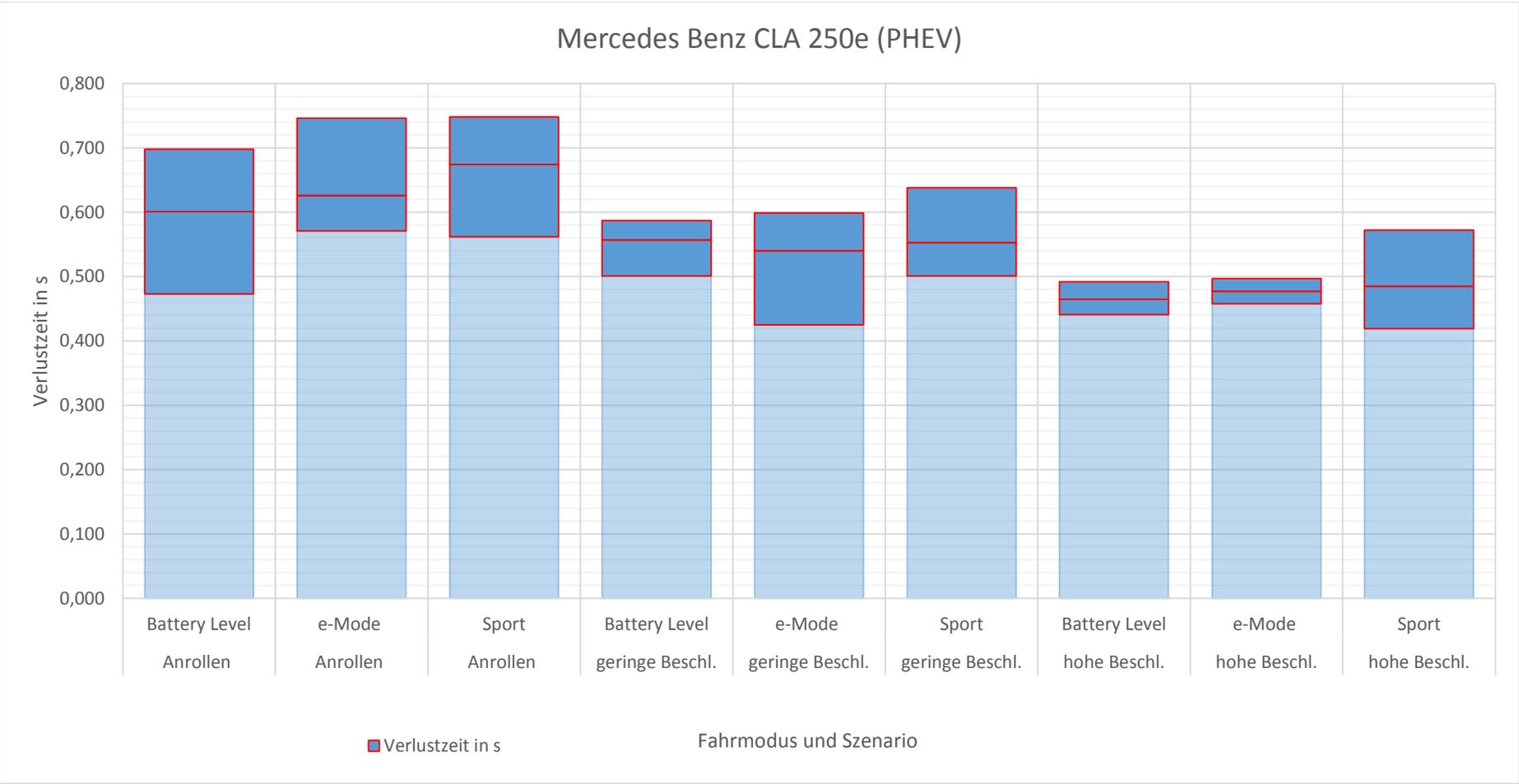


Abbildung 65 Diagramm gemittelte Verlustzeit und Range Mercedes-Benz CLA 250e Shootingbrake

Tabelle 41 Gemittelte Verlustzeit und Range Mercedes Benz-CLA 250e

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min Partiell	Max Pariell
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	Anrollen	Battery Level	0,601	0,473	0,698	0,225	0,128	0,097
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	Anrollen	e-Mode	0,626	0,571	0,746	0,175	0,055	0,120
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	Anrollen	Sport	0,674	0,562	0,748	0,186	0,112	0,074
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	geringe Beschl.	Battery Level	0,557	0,501	0,587	0,086	0,056	0,030
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	geringe Beschl.	e-Mode	0,540	0,425	0,599	0,174	0,115	0,059
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	geringe Beschl.	Sport	0,553	0,501	0,638	0,137	0,052	0,085
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	hohe Beschl.	Battery Level	0,465	0,441	0,492	0,051	0,024	0,027
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	hohe Beschl.	e-Mode	0,477	0,458	0,497	0,039	0,019	0,020
Mercedes-Benz CLA 250e SB (PHEV)	hohe Beschl.	Sport	0,485	0,419	0,572	0,153	0,066	0,087

Anlage 9 Mercedes C300e T-Modell

Tabelle 42 Umgebungsbedingungen Mercedes C300e T- Modell

Testtag/Ort:	25.08.2021	Zwickau
Wetter:	sonnig, trocken	22 °C
Asphalt:	trocken	18°C
Wind:	3 km/h	W
Km-Stand:		7175
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 66 Mercedes-Benz C300e T-Modell (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 67 Mercedes-Benz C300e T-Modell (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 43 Fahrzeugdatenblatt Mercedes-Benz C300e T-Modell

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1991 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	235 kW / (320 PS) 155 kW / (211 PS) 90 kW / (122 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	700 Nm 350 Nm 440 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	9-Gang Hydraulischer Drehmomentwandler / Heckantrieb
Leermasse	1870 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Continental EcoContact 6 225/45 R18 95Y Continental EcoContact 6 245/40 R19 97Y
Erstzulassung	10.12.2020

Länge / Breite / Höhe	4772 mm / 1839 mm / 1465 mm
Kilometerstand	7157 km

Tabelle 44 Einzelmesswerte Mercedes-Benz C300e T-Modell

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,455	(1,140-1,595)	Test001
Anrollen	e-Mode	2	0,428	(0,539-0,967)	Test002
Anrollen	e-Mode	3	0,554	(0,165-0,719)	Test003
Anrollen	e-Mode	4	0,534	(0,782-1,316)	Test004
Anrollen	e-Mode	5	0,447	(1,031-1,478)	Test005
Anrollen	Hybrid	1	0,559	(1,536-2,095)	Test001
Anrollen	Hybrid	2	0,492	(0,834-1,326)	Test002
Anrollen	Hybrid	3	0,351	(1,301-1,652)	Test003
Anrollen	Hybrid	4	0,382	(2,127-2,509)	Test004
Anrollen	Hybrid	5	0,413	(1,525-1,938)	Test005
Anrollen	Sport	1	0,019	(1,796-1,815)	Test019
Anrollen	Sport	2	0,047	(2,488-2,535)	Test020
Anrollen	Sport	3	0,017	(0,685-0,702)	Test021
Anrollen	Sport	4	0,030	(0,934-0,964)	Test022
Anrollen	Sport	5	0,046	(0,497-0,543)	Test023
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,606	(1,181-1,789)	Test006
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,503	(0,987-1,490)	Test007
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,510	(0,301-0,811)	Test008
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,480	(0,837-1,317)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,559	(1,020-1,579)	Test010
geringe Beschleunigung	Hybrid	1	0,446	(2,676-3,122)	Test006
geringe Beschleunigung	Hybrid	2	0,378	(1,823-2,201)	Test007
geringe Beschleunigung	Hybrid	3	0,531	(2,822-3,353)	Test008
geringe Beschleunigung	Hybrid	4	0,528	(1,652-2,180)	Test009
geringe Beschleunigung	Hybrid	5	0,403	(1,629-2,032)	Test010

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	Sport	1	0,069	(1,713-1,782)	Test024
geringe Beschleunigung	Sport	2	0,071	(1,927-1,998)	Test025
geringe Beschleunigung	Sport	3	0,050	(3,116-3,166)	Test026
geringe Beschleunigung	Sport	4	0,047	(2,027-2,074)	Test027
geringe Beschleunigung	Sport	5	0,083	(2,976-3,063)	Test028
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,408	(1,434-1,842)	Test011
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,446	(0,655-1,101)	Test012
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,466	(2,281-2,747)	Test013
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,429	(3,707-4,136)	Test014
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	0,356	(2,117-2,473)	Test015
hohe Beschleunigung	Hybrid	1	0,398	(0,395-0,793)	Test011
hohe Beschleunigung	Hybrid	2	0,338	(1,028-1,366)	Test012
hohe Beschleunigung	Hybrid	3	0,393	(1,579-1,972)	Test013
hohe Beschleunigung	Hybrid	4	0,419	(0,988-1,407)	Test014
hohe Beschleunigung	Hybrid	5	0,377	(2,278-2,655)	Test015
hohe Beschleunigung	Sport	1	0,073	(1,857-1,930)	Test029
hohe Beschleunigung	Sport	2	0,091	(1,805-1,895)	Test030
hohe Beschleunigung	Sport	3	0,105	(2,551-2,656)	Test031
hohe Beschleunigung	Sport	4	0,038	(9,325-9,363)	Test032
hohe Beschleunigung	Sport	5	0,049	(1,982-1,931)	Test033

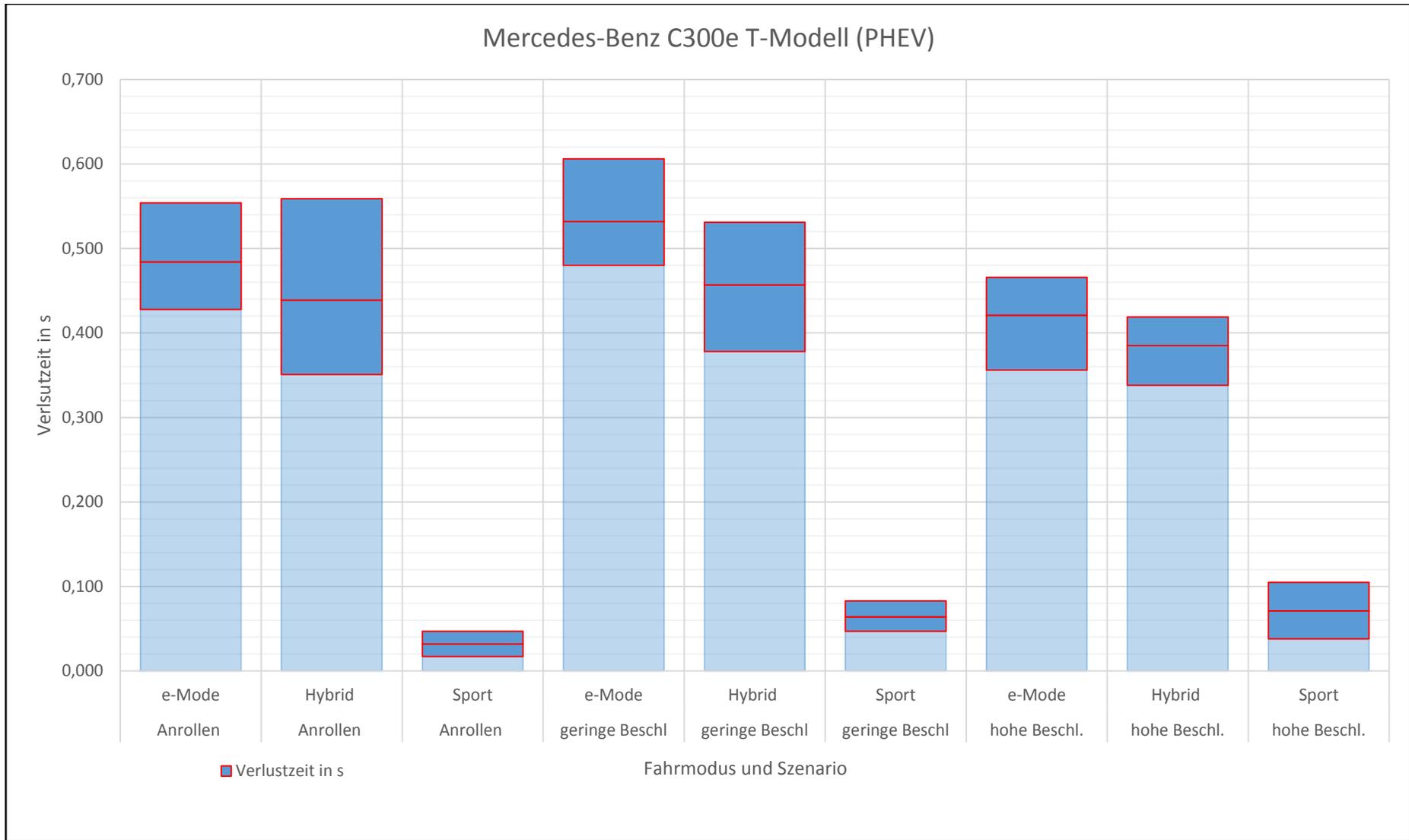


Abbildung 68 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Mercedes-Benz C300e T-Modell

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min Partiell	Max Partiell
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	Anrollen	e-Mode	0,484	0,428	0,554	0,126	0,056	0,070
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	Anrollen	Hybrid	0,439	0,351	0,559	0,208	0,088	0,120
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	Anrollen	Sport	0,032	0,017	0,047	0,030	0,015	0,015
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	geringe Beschl	e-Mode	0,532	0,480	0,606	0,126	0,052	0,074
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	geringe Beschl	Hybrid	0,457	0,378	0,531	0,153	0,079	0,074
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	geringe Beschl	Sport	0,064	0,047	0,083	0,036	0,017	0,019
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	hohe Beschl.	e-Mode	0,421	0,356	0,466	0,110	0,065	0,045
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid	0,385	0,338	0,419	0,081	0,047	0,034
Mercedes-Benz C300e T (PHEV)	hohe Beschl.	Sport	0,071	0,038	0,105	0,067	0,033	0,034

Tabelle 45 Gemittelte Verlustzeiten und Range Mercedes-Benz C300e T-Modell

Anlage 10 Mercedes-Benz C300de T-Modell

Tabelle 46 Umgebungsbedingungen Mercedes-Benz C300de T-Modell

Testtag/Ort:	25.08.2021	Zwickau
Wetter:	sonnig, trocken	22 °C
Asphalt:	trocken	18°C
Wind:	3 km/h	W
Km-Stand:		7195
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 69 Mercedes-Benz C300de T-Modell (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 70 Mercedes-Benz C300de T-Modell (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 47 Fahrzeugdatenblatt Mercedes-Benz C300de T-Modell

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Diesekraftstoff
Hubraum / Zylinder	1950 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	225 kW / (306 PS) 143 kW / (194 PS) 90 kW / (122 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	700 Nm 400 Nm 440 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	9-Gang Hydraulischer Drehmomentwandler / Heckantrieb
Leermasse	1955 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Continental EcoContact 6 225/45 R18 95Y Continental EcoContact 6 245/40 R19 97Y
Erstzulassung	16.02.2021

Länge / Breite / Höhe	4772 mm / 1839 mm / 1465 mm
Kilometerstand	7195 km

Tabelle 48 Einzelmesswerte Mercedes-Benz C300de T-Modell

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,574	(3,325-3,899)	Test001
Anrollen	e-Mode	2	0,475	(1,500-1,975)	Test002
Anrollen	e-Mode	3	0,514	(1,581-2,095)	Test003
Anrollen	e-Mode	4	0,472	(1,263-1,735)	Test004
Anrollen	e-Mode	5	0,415	(1,589-2,004)	Test005
Anrollen	Hybrid	1	0,454	(1,506-2,000)	Test001
Anrollen	Hybrid	2	0,448	(1,438-1,846)	Test002
Anrollen	Hybrid	3	0,441	(0,922-1,363)	Test003
Anrollen	Hybrid	4	0,458	(1,938-2,396)	Test004
Anrollen	Hybrid	5	0,485	(2,583-3,068)	Test005
Anrollen	Sport	1	0,058	(1,342-1,400)	Test001
Anrollen	Sport	2	0,018	(0,644-0,662)	Test002
Anrollen	Sport	3	0,049	(1,529-1,578)	Test003
Anrollen	Sport	4	0,085	(1,900-1,985)	Test004
Anrollen	Sport	5	0,031	(1,732-1,763)	Test005
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,366	(1,744-2,110)	Test006
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,467	(1,804-2,271)	Test007
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,466	(1,445-1,911)	Test008
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,510	(1,308-1,818)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,383	(1,674-2,057)	Test010
geringe Beschleunigung	Hybrid	1	0,436	(3,127-3,563)	Test006
geringe Beschleunigung	Hybrid	2	0,447	(3,307-3,754)	Test007
geringe Beschleunigung	Hybrid	3	0,442	(1,710-2,152)	Test008
geringe Beschleunigung	Hybrid	4	0,454	(2,301-2,755)	Test009
geringe Beschleunigung	Hybrid	5	0,541	(1,779-2,320)	Test010

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	Sport	1	0,048	(6,112-6,160)	Test006
geringe Beschleunigung	Sport	2	0,072	(1,689-1,761)	Test007
geringe Beschleunigung	Sport	3	0,077	(1,345-1,422)	Test008
geringe Beschleunigung	Sport	4	0,103	(1,821-1,924)	Test009
geringe Beschleunigung	Sport	5	0,085	(1,557-1,642)	Test010
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,358	(1,163-1,521)	Test011
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,339	(2,233-2,562)	Test012
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,355	(1,610-1,965)	Test013
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,357	(3,287-3,644)	Test014
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	0,373	(3,037-3,410)	Test015
hohe Beschleunigung	Hybrid	1	0,439	(2,336-2,775)	Test011
hohe Beschleunigung	Hybrid	2	0,373	(5,294-5,667)	Test012
hohe Beschleunigung	Hybrid	3	0,379	(4,609-4,988)	Test013
hohe Beschleunigung	Hybrid	4	0,385	(3,249-3,634)	Test014
hohe Beschleunigung	Hybrid	5	0,342	(2,435-2,777)	Test015
hohe Beschleunigung	Sport	1	0,083	(1,883-1,966)	Test011
hohe Beschleunigung	Sport	2	0,119	(3,285-3,404)	Test012
hohe Beschleunigung	Sport	3	0,128	(3,503-3,631)	Test013
hohe Beschleunigung	Sport	4	0,125	(3,569-3,694)	Test014
hohe Beschleunigung	Sport	5	0,103	(3,651-3,754)	Test015

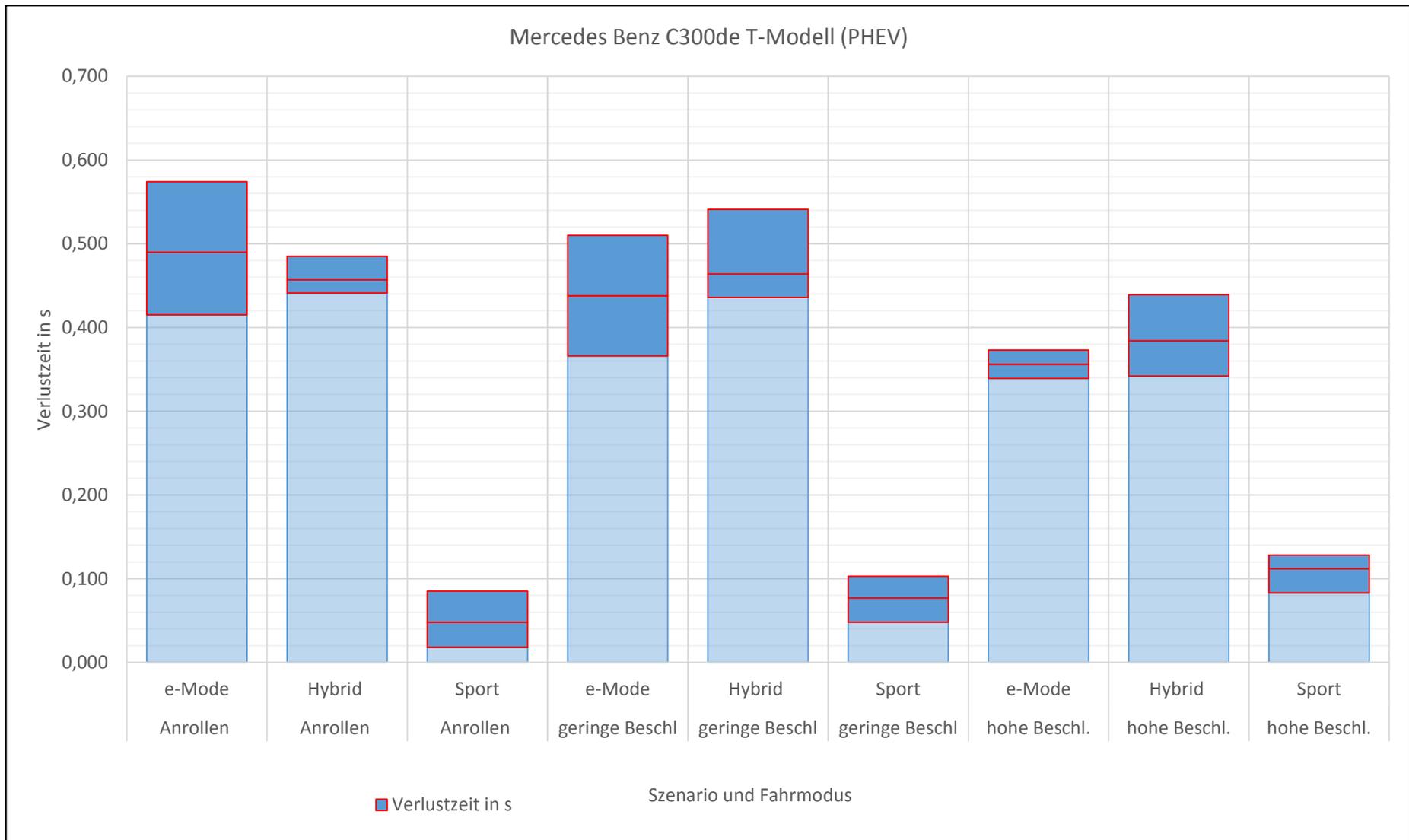


Abbildung 71 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Mercedes-Benz C300de T-Modell

Tabelle 49 Gemittelte Verlustzeit und Range Mercedes-Benz C300de T-Modell

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Pariell
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	Anrollen	e-Mode	0,490	0,415	0,574	0,159	0,075	0,084
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	Anrollen	Hybrid	0,457	0,441	0,485	0,044	0,016	0,028
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	Anrollen	Sport	0,048	0,018	0,085	0,067	0,030	0,037
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	geringe Beschl	e-Mode	0,438	0,366	0,510	0,144	0,072	0,072
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	geringe Beschl	Hybrid	0,464	0,436	0,541	0,105	0,028	0,077
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	geringe Beschl	Sport	0,077	0,048	0,103	0,055	0,029	0,026
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	hohe Beschl.	e-Mode	0,356	0,339	0,373	0,034	0,017	0,017
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid	0,384	0,342	0,439	0,097	0,042	0,055
Mercedes-Benz C300de T (PHEV)	hohe Beschl.	Sport	0,112	0,083	0,128	0,045	0,029	0,016

Anlage 11 Renault Capture E-TECH Plug-in Intense

Tabelle 50 Umgebungsbedingungen Renault Capture E-TECH Plug-in Intense

Testtag/Ort:	31.08.2021	Nienburg/Weser
Wetter:	sonnig, trocken	17 °C
Asphalt:	trocken	15 °C
Wind:	0 km/h	-
Km-Stand:		13391
Hybridisierungsgrad:	PHEV	



Abbildung 72 Renault Capture E-TECH Plug-in Intense (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 73 Renault Capture E-TECH Plug-in Intense (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 51 Fahrzeugdatenblatt Renault Capture E-TECH Plug-in Intense

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1598 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	116 kW / (158 PS) 68 kW / (92 PS) 49 kW / (67 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	205 Nm 144 Nm 205 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	Kupplungsloses Multi-Mode-Getriebe / Vorderradantrieb
Leermasse	1639 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Hankook Kingery 4s ² X (4S) 215/60 R17 96V

Erstzulassung	03.08.2020
Länge / Breite / Höhe	4227 mm / 1797 mm / 1567 mm
Kilometerstand	13991 km

Tabelle 52 Einzelmesswerte Renault Capture E-TECH Plug-in Intense

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	EV-Pure	1	0,077	(3,200-3,277)	Test001
Anrollen	EV-Pure	2	0,164	(1,615-1,779)	Test002
Anrollen	EV-Pure	3	0,175	(2,220-2,395)	Test003
Anrollen	EV-Pure	4	0,136	(1,277-1,413),	Test004
Anrollen	EV-Pure	5	0,093	(1,690-1,783)	Test005
Anrollen	MySense	1	0,079	(1,905-1,984)	Test001
Anrollen	MySense	2	0,135	(1,913-2,048)	Test002
Anrollen	MySense	3	0,127	(1,214-1,341)	Test003
Anrollen	MySense	4	0,163	(1,050-1,213)	Test004
Anrollen	MySense	5	0,234	(1,655-1,889)	Test005
Anrollen	Sport	1	0,196	(2,640-2,836)	Test019
Anrollen	Sport	2	0,151	(1,595-1,746)	Test020
Anrollen	Sport	3	0,186	(1,474-1,660)	Test021
Anrollen	Sport	4	0,169	(1,403-1,572)	Test022
Anrollen	Sport	5	0,166	(2,428-2,594)	Test023
geringe Beschleunigung	EV-Pure	1	0,207	(1,164-1,373)	Test006
geringe Beschleunigung	EV-Pure	2	0,204	(1,404-1,608)	Test007
geringe Beschleunigung	EV-Pure	3	0,161	(2,212-2,373)	Test008
geringe Beschleunigung	EV-Pure	4	0,213	(1,418-1,631)	Test009
geringe Beschleunigung	EV-Pure	5	0,134	(1,724-1,858)	Test010
geringe Beschleunigung	MySense	1	0,175	(2,042- 2,217)	Test006
geringe Beschleunigung	MySense	2	0,179	(1,075-1,254)	Test007
geringe Beschleunigung	MySense	3	0,219	(1,246-1,465)	Test008
geringe Beschleunigung	MySense	4	0,211	(1,323-1,534)	Test009

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	MySense	5	0,236	(1,309-1,545)	Test010
geringe Beschleunigung	Sport	1	0,171	(2,730-2,901)	Test024
geringe Beschleunigung	Sport	2	0,202	(2,873-3,075)	Test025
geringe Beschleunigung	Sport	3	0,181	(1,966-2,147)	Test026
geringe Beschleunigung	Sport	4	0,178	(1,658-1,836)	Test027
geringe Beschleunigung	Sport	5	0,228	(1,166-1,394)	Test028
hohe Beschleunigung	EV-Pure	1	0,236	(1,881-2,117)	Test011
hohe Beschleunigung	EV-Pure	2	0,263	(2,263-2,526)	Test012
hohe Beschleunigung	EV-Pure	3	0,229	(1,901-2,130)	Test013
hohe Beschleunigung	EV-Pure	4	0,228	(1,865-2,093)	Test014
hohe Beschleunigung	EV-Pure	5	0,233	(1,920-2,153)	Test015
hohe Beschleunigung	MySense	1	0,245	(2,305-2,550)	Test011
hohe Beschleunigung	MySense	2	0,231	(1,784-2,015)	Test012
hohe Beschleunigung	MySense	3	0,256	(1,859-2,115)	Test013
hohe Beschleunigung	MySense	4	0,238	(2,135-2,373)	Test014
hohe Beschleunigung	MySense	5	0,224	(1,514-1,738)	Test015
hohe Beschleunigung	Sport	1	0,253	(2,724-2,977)	Test021
hohe Beschleunigung	Sport	2	0,235	(4,516-4,751)	Test029
hohe Beschleunigung	Sport	3	0,251	(1,341-1,592)	Test030
hohe Beschleunigung	Sport	4	0,197	(2,100-2,297)	Test031
hohe Beschleunigung	Sport	5	0,231	(2,772-3,003)	Test032

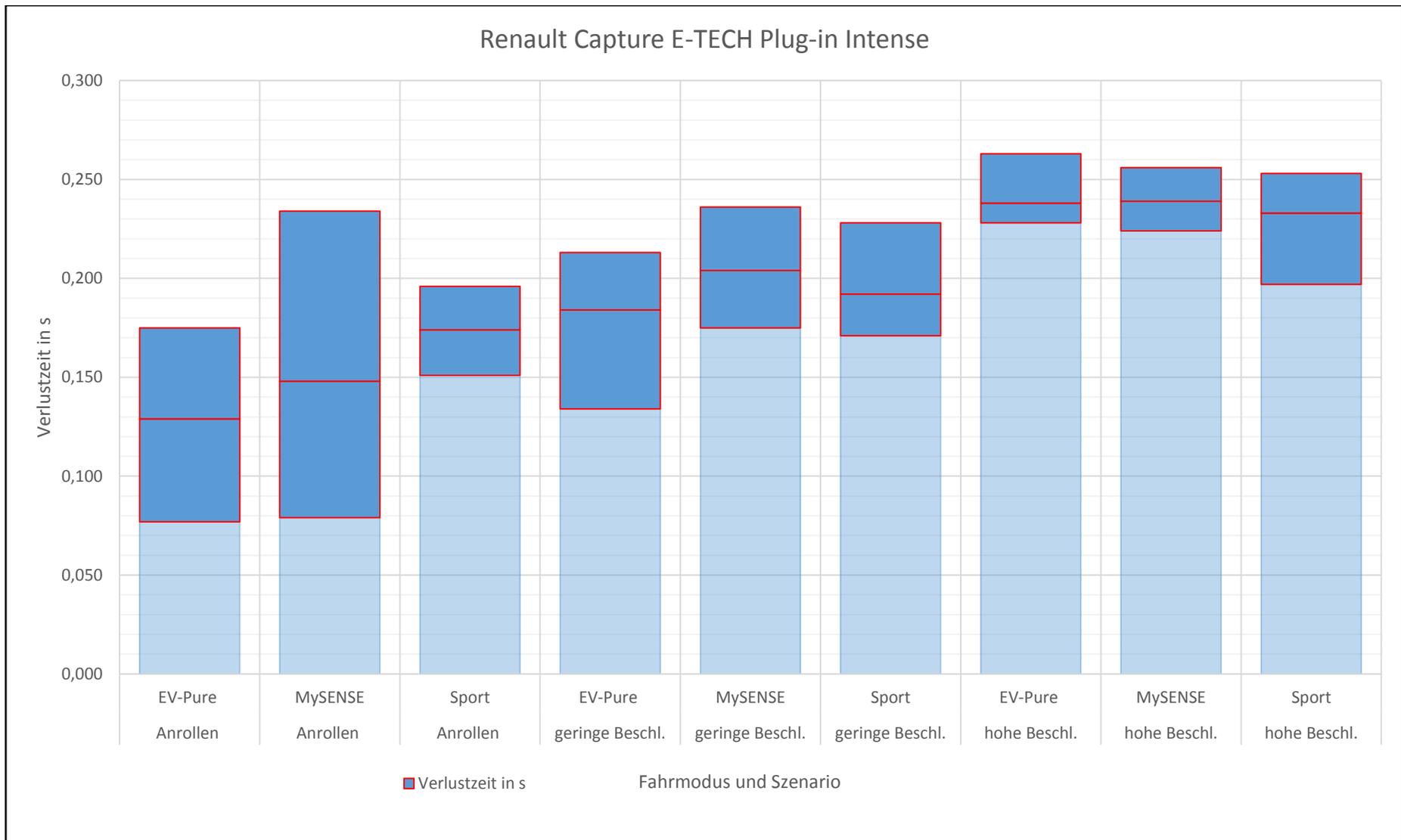


Abbildung 74 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Renault Capture E-TECH Plug-in Intense

Tabelle 53 Gemittelte Verlustzeiten und Range Renault Capture E-Tech Plug-in Intense

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	Anrollen	EV-Pure	0,129	0,077	0,175	0,098	0,052	0,046
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	Anrollen	MySENSE	0,148	0,079	0,234	0,155	0,069	0,086
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	Anrollen	Sport	0,174	0,151	0,196	0,045	0,023	0,022
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	geringe Beschl.	EV-Pure	0,184	0,134	0,213	0,079	0,050	0,029
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	geringe Beschl.	MySENSE	0,204	0,175	0,236	0,061	0,029	0,032
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	geringe Beschl.	Sport	0,192	0,171	0,228	0,057	0,021	0,036
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	hohe Beschl.	EV-Pure	0,238	0,228	0,263	0,035	0,010	0,025
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	hohe Beschl.	MySENSE	0,239	0,224	0,256	0,032	0,015	0,017
Renault Capture Intense PiH (PHEV)	hohe Beschl.	Sport	0,233	0,197	0,253	0,056	0,036	0,020

Anlage 12 Toyota Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport

Tabelle 54 Umgebungsbedingungen Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR SportGR Sport

Testtag/Ort:	02.09.2021	Nienburg/Weser
Wetter:	sonnig, trocken	19 °C
Asphalt:	trocken	15 °C
Wind:	0 km/h	-
Km-Stand:		1412
Hybridisierungsgrad:	HEV	



Abbildung 75 Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 76 Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 55 Fahrzeugdatenblatt Toyota Corolla Touring Sports Hybrid GR Sport

Hybridisierungsgrad	HEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1987 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	135 kW / (184 PS) 112 kW / (152 PS) 80 kW / (109 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	k.A. 190 Nm 202 Nm

Getriebe / Kraftübertragung	Stufenloses CVT-Getriebe / Frontantrieb
Leermasse	1370 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Falken ZIEX ZE914 B 225/40 R18 92W
Erstzulassung	22.07.2021
Länge / Breite / Höhe	4650 mm / 1790 mm / 1460 mm
Kilometerstand	1412 km

Tabelle 56 Einzelmesswerte Toyota Corolla Touring Sports Hybrid GR Sport

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	Eco	1	0,112	(4,010-4,122)	Test001
Anrollen	Eco	2	0,141	(2,321-2,462)	Test002
Anrollen	Eco	3	0,150	(2,642-2,792)	Test003
Anrollen	Eco	4	0,135	(2,199-2,334)	Test004
Anrollen	Eco	5	0,109	(7,721-7,830)	Test005
Anrollen	Normal	1	0,147	(1,580-1,727)	Test001
Anrollen	Normal	2	0,205	(1,550-1,755)	Test002
Anrollen	Normal	3	0,103	(0,826-0,929)	Test003
Anrollen	Normal	4	0,149	(1,268-1,417)	Test004
Anrollen	Normal	5	0,123	(1,475-1,595)	Test005
Anrollen	Comfort	1	0,167	(1,433-1,600)	Test002
Anrollen	Comfort	2	0,179	(3,853-4,032)	Test003
Anrollen	Comfort	3	0,135	(1,047-1,182)	Test004
Anrollen	Comfort	4	0,182	(1,319-1,501)	Test005
Anrollen	Comfort	5	0,153	(0,992-1,145)	Test006
Anrollen	Sport_Sport+	1	0,143	(2,248-2,391)	Test001
Anrollen	Sport_Sport+	2	0,135	(1,382-1,517)	Test002
Anrollen	Sport_Sport+	3	0,208	(1,065-1,273)	Test003
Anrollen	Sport_Sport+	4	0,061	(1,153-1,214)	Test004
Anrollen	Sport_Sport+	5	0,118	(1,966-2,084)	Test005
geringe Beschleunigung	Eco	1	0,139	(2,160-2,299)	Test006
geringe Beschleunigung	Eco	2	0,188	(1,325-1,513)	Test007
geringe Beschleunigung	Eco	3	0,163	(1,008-1,171)	Test008

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	Eco	4	0,115	(2,042-2,157)	Test009
geringe Beschleunigung	Eco	5	0,112	(3,417-3,529)	Test010
geringe Beschleunigung	Normal	1	0,163	(1,373-1,536)	Test006
geringe Beschleunigung	Normal	2	0,115	(2,265-2,380)	Test007
geringe Beschleunigung	Normal	3	0,207	(1,490-1,697)	Test008
geringe Beschleunigung	Normal	4	0,142	(1,004-1,146)	Test009
geringe Beschleunigung	Normal	5	0,193	(1,486-1,679)	Test010
geringe Beschleunigung	Comfort	1	0,238	(1,402-1,640)	Test007
geringe Beschleunigung	Comfort	2	0,157	(1,333-1,480)	Test008
geringe Beschleunigung	Comfort	3	0,252	(1,219-1,471)	Test009
geringe Beschleunigung	Comfort	4	0,179	(1,118-1,297)	Test010
geringe Beschleunigung	Comfort	5	0,178	(1,290-1,568)	Test011
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	1	0,153	(1,552-1,705)	Test007
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	2	0,173	(1,525-1,698)	Test008
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	3	0,193	(1,406-1,599)	Test009
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	4	0,18	(1,841-2,041)	Test010
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	5	0,266	(1,244-,1510)	Test011
hohe Beschleunigung	Eco	1	0,139	(1,097-1,236)	Test011
hohe Beschleunigung	Eco	2	0,191	(1,496-1,687)	Test012
hohe Beschleunigung	Eco	3	0,136	(1,357-1,492)	Test013
hohe Beschleunigung	Eco	4	0,044	(21,927-21,971)	Test015

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	Eco	5	0,155	(1,033-1,188)	Test016
hohe Beschleunigung	Normal	1	0,108	(3,434-3,542)	Test011
hohe Beschleunigung	Normal	2	0,215	(1,721-1,936)	Test012
hohe Beschleunigung	Normal	3	0,163	(2,736-2,899)	Test013
hohe Beschleunigung	Normal	4	0,208	(1,496-1,704)	Test014
hohe Beschleunigung	Normal	5	0,138	(1,508-1,646)	Test015
hohe Beschleunigung	Comfort	1	0,192	(2,353-2,545)	Test012
hohe Beschleunigung	Comfort	2	0,208	(1,282-1,490))	Test013
hohe Beschleunigung	Comfort	3	0,24	(0,613-0,853)	Test014
hohe Beschleunigung	Comfort	4	0,199	(1,059-1,258)	Test015
hohe Beschleunigung	Comfort	5	0,231	(0,807-1,038)	Test016
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	1	0,141	2,091-2,232)	Test013
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	2	0,139	(1,069-1,208)	Test014
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	3	0,156	(0,959-1,155)	Test015
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	4	0,133	(1,033-1,166)	Test016
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	5	0,117	(1,265-1,382)	Test017

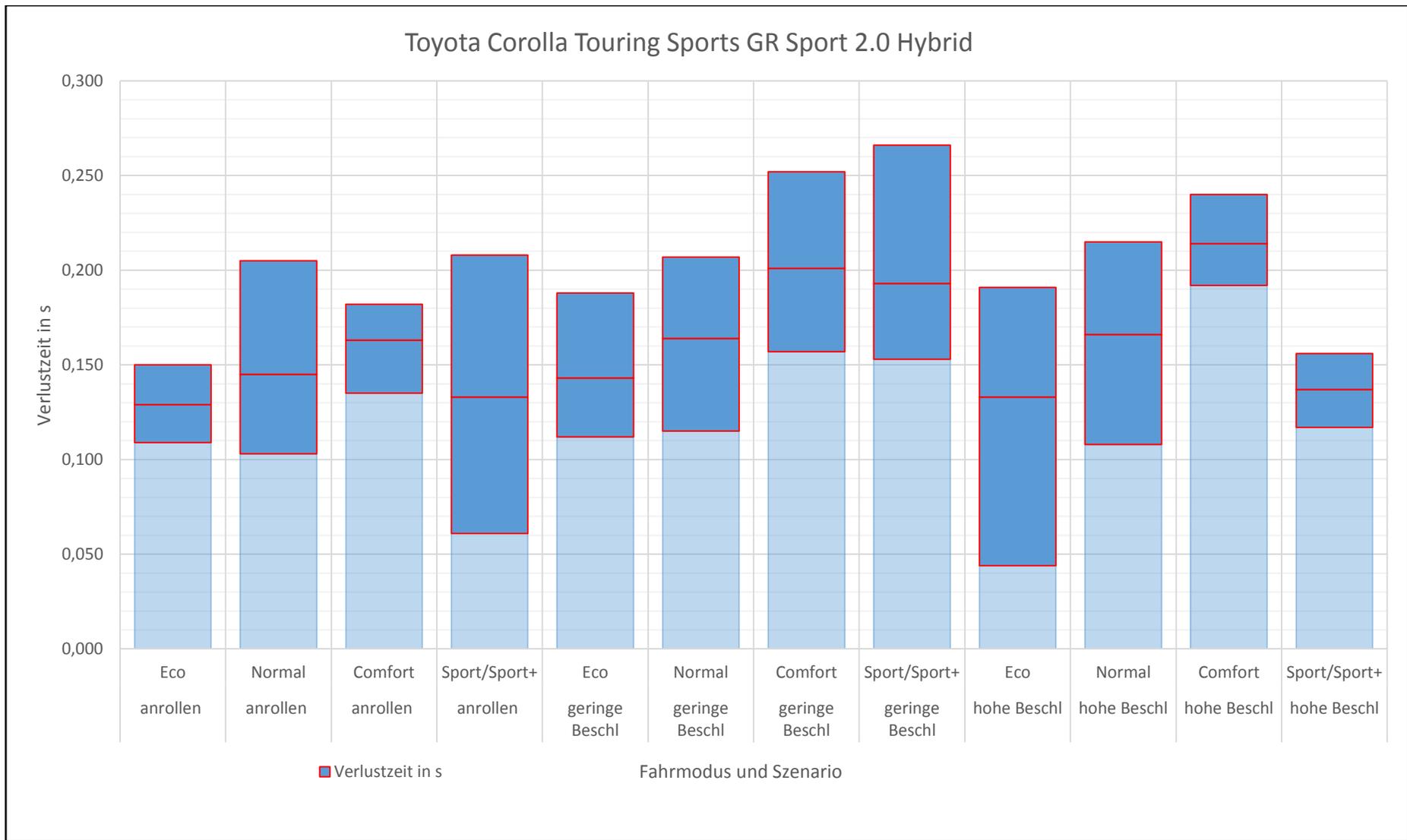


Abbildung 77 Diagramm gemittelte Verlustzeiten Toyota Corolla Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport

Tabelle 57 Gemittelte Verlustzeiten Toyota Touring Sports 2.0 Hybrid GR Sport

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	anrollen	Eco	0,129	0,109	0,150	0,041	0,020	0,021
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	anrollen	Normal	0,145	0,103	0,205	0,102	0,042	0,060
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	anrollen	Comfort	0,163	0,135	0,182	0,047	0,028	0,019
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	anrollen	Sport/Sport+	0,133	0,061	0,208	0,147	0,072	0,075
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	geringe Beschl	Eco	0,143	0,112	0,188	0,076	0,031	0,045
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	geringe Beschl	Normal	0,164	0,115	0,207	0,092	0,049	0,043
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	geringe Beschl	Comfort	0,201	0,157	0,252	0,095	0,044	0,051
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	geringe Beschl	Sport/Sport+	0,193	0,153	0,266	0,113	0,040	0,073
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	hohe Beschl	Eco	0,133	0,044	0,191	0,147	0,089	0,058
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	hohe Beschl	Normal	0,166	0,108	0,215	0,107	0,058	0,049
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	hohe Beschl	Comfort	0,214	0,192	0,240	0,048	0,022	0,026
Toyota Corolla TS 2.0 HY (HEV)	hohe Beschl	Sport/Sport+	0,137	0,117	0,156	0,039	0,020	0,019

Anlage 13 Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury

Tabelle 58 Umgebungsbedingungen Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury

Testtag/Ort:	02.09.2021	Nienburg/Weser
Wetter:	sonnig, trocken	20 °C
Asphalt:	trocken	15 °C
Wind:	0 km/h	-
Km-Stand:		2327
Hybridisierungsgrad:	HEV	



Abbildung 78 Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 79 Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 59 Fahrzeugdatenblatt Toyota Highlander 2.5 Luxury

Hybridisierungsgrad	HEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	2487 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	182 kW / (248 PS) 140 kW / (190 PS) 134 kW / (182 PS) VA 40 kW / (54 PS) HA
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	k.A. 239 Nm 270 Nm VA / 121 Nm HA
Getriebe / Kraftübertragung	Stufenloses CVT-Getriebe / Allradantrieb (Hinterachse elektrisch)
Leermasse	2205 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Dunlop SP SportMAXX 050 235/55 R20 102V

Erstzulassung	08.06.2021
Länge / Breite / Höhe	4966 mm / 1930 mm / 1755 mm
Kilometerstand	2327 km

Tabelle 60 Einzelmesswerte Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	EV	1	0,111	(2,275-2,386)	Test001
Anrollen	EV	2	0,166	(1,099-1,265)	Test002
Anrollen	EV	3	0,132	(1,493-1,625)	Test003
Anrollen	EV	4	0,117	(1,904-2,021)	Test004
Anrollen	EV	5	0,153	(1,476-1,629)	Test005
Anrollen	Eco	1	0,151	(2,354-2,504)	Test011
Anrollen	Eco	2	0,154	(0,620-0,774)	Test012
Anrollen	Eco	3	0,166	(1,046-1,212)	Test013
Anrollen	Eco	4	0,186	(2,033-2,219)	Test014
Anrollen	Eco	5	0,143	(1,726-1,869)	Test015
Anrollen	Normal	1	0,179	(2,556-2,735)	Test001
Anrollen	Normal	2	0,24	(1,381-1,621)	Test002
Anrollen	Normal	3	0,165	(0,725-0,890)	Test003
Anrollen	Normal	4	0,191	(0,951-1,142)	Test004
Anrollen	Normal	5	0,228	(1,758-1,986)	Test005
Anrollen	Sport_Sport+	1	0,133	(1,438-1,571)	Test019
Anrollen	Sport_Sport+	2	0,169	(1,081-1,250)	Test020
Anrollen	Sport_Sport+	3	0,138	(1,593-1,731)	Test021
Anrollen	Sport_Sport+	4	0,139	(1,186-1,325)	Test022
Anrollen	Sport_Sport+	5	0,155	(0,808-0,963)	Test023
geringe Beschleunigung	EV	1	0,202	(1,301-1,502)	Test006
geringe Beschleunigung	EV	2	0,164	(1,313-1,477)	Test007
geringe Beschleunigung	EV	3	0,176	(1,179-1,355)	Test008
geringe Beschleunigung	EV	4	0,193	(0,965-1,158)	Test009
geringe Beschleunigung	EV	5	0,221	(0,854-1,075)	Test010

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	Eco	1	0,177	(1,073-1,250)	Test016
geringe Beschleunigung	Eco	2	0,179	(2,313-2,492)	Test017
geringe Beschleunigung	Eco	3	0,18	(1,462-1,642)	Test018
geringe Beschleunigung	Eco	4	0,175	(1,101-1,276)	Test019
geringe Beschleunigung	Eco	5	0,202	(1,046-1,248)	Test020
geringe Beschleunigung	Normal	1	0,206	(1,480-1,686)	Test006
geringe Beschleunigung	Normal	2	0,223	(1,597-1,820)	Test007
geringe Beschleunigung	Normal	3	0,253	(0,791-1,044)	Test008
geringe Beschleunigung	Normal	4	0,192	(1,364-1,556)	Test009
geringe Beschleunigung	Normal	5	0,23	(1,303-1,533)	Test010
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	1	0,17	(0,937-1,107)	Test024
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	2	0,213	(0,943-1,156)	Test025
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	3	0,253	(1,320-1,573)	Test026
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	4	0,181	(0,869-1,050)	Test027
geringe Beschleunigung	Sport_Sport+	5	0,267	(1,121-1,388)	Test028
hohe Beschleunigung	Eco	1	0,252	(1,833-2,085)	Test021
hohe Beschleunigung	Eco	2	0,238	(1,111-1,349)	Test022
hohe Beschleunigung	Eco	3	0,230	(0,817-1,047)	Test023
hohe Beschleunigung	Eco	4	0,257	(1,100-1,357)	Test024
hohe Beschleunigung	Eco	5	0,254	(0,696-0,950)	Test025
hohe Beschleunigung	Normal	1	0,259	(1,500-1,759)	Test011

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	Normal	2	0,255	(1,130-1,385)	Test012
hohe Beschleunigung	Normal	3	0,23	(1,186-1,416)	Test013
hohe Beschleunigung	Normal	4	0,274	(0,819-1,093)	Test014
hohe Beschleunigung	Normal	5	0,258	(0,950-1,208)	Test015
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	1	0,239	(0,827-1,066)	Test029
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	2	0,308	(0,643-0,951)	Test030
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	3	0,289	(1,387-1,676)	Test031
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	4	0,282	(0,883-1,165)	Test032
hohe Beschleunigung	Sport_Sport+	5	0,224	(1,039-1,263)	Test033

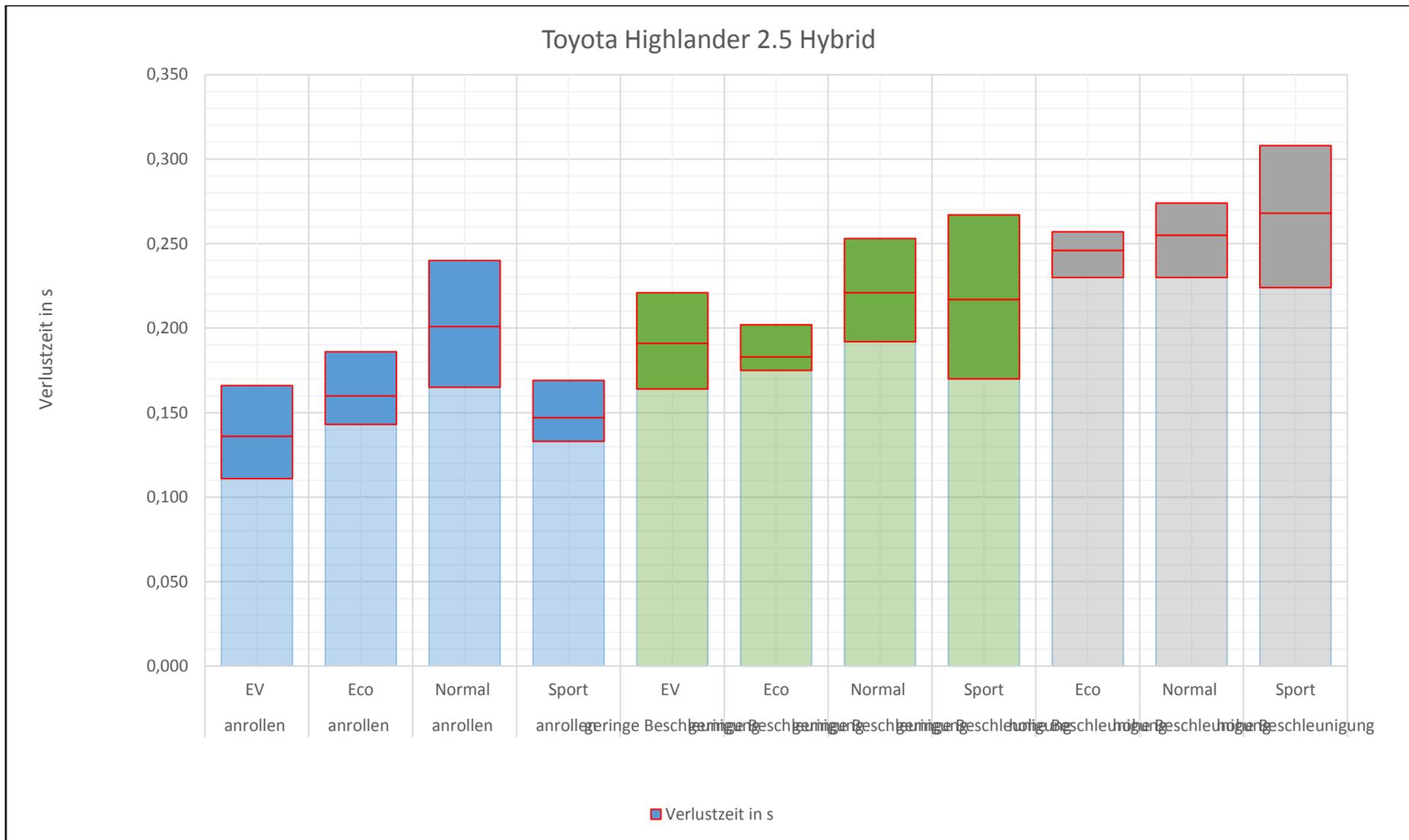


Abbildung 80 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury

Tabelle 61 Tabelle 61 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Highlander 2.5 Hybrid Luxury

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	EV	0,136	0,111	0,166	0,055	0,025	0,030
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	Eco	0,160	0,143	0,186	0,043	0,017	0,026
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	Normal	0,201	0,165	0,240	0,075	0,036	0,039
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	Anrollen	Sport	0,147	0,133	0,169	0,036	0,014	0,022
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschl.	EV	0,191	0,164	0,221	0,057	0,027	0,030
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschl.	Eco	0,183	0,175	0,202	0,027	0,008	0,019
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschl.	Normal	0,221	0,192	0,253	0,061	0,029	0,032
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	geringe Beschl.	Sport	0,217	0,170	0,267	0,097	0,047	0,050
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	hohe Beschl.	Eco	0,246	0,230	0,257	0,027	0,016	0,011
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	hohe Beschl.	Normal	0,255	0,230	0,274	0,044	0,025	0,019
Toyota Highlander 2.5 HY (HEV)	hohe Beschl.	Sport	0,268	0,224	0,308	0,084	0,044	0,040

Anlage 14 Toyota Prius III

Tabelle 62 Umgebungsbedingungen Toyota Prius III

Testtag/Ort:	27.08.2021	Zwickau
Wetter:	leichter Regen	14°C
Asphalt:	feucht	10°C
Wind:	10 km/h	W
Km-Stand:		19584
Hybridisierungsgrad:	HEV	



Abbildung 81 Toyota Prius III
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 82 Toyota Prius III
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 63 Fahrzeugdatenblatt Toyota Prius III

Hybridisierungsgrad	HEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1789 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	100 kW / (136 PS) 73 kW / (99 PS) 60 kW / (82 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	k.A. 142 Nm 107 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	Stufenloses CVT-Getriebe / Frontantrieb
Leermasse	1445 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Bridgestone B250 195/55 R15 91H

Länge / Breite / Höhe	4460 mm / 1745 mm / 1490 mm
Kilometerstand	19584 km

Tabelle 64 Einzelmesswerte Toyota Prius III

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	EV	1	0,265	(1,618-1,883)	Test017
Anrollen	EV	2	0,383	(3,406-3,789)	Test018
Anrollen	EV	3	0,252	(1,319-1,571)	Test019
Anrollen	EV	4	0,282	(1,528-1,810)	Test020
Anrollen	EV	5	0,211	(0,696-0,907)	Test021
Anrollen	PWR	1	0,385	(2,787-3,172)	Test002
Anrollen	PWR	2	0,168	(0,649-0,817)	Test003
Anrollen	PWR	3	0,365	(1,275-1,640)	Test004
Anrollen	PWR	4	0,314	(0,985-1,299)	Test005
Anrollen	PWR	5	0,337	(1,566-1,903)	Test006
geringe Beschleunigung	EV	1	0,410	(3,479-3,889)	Test022
geringe Beschleunigung	EV	2	0,369	(0,989-1,358)	Test023
geringe Beschleunigung	EV	3	0,373	(1,611-1,984)	Test024
geringe Beschleunigung	EV	4	0,419	(2,505-2,924)	Test025
geringe Beschleunigung	EV	5	0,390	(2,130-2,520)	Test026
geringe Beschleunigung	PWR	1	0,349	(2,613-2,962)	Test007
geringe Beschleunigung	PWR	2	0,181	(1,708-1,889)	Test008
geringe Beschleunigung	PWR	3	0,393	(2,321-2,614)	Test009
geringe Beschleunigung	PWR	4	0,341	(1,793-2,134)	Test010
geringe Beschleunigung	PWR	5	0,267	(1,520-1,787)	Test011
hohe Beschleunigung	EV	1	0,362	(4,390-4,752)	Test001
hohe Beschleunigung	EV	2	0,321	(1,411-1,732)	Test027

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	EV	3	0,339	(2,361-2,700)	Test028
hohe Beschleunigung	EV	4	0,351	(1,700-2,051)	Test029
hohe Beschleunigung	EV	5	0,351	(3,442-3,793)	Test030
hohe Beschleunigung	PWR	1	0,302	(2,620-2,922)	Test012
hohe Beschleunigung	PWR	2	0,358	(2,113-2,473)	Test013
hohe Beschleunigung	PWR	3	0,379	(2,587-2,966)	Test014
hohe Beschleunigung	PWR	4	0,309	(0,753-1,062)	Test015
hohe Beschleunigung	PWR	5	0,344	(2,239-2,583)	Test016

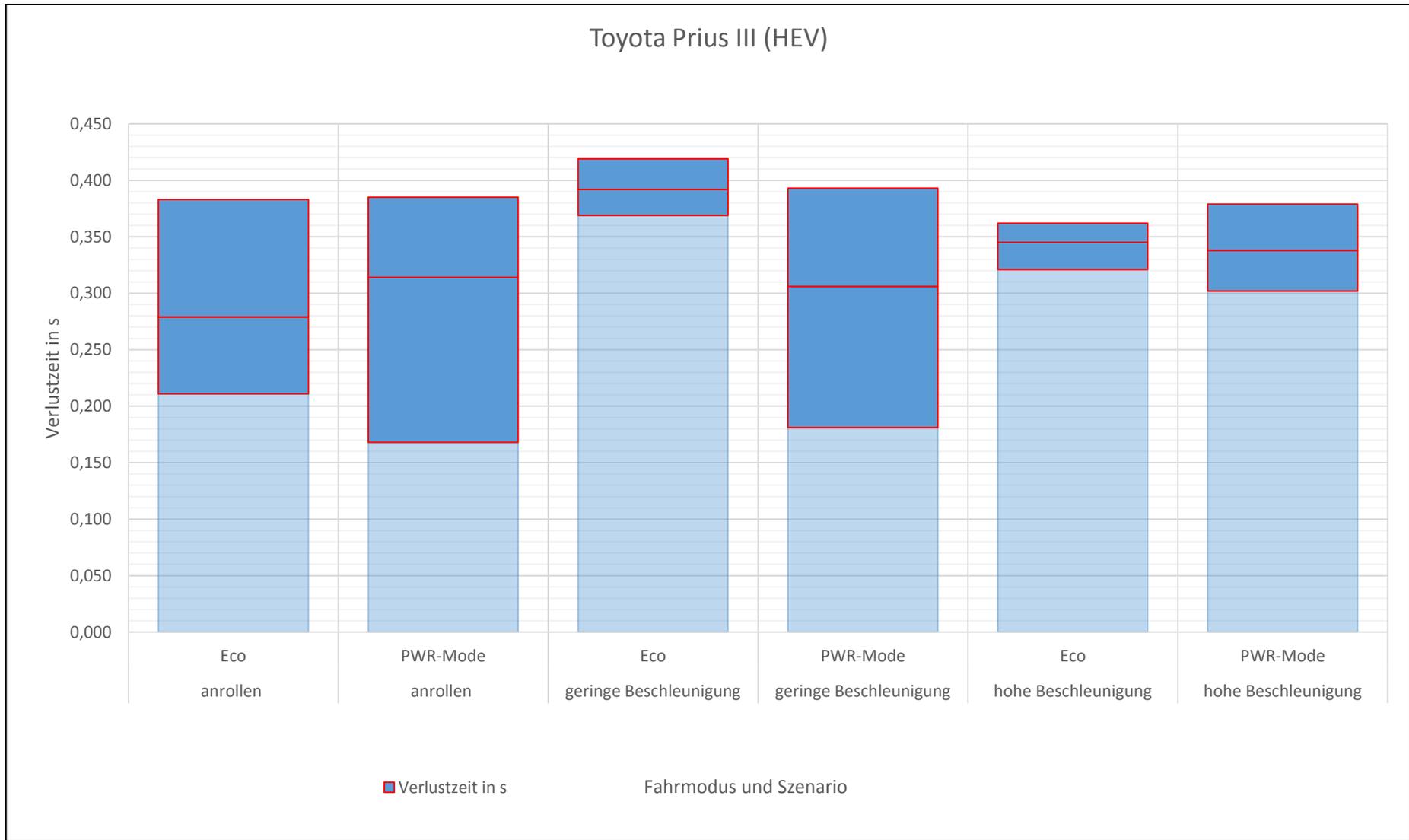


Abbildung 83 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Prius III

Tabelle 65 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Prius III

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Toyota Prius III (HEV)	Anrollen	Eco	0,279	0,211	0,383	0,172	0,068	0,104
Toyota Prius III (HEV)	Anrollen	PWR-Mode	0,314	0,168	0,385	0,217	0,146	0,071
Toyota Prius III (HEV)	geringe Beschl.	Eco	0,392	0,369	0,419	0,050	0,023	0,027
Toyota Prius III (HEV)	geringe Beschl.	PWR-Mode	0,306	0,181	0,393	0,212	0,125	0,087
Toyota Prius III (HEV)	hohe Beschl.	Eco	0,345	0,321	0,362	0,041	0,024	0,017
Toyota Prius III (HEV)	hohe Beschl.	PWR-Mode	0,338	0,302	0,379	0,077	0,036	0,041

Anlage 15 Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive



Abbildung 84 Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 85 Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive
(Schrägansicht hinten rechts)

Technische Daten:

Tabelle 66 Fahrzeugdatenblatt Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1987 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	90 kW / (122 PS) 72 kW / (98 PS) 53 kW / (72 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	k.A. 142 Nm 163 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	Stufenloses CVT-Getriebe / Frontantrieb
Leermasse	1611 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Toyo NanoEnergy J64 195/55 R15 91H
Erstzulassung	17.05.2021
Länge / Breite / Höhe	4645 mm / 1760 mm / 1470 mm
Kilometerstand	1641 km

Tabelle 67 Umgebungsbedingungen Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive

Testtag/Ort:	03.09.2021	Nienburg/Weser
Wetter:	sonnig, trocken	20 °C
Asphalt:	trocken	18 °C
Wind:	5 km/h	SO
Km-Stand:		1641
Hybridisierungsgrad:	PHEV	

Tabelle 68 Einzelmesswerte Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	EV	1	0,197	(2,519-2,716)	Test001
Anrollen	EV	2	0,145	(1,079-1,224)	Test002
Anrollen	EV	3	0,103	(1,728-1,831)	Test003
Anrollen	EV	4	0,161	(1,559-1,720)	Test004
Anrollen	EV	5	0,137	(1,993-2,130)	Test005
Anrollen	HV Eco	1	0,105	(0,759-0,864)	Test001
Anrollen	HV Eco	2	0,164	(0,365-0,529)	Test002
Anrollen	HV Eco	3	0,101	(2,728-2,829)	Test003
Anrollen	HV Eco	4	0,129	(1,032-1,161)	Test004
Anrollen	HV Eco	5	0,119	(0,997-1,116)	Test005
Anrollen	HV Normal	1	0,136	(1,135-1,271)	Test037
Anrollen	HV Normal	2	0,154	(0,869-1,023)	Test038
Anrollen	HV Normal	3	0,162	(0,929-1,091)	Test039
Anrollen	HV Normal	4	0,15	(0,827-0,977)	Test040
Anrollen	HV Normal	5	0,162	(0,965-1,127)	Test041
Anrollen	HV Sport	1	0,137	(1,175-1,312)	Test019
Anrollen	HV Sport	2	0,144	(1,090-1,234)	Test020
Anrollen	HV Sport	3	0,146	(0,818-0,964)	Test021
Anrollen	HV Sport	4	0,145	(1,025-1,170)	Test022
Anrollen	HV Sport	5	0,14	(0,920-1,060)	Test023
geringe Beschleunigung	EV	1	0,165	(1,406-1,571)	Test006
geringe Beschleunigung	EV	2	0,192	(1,342-1,534)	Test007
geringe Beschleunigung	EV	3	0,18	(2,614-2,794)	Test008

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	EV	4	0,176	(1,421-1,597)	Test009
geringe Beschleunigung	EV	5	0,168	(1,433-1,601)	Test010
geringe Beschleunigung	HV Eco	1	0,168	(0,959-1,127)	Test006
geringe Beschleunigung	HV Eco	2	0,682	(1,064-1,746)	Test007
geringe Beschleunigung	HV Eco	3	0,15	(0,920-1,070)	Test008
geringe Beschleunigung	HV Eco	4	0,162	(1,097-1,259)	Test009
geringe Beschleunigung	HV Eco	5	0,196	(0,741-0,937)	Test010
geringe Beschleunigung	HV Normal	1	0,175	(0,970-1,145)	Test042
geringe Beschleunigung	HV Normal	2	0,187	(0,881-1,068)	Test043
geringe Beschleunigung	HV Normal	3	0,199	(0,653-0,852)	Test044
geringe Beschleunigung	HV Normal	4	0,202	(0,702-0,904)	Test045
geringe Beschleunigung	HV Normal	5	0,173	(0,817-0,990)	Test046
geringe Beschleunigung	HV Sport	1	0,166	(1,023-1,189)	Test024
geringe Beschleunigung	HV Sport	2	0,165	(1,023-1,188)	Test025
geringe Beschleunigung	HV Sport	3	0,173	(1,061-1,234)	Test026
geringe Beschleunigung	HV Sport	4	0,153	(0,664-0,817)	Test027
geringe Beschleunigung	HV Sport	5	0,166	(0,676-0,843)	Test028
hohe Beschleunigung	EV	1	0,253	(1,347-1,600)	Test011
hohe Beschleunigung	EV	2	0,19	(1,454-1,644)	Test012
hohe Beschleunigung	EV	3	0,177	(0,976-1,153)	Test013
hohe Beschleunigung	EV	4	0,194	(1,350-1,544)	Test014

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	EV	5	0,197	(0,955-1,152)	Test015
hohe Beschleunigung	HV Eco	1	0,2	(1,081-1,281)	Test011
hohe Beschleunigung	HV Eco	2	0,211	(1,127-1,338)	Test012
hohe Beschleunigung	HV Eco	3	0,228	(0,947-1,175)	Test013
hohe Beschleunigung	HV Eco	4	0,183	(0,773-0,956)	Test014
hohe Beschleunigung	HV Eco	5	0,214	(0,949-1,163)	Test015
hohe Beschleunigung	HV Normal	1	0,218	(0,587-0,805)	Test047
hohe Beschleunigung	HV Normal	2	0,165	(1,132-1,297)	Test048
hohe Beschleunigung	HV Normal	3	0,253	(0,707-0,960)	Test049
hohe Beschleunigung	HV Normal	4	0,222	(0,762-0,984)	Test050
hohe Beschleunigung	HV Normal	5	0,226	(0,749-0,975)	Test051
hohe Beschleunigung	HV Sport	1	0,187	(1,204-1,391)	Test029
hohe Beschleunigung	HV Sport	2	0,218	(0,657-0,875)	Test030
hohe Beschleunigung	HV Sport	3	0,202	(1,664-1,866)	Test031
hohe Beschleunigung	HV Sport	4	0,198	(0,854-1,052)	Test032
hohe Beschleunigung	HV Sport	5	0,278	(0,500-0,778)	Test033

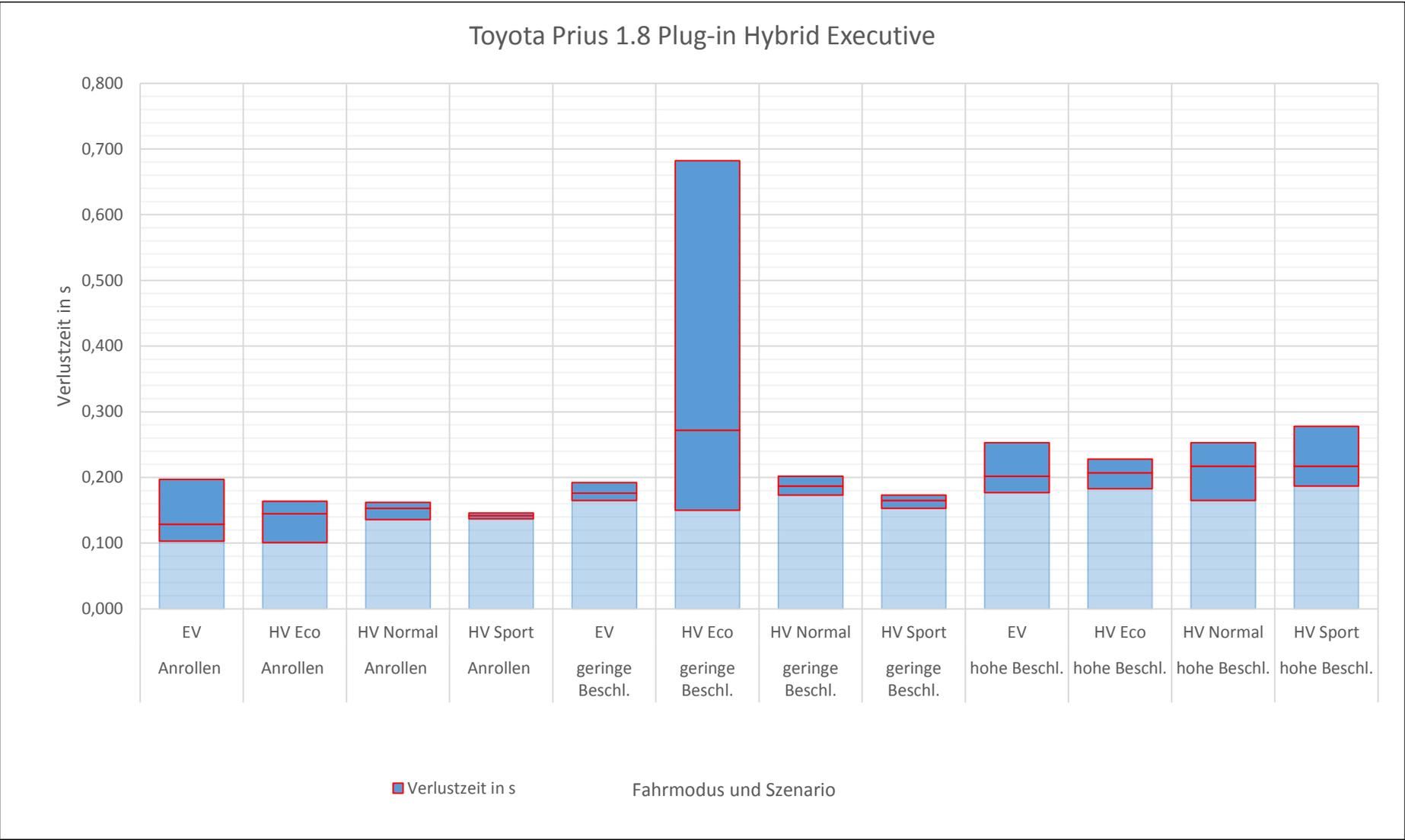


Abbildung 86 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive

Tabelle 69 Gemittelte Verlustzeit und Range Toyota Prius 1.8 Plug-in Hybrid Executive

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	Anrollen	EV	0,129	0,103	0,197	0,094	0,026	0,068
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	Anrollen	HV Eco	0,145	0,101	0,164	0,063	0,044	0,019
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	Anrollen	HV Normal	0,153	0,136	0,162	0,026	0,017	0,009
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	Anrollen	HV Sport	0,142	0,137	0,146	0,009	0,005	0,004
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	geringe Beschl.	EV	0,176	0,165	0,192	0,027	0,011	0,016
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	geringe Beschl.	HV Eco	0,272	0,150	0,682	0,532	0,122	0,410
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	geringe Beschl.	HV Normal	0,187	0,173	0,202	0,029	0,014	0,015
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	geringe Beschl.	HV Sport	0,165	0,153	0,173	0,02	0,012	0,008
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	hohe Beschl.	EV	0,202	0,177	0,253	0,076	0,025	0,051
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	hohe Beschl.	HV Eco	0,207	0,183	0,228	0,045	0,024	0,021
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	hohe Beschl.	HV Normal	0,217	0,165	0,253	0,088	0,052	0,036
Toyota Prius 1.8 PiH (PHEV)	hohe Beschl.	HV Sport	0,217	0,187	0,278	0,091	0,030	0,061

Anlage 16 Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i



Abbildung 87 Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 88 Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 70 Fahrzeugdatenblatt Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1987 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	225 kW / (306 PS) 136 kW / (185 PS) 134 kW / (182 PS) VA 40 kW / (54 PS) HA
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	k.A. 227 Nm 270 Nm VA / 121 Nm HA
Getriebe / Kraftübertragung	Stufenloses CVT-Getriebe / Allradantrieb VA Hybrid, HA elektrisch
Leermasse	2075 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Yokohama AVID GT 235/55 R19 101V
Erstzulassung	10.12.2020
Länge / Breite / Höhe	4600 mm / 1855 mm / 1690 mm
Kilometerstand	7690 km

Tabelle 71 Umgebungsbedingungen Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i

Testtag/Ort:	02.09.2021	Nienburg/Weser
Wetter:	sonnig, trocken	20 °C
Asphalt:	trocken	18 °C
Wind:	5 km/h	SO
Km-Stand:		7673
Hybridisierungsgrad:	PHEV	

Tabelle 72 Einzelmesswerte Toyota RAV4 Plug-in Hybrid AWD-i

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	EV	1	0,131	(0,701-0,832)	Test001
Anrollen	EV	2	0,139	(0,628-0,767)	Test002
Anrollen	EV	3	0,124	(0,797-0,921)	Test003
Anrollen	EV	4	0,114	(0,685-0,799)	Test004
Anrollen	EV	5	0,099	(0,948-1,047)	Test005
Anrollen	HV Eco	1	0,101	(2,016-2,117)	Test001
Anrollen	HV Eco	2	0,117	(0,752-0,869)	Test002
Anrollen	HV Eco	3	0,174	(1,093-1,267)	Test003
Anrollen	HV Eco	4	0,122	(1,240-1,362)	Test004
Anrollen	HV Eco	5	0,132	(1,244-1,376)	Test005
Anrollen	HV Normal	1	0,175	(1,274-1,449)	Test001
Anrollen	HV Normal	2	0,14	(1,108-1,248)	Test002
Anrollen	HV Normal	3	0,138	(0,880-1,018)	Test003
Anrollen	HV Normal	4	0,201	(0,953-1,154)	Test004
Anrollen	HV Normal	5	0,154	(0,811-0,965)	Test005
Anrollen	HV Sport	1	0,15	(1,313-1,563)	Test001
Anrollen	HV Sport	2	0,144	(0,280-0,424)	Test002
Anrollen	HV Sport	3	0,126	(0,968-1,094)	Test003
Anrollen	HV Sport	4	0,136	(0,888-1,024)	Test004
Anrollen	HV Sport	5	0,142	(0,849-0,991)	Test005
geringe Beschleunigung	EV	1	0,2	(1,341-1,541)	Test007
geringe Beschleunigung	EV	2	0,198	(1,254-1,452)	Test008
geringe Beschleunigung	EV	3	0,224	(0,772-0,996)	Test009
geringe Beschleunigung	EV	4	0,216	(0,887-1,103)	Test010

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	EV	5	0,209	(0,995-1,204)	Test011
geringe Beschleunigung	HV Eco	1	0,193	(0,905-1,098)	Test006
geringe Beschleunigung	HV Eco	2	0,202	(0,748-0,950)	Test007
geringe Beschleunigung	HV Eco	3	0,213	(0,686-0,899)	Test008
geringe Beschleunigung	HV Eco	4	0,21	(1,125-1,335)	Test009
geringe Beschleunigung	HV Eco	5	0,193	(0,471-0,664)	Test010
geringe Beschleunigung	HV Normal	1	0,226	(1,300-1,527)	Test006
geringe Beschleunigung	HV Normal	2	0,237	(0,926-1,163)	Test007
geringe Beschleunigung	HV Normal	3	0,223	(1,263-1,486)	Test008
geringe Beschleunigung	HV Normal	4	0,205	(0,431-0,636)	Test009
geringe Beschleunigung	HV Normal	5	0,254	(3,967-4,221)	Test010
geringe Beschleunigung	HV Sport	1	0,212	(1,047-1,259)	Test006
geringe Beschleunigung	HV Sport	2	0,188	(1,032-1,220)	Test007
geringe Beschleunigung	HV Sport	3	0,224	(0,928-1,152)	Test008
geringe Beschleunigung	HV Sport	4	0,242	(0,813-1,055)	Test009
geringe Beschleunigung	HV Sport	5	0,226	(0,613-0,839)	Test010
hohe Beschleunigung	EV	1	0,278	(1,696-1,974)	Test012
hohe Beschleunigung	EV	2	0,208	(1,188-1,396)	Test013
hohe Beschleunigung	EV	3	0,264	(1,371-1,635)	Test014
hohe Beschleunigung	EV	4	0,212	(3,019-3,231)	Test015
hohe Beschleunigung	EV	5	0,232	(1,689-1,921)	Test016

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	HV Eco	1	0,265	(0,483-0,748)	Test011
hohe Beschleunigung	HV Eco	2	0,222	(1,317-1,539)	Test012
hohe Beschleunigung	HV Eco	3	0,265	(1,014-1,279)	Test013
hohe Beschleunigung	HV Eco	4	0,223	(1,464-1,687)	Test014
hohe Beschleunigung	HV Eco	5	0,266	(1,656-1,922)	Test015
hohe Beschleunigung	HV Normal	1	0,249	(0,521-0,770)	Test011
hohe Beschleunigung	HV Normal	2	0,243	(0,777-1,020)	Test012
hohe Beschleunigung	HV Normal	3	0,247	(1,262-1,509)	Test013
hohe Beschleunigung	HV Normal	4	0,28	(1,008-1,288)	Test014
hohe Beschleunigung	HV Normal	5	0,271	(1,407-1,678)	Test015
hohe Beschleunigung	HV Sport	1	0,271	(4,218-4,489)	Test011
hohe Beschleunigung	HV Sport	2	0,283	(0,820-1,103)	Test012
hohe Beschleunigung	HV Sport	3	0,288	(0,891-1,179)	Test013
hohe Beschleunigung	HV Sport	4	0,281	(0,800-1,081)	Test014
hohe Beschleunigung	HV Sport	5	0,279	(0,990-1,269)	Test015

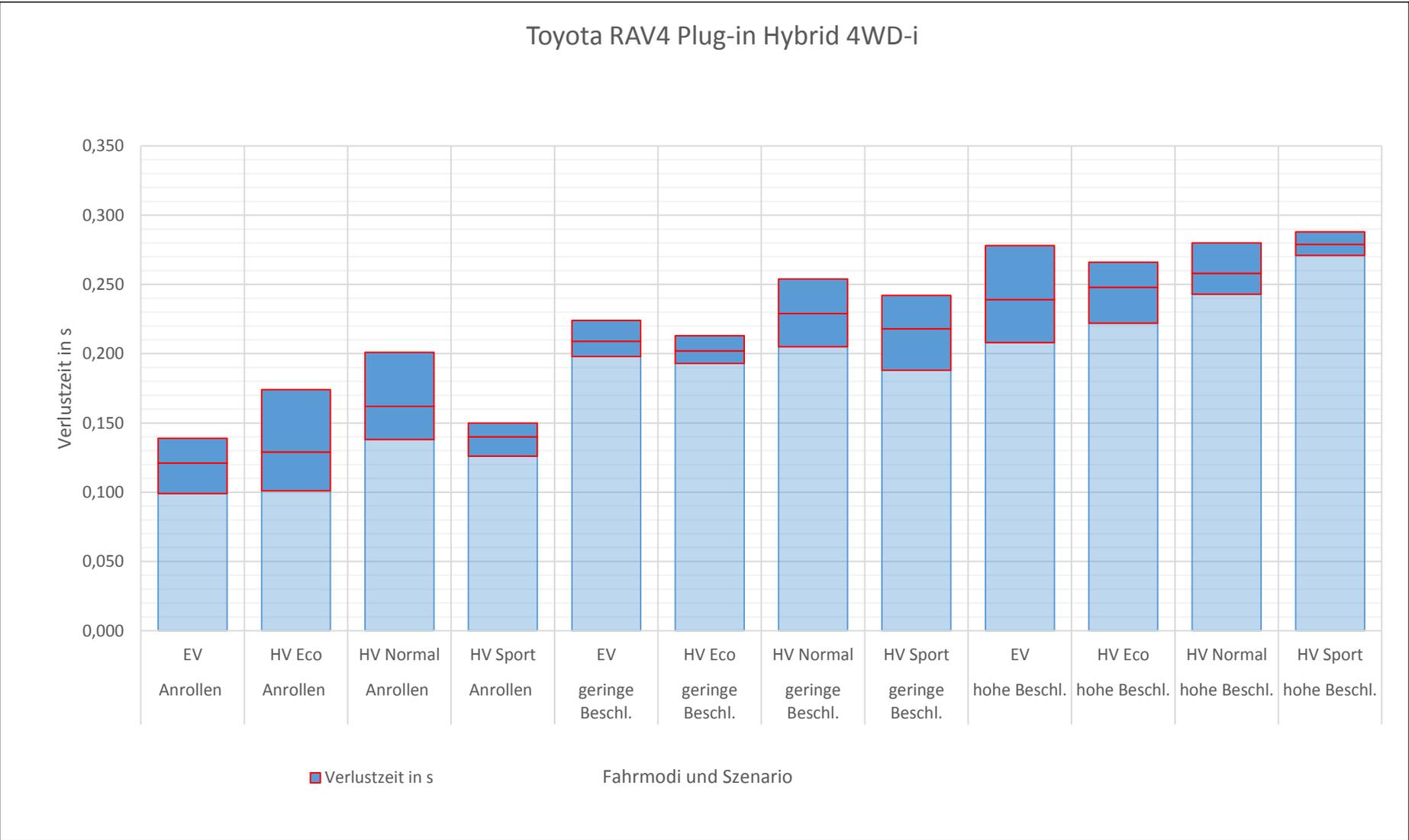


Abbildung 89 Diagramm gemittelte Verlustzeit und Range Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i

Tabelle 73 Tabelle 74 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range	Min. Partiell	Max. Partiell
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	Anrollen	EV	0,121	0,099	0,139	0,040	0,022	0,018
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	Anrollen	HV Eco	0,129	0,101	0,174	0,073	0,028	0,045
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	Anrollen	HV Normal	0,162	0,138	0,201	0,063	0,024	0,039
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	Anrollen	HV Sport	0,140	0,126	0,150	0,024	0,014	0,010
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	geringe Beschl.	EV	0,209	0,198	0,224	0,026	0,011	0,015
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	geringe Beschl.	HV Eco	0,202	0,193	0,213	0,020	0,009	0,011
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	geringe Beschl.	HV Normal	0,229	0,205	0,254	0,049	0,024	0,025
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	geringe Beschl.	HV Sport	0,218	0,188	0,242	0,054	0,030	0,024
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	hohe Beschl.	EV	0,239	0,208	0,278	0,070	0,031	0,039
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	hohe Beschl.	HV Eco	0,248	0,222	0,266	0,044	0,026	0,018
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	hohe Beschl.	HV Normal	0,258	0,243	0,280	0,037	0,015	0,022
Toyota RAV4 Plug-in Hybrid 4WD-i (PHEV)	hohe Beschl.	HV Sport	0,279	0,271	0,288	0,017	0,008	0,009

Anlage 17 Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD



Abbildung 90 Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 91 Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD (Schrägansicht hinten rechts)

Technische Daten:

Tabelle 74 Fahrzeugdatenblatt Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD

Hybridisierungsgrad	HEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1490 cm ³ / 3
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	85 kW / (116 PS) 68 kW / (98 PS) 59 kW / (80 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	k.A. 120 Nm 141 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	Stufenloses CVT-Getriebe / Frontantrieb
Leermasse	1270 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Goodyear EffcientGrip Perf. 2 215/50 R18 92V
Erstzulassung	Fhgz. war noch nicht zugelassen
Länge / Breite / Höhe	4172 mm / 1765 mm / 1595 mm
Kilometerstand	54 km

Tabelle 75 Umgebungsbedingungen Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD

Testtag/Ort:	03.09.2021	Nienburg/Weser
Wetter:	sonnig, trocken	20 °C
Asphalt:	trocken	18 °C
Wind:	5 km/h	SO
Km-Stand:		54
Hybridisierungsgrad:	HEV	

Tabelle 76 Einzelmesswerte Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	EV	1	0,169	(2,024-1,193)	Test019
Anrollen	EV	2	0,176	(0,870-1,046)	Test020
Anrollen	EV	3	0,139	(0,577-0,716)	Test021
Anrollen	EV	4	0,111	(0,673-0,784)	Test022
Anrollen	EV	5	0,161	(1,259-1,420)	Test023
Anrollen	HV Eco	1	0,225	(0,806-1,031)	Test001
Anrollen	HV Eco	2	0,23	(0,800-1,030)	Test002
Anrollen	HV Eco	3	0,209	(0,860-1,069)	Test003
Anrollen	HV Eco	4	0,188	(0,805-0,993)	Test004
Anrollen	HV Eco	5	0,207	(0,888-1,095)	Test005
Anrollen	HV Normal	1	0,16	(3,844-4,004)	Test001
Anrollen	HV Normal	2	0,144	(0,719-0,863)	Test002
Anrollen	HV Normal	3	0,21	(1,000-1,210)	Test003
Anrollen	HV Normal	4	0,124	(0,896-1,120)	Test004
Anrollen	HV Normal	5	0,169	(0,717-0,886)	Test005
Anrollen	HV PWR	1	0,148	(0,993-1,141)	Test001
Anrollen	HV PWR	2	0,149	(1,030-1,179)	Test002
Anrollen	HV PWR	3	0,175	(1,081-1,256)	Test003
Anrollen	HV PWR	4	0,194	(0,845-1,039)	Test004
Anrollen	HV PWR	5	0,196	(1,307-1,502)	Test005
geringe Beschleunigung	EV	1	0,233	(1,237-1,470)	Test024
geringe Beschleunigung	EV	2	0,251	(0,973-1,224)	Test025
geringe Beschleunigung	EV	3	0,104	(1,170-1,274)	Test026
geringe Beschleunigung	EV	4	0,179	(3,947-4,126)	Test027

geringe Beschleunigung	EV	5	0,195	(2,925-3,120)	Test028
geringe Beschleunigung	HV Eco	1	0,194	(1,235-1,429)	Test006
geringe Beschleunigung	HV Eco	2	0,127	(0,824-0,951)	Test007
geringe Beschleunigung	HV Eco	3	0,232	(0,869-1,101)	Test008
geringe Beschleunigung	HV Eco	4	0,227	(1,006-1,233)	Test009
geringe Beschleunigung	HV Eco	5	0,216	(0,500-0,716)	Test010
geringe Beschleunigung	HV Normal	1	0,221	(1,761-1,982)	Test006
geringe Beschleunigung	HV Normal	2	0,242	(0,657-0,899)	Test007
geringe Beschleunigung	HV Normal	3	0,216	(0,952-1,168)	Test008
geringe Beschleunigung	HV Normal	4	0,209	(0,850-1,059)	Test009
geringe Beschleunigung	HV Normal	5	0,235	(0,993-1,228)	Test010
geringe Beschleunigung	HV PWR	1	0,196	(2,324-2,519)	Test006
geringe Beschleunigung	HV PWR	2	0,204	(1,079-1,283)	Test007
geringe Beschleunigung	HV PWR	3	0,198	(0,940-1,138)	Test008
geringe Beschleunigung	HV PWR	4	0,227	(1,104-1,331)	Test009
geringe Beschleunigung	HV PWR	5	0,231	(0,971-1,202)	Test010
hohe Beschleunigung	HV Eco	1	0,276	(1,777-2,053)	Test012
hohe Beschleunigung	HV Eco	2	0,252	(0,653-0,905)	Test013
hohe Beschleunigung	HV Eco	3	0,267	(0,822-1,089)	Test014
hohe Beschleunigung	HV Eco	4	0,217	(0,888-1,105)	Test015
hohe Beschleunigung	HV Eco	5	0,244	(1,053-1,297)	Test017

hohe Beschleunigung	HV Normal	1	0,304	(1,043-1,347)	Test011
hohe Beschleunigung	HV Normal	2	0,267	(0,832-1,099)	Test012
hohe Beschleunigung	HV Normal	3	0,277	(0,863-1,140)	Test013
hohe Beschleunigung	HV Normal	4	0,329	(1,125-1,454)	Test014
hohe Beschleunigung	HV Normal	5	0,235	(1,346-1,581)	Test015
hohe Beschleunigung	HV PWR	1	0,301	(0,797-1,098)	Test011
hohe Beschleunigung	HV PWR	2	0,27	(0,722-0,992)	Test012
hohe Beschleunigung	HV PWR	3	0,236	(1,160-1,396)	Test013
hohe Beschleunigung	HV PWR	4	0,24	(1,238-1,478)	Test014
hohe Beschleunigung	HV PWR	5	0,241	(3,066-3,307)	Test015

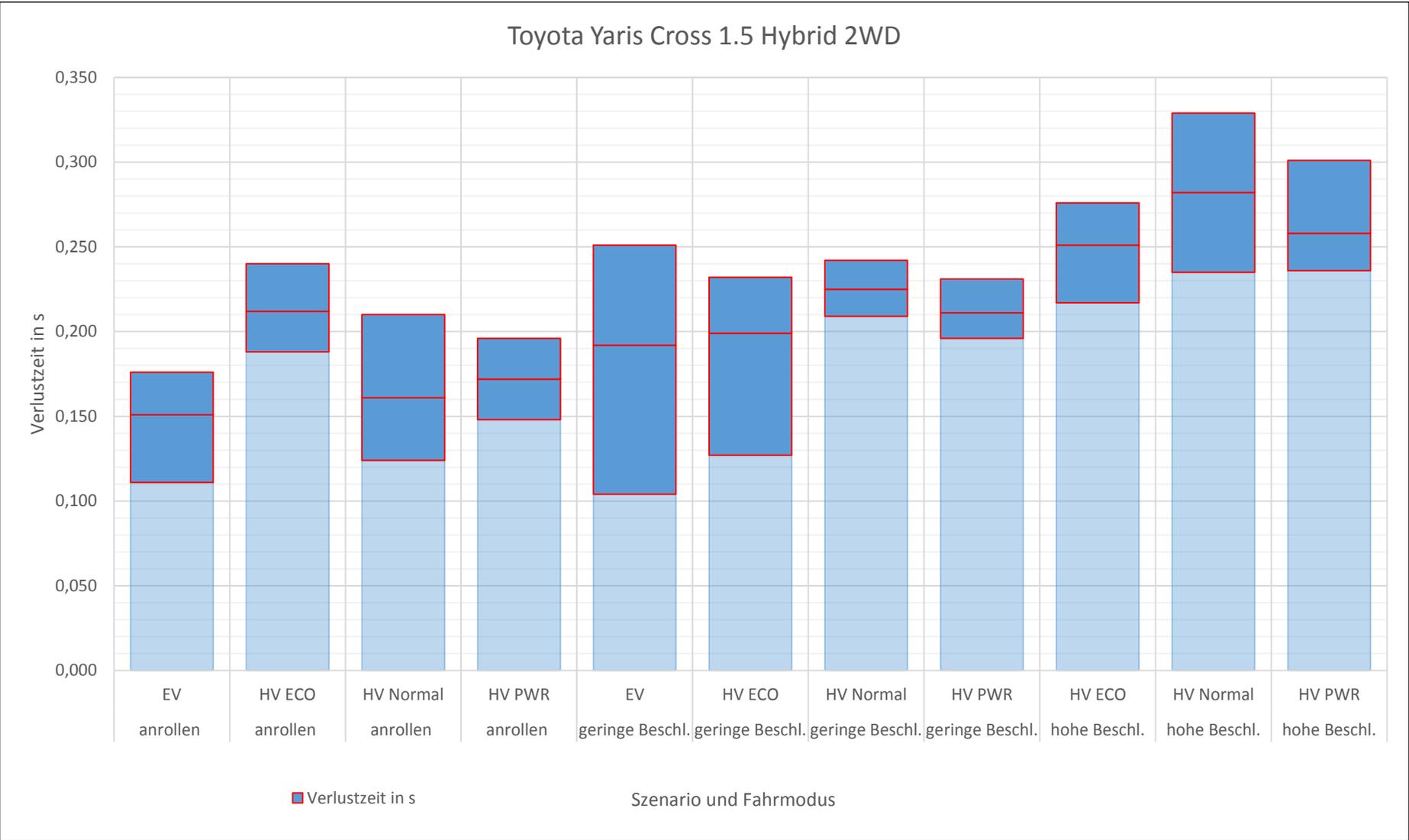


Abbildung 92 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD

Tabelle 77 Gemittelte Verlustzeiten und Range Toyota Yaris Cross 1.5 Hybrid 2WD

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	anrollen	EV	0,151	0,111	0,176	0,065	0,040	0,025
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	anrollen	HV ECO	0,212	0,188	0,240	0,052	0,024	0,028
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	anrollen	HV Normal	0,161	0,124	0,210	0,086	0,037	0,049
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	anrollen	HV PWR	0,172	0,148	0,196	0,048	0,024	0,024
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	geringe Beschl.	EV	0,192	0,104	0,251	0,147	0,088	0,059
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	geringe Beschl.	HV ECO	0,199	0,127	0,232	0,105	0,072	0,033
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	geringe Beschl.	HV Normal	0,225	0,209	0,242	0,033	0,016	0,017
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	geringe Beschl.	HV PWR	0,211	0,196	0,231	0,035	0,015	0,020
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	hohe Beschl.	HV ECO	0,251	0,217	0,276	0,059	0,034	0,025
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	hohe Beschl.	HV Normal	0,282	0,235	0,329	0,094	0,047	0,047
Toyota Yaris Cross HY 1.5 2WD (HEV)	hohe Beschl.	HV PWR	0,258	0,236	0,301	0,065	0,022	0,043

Anlage 18 Volkswagen Golf VIII GTE (Z)



Abbildung 93 Volkswagen Golf VIII GTE
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 94 Volkswagen Golf VIII GTE
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 78 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Golf VIII GTE (Autohaus Huster)

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1395 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	180 kW / (245 PS) 110 kW / (150 PS) 70 kW / (95 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	400 Nm 250 Nm 330 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	6-Gang Doppelkupplungsgetriebe (DSG) / Frontantrieb
Leermasse	1624 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Bridgestone Potenza S005 225/40 R18 92Y
Erstzulassung	17.12.2020
Länge / Breite / Höhe	4287 mm / 1789 mm / 1462 mm
Kilometerstand	6585 km

Tabelle 79 Umgebungsbedingungen Volkswagen Golf VIII GTE (Z)

Testtag/Ort:	24.08.2021	Zwickau
Wetter:	bewölkt, trocken	15 °C
Asphalt:	trocken	13 °C
Wind:	0 km/h	-
Km-Stand:		6585
Hybridisierungsgrad:	PHEV	

Tabelle 80 Einzelmesswerte Volkswagen Golf VIII GTE (Z)

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,558	(0,818-1,376)	Test001
Anrollen	e-Mode	2	0,290	(0,779-1,069)	Test002
Anrollen	e-Mode	3	0,291	(0,900-1,191)	Test003
Anrollen	e-Mode	4	0,588	(0,471-1,059)	Test004
Anrollen	e-Mode	5	0,582	(0,276-0,858)	Test005
Anrollen	Hybrid (AUTO)	1	0,548	(1,623-2,171)	Test016
Anrollen	Hybrid (AUTO)	2	0,538	(0,839-1,377)	Test017
Anrollen	Hybrid (AUTO)	3	0,477	(1,513-1,990)	Test018
Anrollen	Hybrid (AUTO)	4	0,518	(0,426-0,944)	Test019
Anrollen	Hybrid (AUTO)	5	0,449	(1,426-1,875)	Test020
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,417	(1,247-1,664)	Test006
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,431	(1,793-2,224)	Test007
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,490	(1,063-1,552)	Test008
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,447	(0,971-1,418)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,385	(1,595-1,980)	Test010
geringe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	1	0,419	(1,269-1,688)	Test021
geringe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	2	0,318	(0,540-0,858)	Test022

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	3	0,441	(0,578-1,019)	Test023
geringe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	4	0,438	(0,443-0,881)	Test024
geringe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	5	0,464	(0,512-0,976)	Test025
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,362	(0,915-1,277)	Test011
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,307	(3,382-3,689)	Test012
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,387	(1,765-2,152)	Test013
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,394	(1,065-1,459)	Test014
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	0,328	(0,973-1,301)	Test015
hohe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	1	0,286	(0,747-1,033)	Test026
hohe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	2	0,321	(2,062-2,383)	Test027
hohe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	3	0,329	(1,544-1,873)	Test028
hohe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	4	0,359	(1,406-1,765)	Test029
hohe Beschleunigung	Hybrid (AUTO)	5	0,347	(0,728-1,075)	Test030

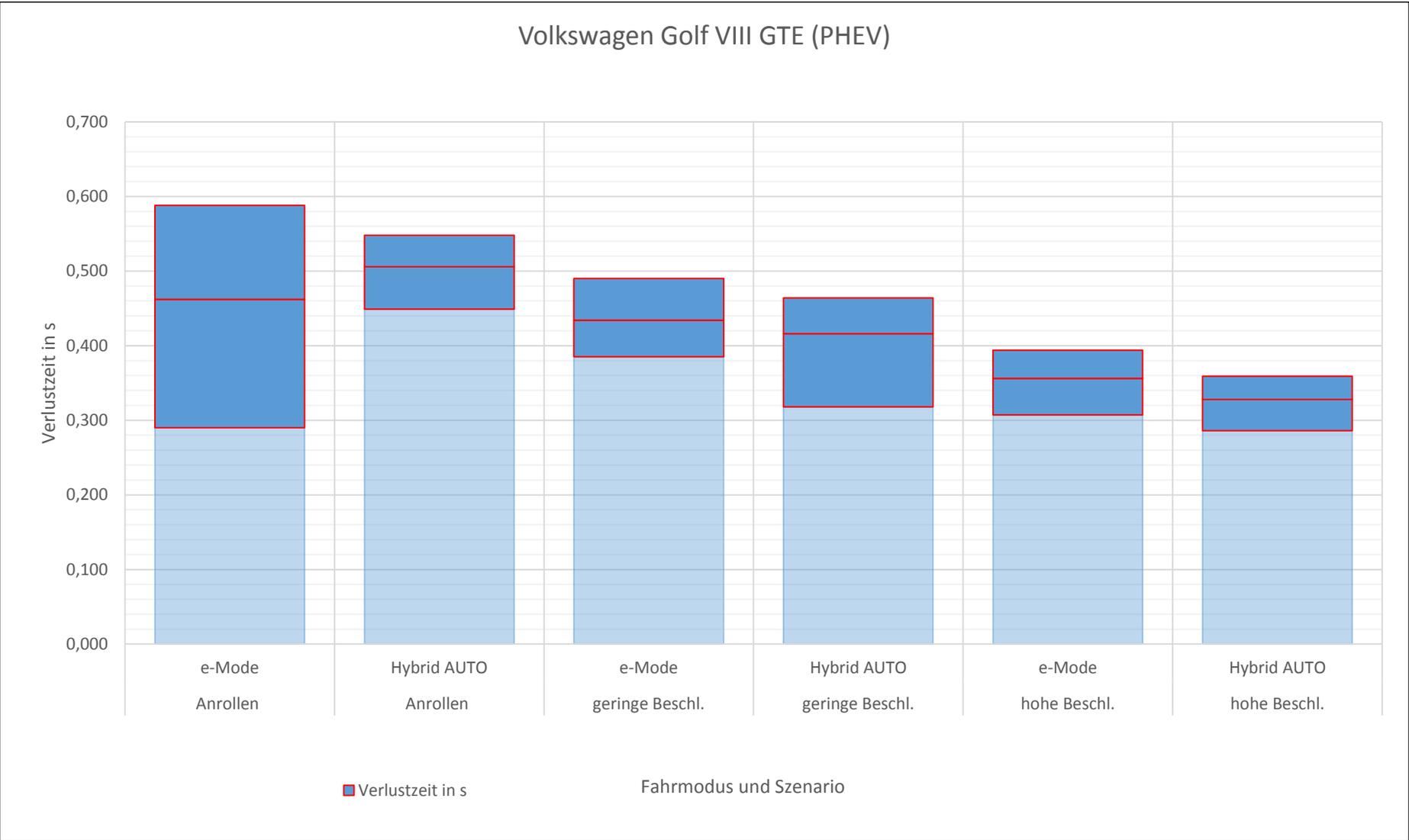


Abbildung 95 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII GTE (Z)

Tabelle 81 Gemittelte Verlustzeiten Volkswagen Golf VIII GTE (Z)

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Pariell
Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)	Anrollen	e-Mode	0,462	0,290	0,588	0,298	0,172	0,126
Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)	Anrollen	Hybrid AUTO	0,506	0,449	0,548	0,099	0,057	0,042
Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)	geringe Beschl.	e-Mode	0,434	0,385	0,490	0,105	0,049	0,056
Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)	geringe Beschl.	Hybrid AUTO	0,416	0,318	0,464	0,146	0,098	0,048
Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)	hohe Beschl.	e-Mode	0,356	0,307	0,394	0,087	0,049	0,038
Volkswagen Golf VIII GTE (Z) (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid AUTO	0,328	0,286	0,359	0,073	0,042	0,031

Anlage 19 Volkswagen Golf VIII GTE (AM)



Abbildung 96 Volkswagen Golf VIII GTE
(Schrägansicht vorne links)



Abbildung 97 Volkswagen Golf VIII GTE
(Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 82 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Golf VIII GTE (Autohaus Albertsmeyer)

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1395 cm ³ / 4
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	180 kW / (245 PS) 110 kW / (150 PS) 70 kW / (95 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	400 Nm 250 Nm 330 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	6-Gang Doppelkupplungsgetriebe (DSG) / Frontantrieb
Leermasse	1624 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Bridgestone Potenza S005 225/40 R18 92Y
Erstzulassung	04.03.2021
Länge / Breite / Höhe	4287 mm / 1789 mm / 1462 mm
Kilometerstand	3778 km

Tabelle 83 Umgebungsbedingungen Volkswagen Golf VIII GTE (AM)

Testtag/Ort:	10.09.2021	Leinefelde
Wetter:	bewölkt, trocken	21 °C
Asphalt:	trocken	16 °C
Wind:	5 km/h	SW
Km-Stand:		3778
Hybridisierungsgrad:	PHEV	

Tabelle 84 Einzelmesswerte Volkswagen Golf VIII GTE (AM)

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,629	(1,230-1,859)	Test002
Anrollen	e-Mode	2	0,623	(0,938-1,561)	Test003
Anrollen	e-Mode	3	0,603	(1,373-1,976)	Test004
Anrollen	e-Mode	4	0,566	(1,313-1,879)	Test005
Anrollen	e-Mode	5	0,596	(1,454-2,050)	Test006
Anrollen	Hybrid Comf.	1	0,574	(2,051-2,625)	Test007
Anrollen	Hybrid Comf.	2	0,146	(0,944-1,090)	Test008
Anrollen	Hybrid Comf.	3	0,335	(8,857-9,192)	Test009
Anrollen	Hybrid Comf.	4	0,246	(0,816-1,062)	Test010
Anrollen	Hybrid Comf.	5	0,220	(0,813-1,033)	Test011
Anrollen	Hybrid Sport	1	0,219	(0,589-0,808)	Test001
Anrollen	Hybrid Sport	2	0,133	(0,814-0,947)	Test002
Anrollen	Hybrid Sport	3	0,133	(1,023-1,156)	Test003
Anrollen	Hybrid Sport	4	0,255	(0,890-1,245)	Test004
Anrollen	Hybrid Sport	5	0,149	(01,161-1,310)	Test005

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,448	(1,457-1,905)	Test008
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,428	(0,965-1,393)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,491	(1,573-2,060)	Test010
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,498	(1,517-2,015)	Test011
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,417	(1,669-2,086)	Test012
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	1	0,394	(5,468-5,862)	Test012
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	2	0,397	(1,218-1,615)	Test013
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	3	0,415	(0,733-1,148)	Test014
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	4	0,294	(0,881-1,176)	Test015
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf.	5	0,310	(1,031-1,341)	Test016
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	1	0,319	(2,338-2,657)	Test006
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	2	0,365	(1,802-2,167)	Test007
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	3	0,410	(0,694-1,104)	Test008
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	4	0,400	(0,776-1,176)	Test009
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	5	0,406	(0,776-1,182)	Test010
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,267	(1,046-1,313)	Tesst001
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,320	(0,910-1,230)	Tesst002
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,227	(1,724-1,951)	Tesst003
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,220	(0,992-1,212)	Tesst013
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	0,283	(4,542-4,825)	Tesst014
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	1	0,231	(0,760-0,991)	Test017

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	2	0,331	(0,552-0,883)	Test018
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	3	0,344	(0,997-1,341)	Test019
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	4	0,257	(1,337-1,594)	Test020
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf.	5	0,310	(1,440-1,750)	Test021
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	1	0,261	(1,299-1,560)	Test011
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	2	0,235	(1,143-1,378)	Test012
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	3	0,333	(0,857-1,190)	Test013
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	4	0,327	(1,365-1,952)	Test014
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	5	0,307	(2,067-2,374)	Test015

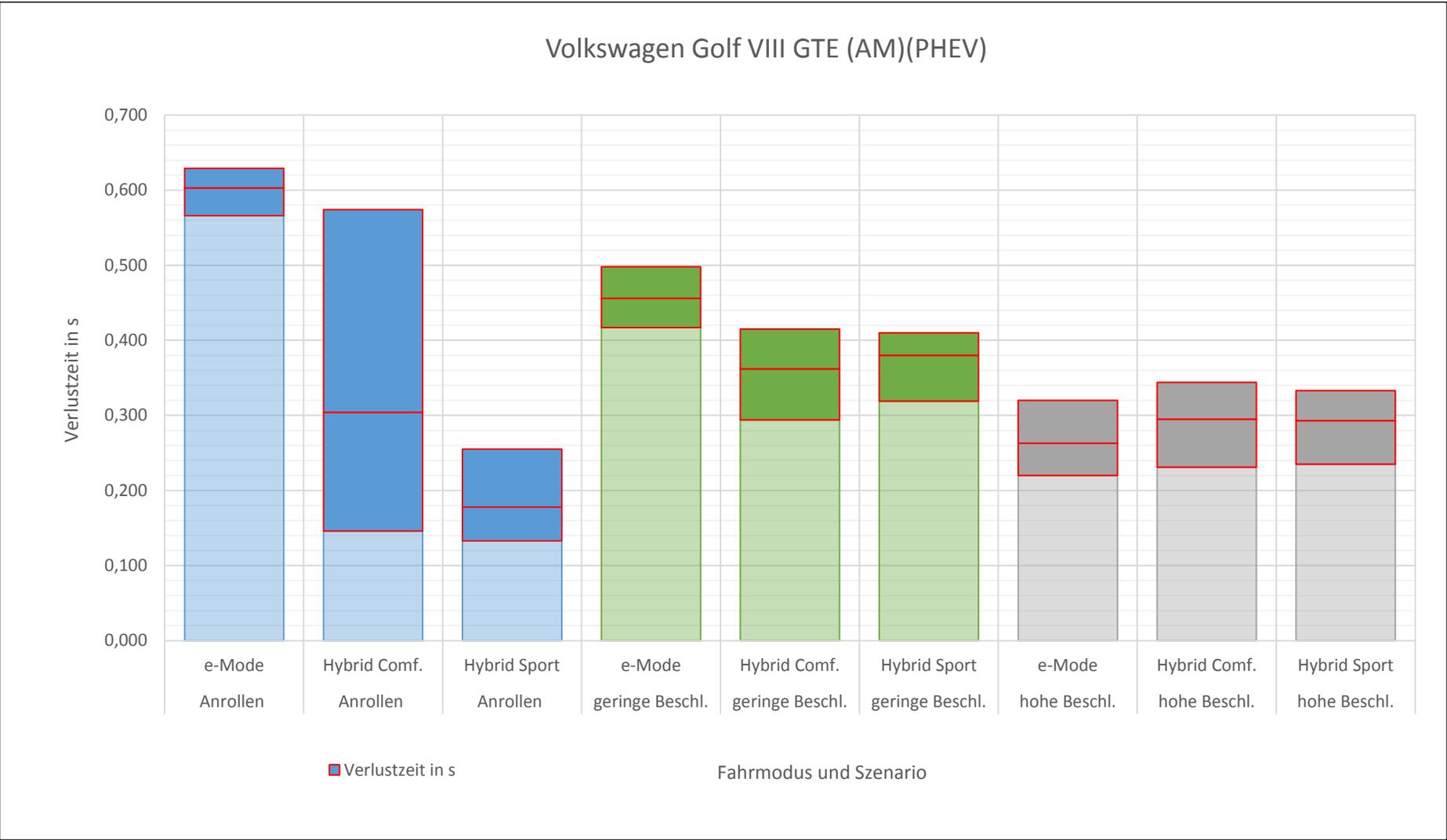


Abbildung 98 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII GTE (AM)

Tabelle 85 Gemittelte Verlustwerte und Range Volkswagen Golf VIII GTE (AM)

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min Partiell	Max Partiell
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	Anrollen	e-Mode	0,603	0,566	0,629	0,063	0,037	0,026
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	Anrollen	Hybrid Comf.	0,304	0,146	0,574	0,428	0,158	0,270
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	Anrollen	Hybrid Sport	0,178	0,133	0,255	0,122	0,045	0,077
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	geringe Beschl.	e-Mode	0,456	0,417	0,498	0,081	0,039	0,042
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	geringe Beschl.	Hybrid Comf.	0,362	0,294	0,415	0,121	0,068	0,053
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	geringe Beschl.	Hybrid Sport	0,380	0,319	0,410	0,091	0,061	0,030
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	hohe Beschl.	e-Mode	0,263	0,220	0,320	0,100	0,043	0,057
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid Comf.	0,295	0,231	0,344	0,113	0,064	0,049
Volkswagen Golf VIII GTE (AM) (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid Sport	0,293	0,235	0,333	0,098	0,058	0,040

Anlage 20 Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style



Abbildung 99 Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 100 Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style (Schrägansicht hinten links)

Technische Daten:

Tabelle 86 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style

Hybridisierungsgrad	MHEV mit 48 V Bordnetz und Riemenstartergenerator
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	1498 cm ³ / 4
Leistung	110 kW / (150 PS)
Max. Drehmoment	250 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	7-Gang Doppelkupplungsgetriebe (S tronic) / Vorderradantrieb
Leermasse	1380 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Nexen NFERA Sport 225/45 R17 91Y
Erstzulassung	15.06.2020
Länge / Breite / Höhe	4287 mm / 1789 mm / 1462 mm
Kilometerstand	14228 km

Tabelle 87 Umgebungsbedingungen Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style

Testtag/Ort:	24.08.2021	Zwickau
Wetter:	bewölkt, trocken	13 °C
Asphalt:	trocken	10 °C
Wind:	5 km/h	W
Km-Stand:		14228
Hybridisierungsgrad:	MHEV	

Tabelle 88 Einzelmesswerte Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	StaSto akt.	1	0,736	1,442-2,178	Test038
Anrollen	StaSto akt.	2	0,600	1,289-1,889	Test039
Anrollen	StaSto akt.	3	0,636	1,567-2,203	Test040
Anrollen	StaSto akt.	4	0,594	1,625-2,219	Test041
Anrollen	StaSto akt.	5	0,718	1,206-1,724	Test042
Anrollen	StaSto deakt.	1	0,247	1,651-1,898	Test027
Anrollen	StaSto deakt.	2	0,237	2,190-2,427	Test028
Anrollen	StaSto deakt.	3	0,242	1,259-1,501	Test029
Anrollen	StaSto deakt.	4	0,211	2,254-2,465	Test030
Anrollen	StaSto deakt.	5	dnf	dnf	Test031
geringe Beschleunigung	StaSto akt.	1	0,747	1,315-2,062	Test033
geringe Beschleunigung	StaSto akt.	2	0,156	2,204-2,360	Test034
geringe Beschleunigung	StaSto akt.	3	0,681	13,506-14,187	Test036
geringe Beschleunigung	StaSto akt.	4	0,573	1,613-2,186	Test037
geringe Beschleunigung	StaSto deakt.	1	0,211	2,189-2,400	Test022
geringe Beschleunigung	StaSto deakt.	2	0,225	2,314-2,539	Test023
geringe Beschleunigung	StaSto deakt.	3	0,228	1,621-1,849	Test024
geringe Beschleunigung	StaSto deakt.	4	0,196	1,986-2,182	Test025
geringe Beschleunigung	StaSto deakt.	5	0,187	1,224-1,411	Test026
hohe Beschleunigung	StaSto akt.	1	0,331	1,412-1,743	Test047
hohe Beschleunigung	StaSto akt.	2	0,370	2,347-2,717	Test048
hohe Beschleunigung	StaSto akt.	3	0,311	3,518-3,829	Test049
hohe Beschleunigung	StaSto akt.	4	0,432	2,142-2,574	Test050
hohe Beschleunigung	StaSto deakt.	1	0,319	1,101-1,420	Test046
hohe Beschleunigung	StaSto deakt.	2	0,331	1,412-1,743	Test047
hohe Beschleunigung	StaSto deakt.	3	0,370	2,347-2,717	Test048
hohe Beschleunigung	StaSto deakt.	4	0,311	3,518-3,829	Test049
hohe Beschleunigung	StaSto deakt.	5	0,432	2,142-2,574	Test050

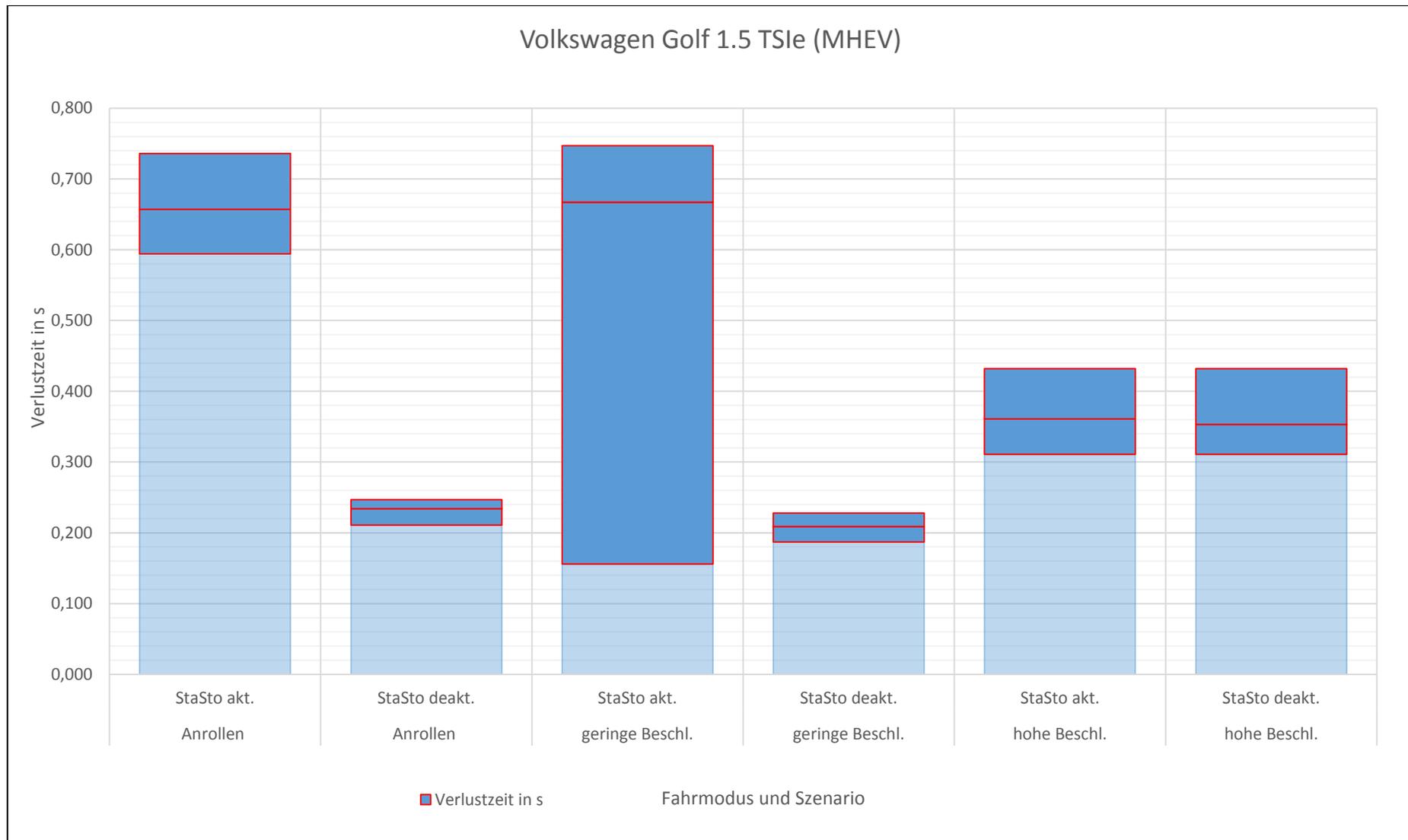


Abbildung 101 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style

Tabelle 89 Gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI ACT Style

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)	Anrollen	StaSto akt.	0,657	0,594	0,736	0,142	0,063	0,079
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)	Anrollen	StaSto deakt.	0,234	0,211	0,247	0,036	0,023	0,013
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)	geringe Beschl.	StaSto akt.	0,667	0,156	0,747	0,591	0,511	0,080
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)	geringe Beschl.	StaSto deakt.	0,209	0,187	0,228	0,041	0,022	0,019
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)	hohe Beschl.	StaSto akt.	0,361	0,311	0,432	0,121	0,050	0,071
Volkswagen Golf VIII 1.5 eTSI (MHEV)	hohe Beschl.	StaSto deakt.	0,353	0,311	0,432	0,121	0,042	0,079

Anlage 21 Volkswagen Touareg R eHybrid



Abbildung 102 Volkswagen Touareg R eHybrid (Schrägansicht vorne links)



Abbildung 103 Volkswagen Touareg R eHybrid (Schrägansicht hinten rechts)

Technische Daten:

Tabelle 90 Fahrzeugdatenblatt Volkswagen Touareg R eHybrid

Hybridisierungsgrad	PHEV
Kraftstoffart	Benzin (mind. Super E10)
Hubraum / Zylinder	2995 cm ³ / 6
Leistung Systemgesamtleistung Verbrennungsmotor E-Maschine	340 kW / (462 PS) 250 kW / (340 PS) 100 kW / (136 PS)
max. Drehmoment System Verbrennungsmotor E-Maschine	700 Nm 450 Nm 400 Nm
Getriebe / Kraftübertragung	8-Gang hydraulischer Drehmomentwandler / Allradantrieb
Leermasse	2465 kg
Bereifung VA Bereifung HA	Bridgestone Alenza 001 285/40 R21 109Y
Erstzulassung	19.11.2020
Länge / Breite / Höhe	4878 mm / 1984 mm / 1717 mm
Kilometerstand	5882 km

Tabelle 91 Umgebungsbedingungen Volkswagen Touareg R eHybrid

Testtag/Ort:	10.09.2021	Leinefelde
Wetter:	bewölkt, trocken	21 °C
Asphalt:	trocken	16 °C
Wind:	5 km/h	SW
Km-Stand:		5882
Hybridisierungsgrad:	PHEV	

Tabelle 92 Einzelmesswerte Volkswagen Touareg R eHybrid

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
Anrollen	e-Mode	1	0,641	(0,819-1,460)	Test 001
Anrollen	e-Mode	2	0,658	(1,799-2,457)	Test 002
Anrollen	e-Mode	3	0,608	(0,752-1,360)	Test 003
Anrollen	e-Mode	4	0,512	(1,035-1,547)	Test 004
Anrollen	e-Mode	5	0,528	(1,796-2,325)	Test 005
Anrollen	Hybrid Comf	1	0,690	(2,981-3,671)	Test001
Anrollen	Hybrid Comf	2	0,572	(0,833-1,405)	Test002
Anrollen	Hybrid Comf	3	0,626	(0,455-1,081)	Test003
Anrollen	Hybrid Comf	4	0,512	(0,850-1,362)	Test004
Anrollen	Hybrid Comf	5	0,723	(0,902-1,625)	Test005
Anrollen	Hybrid Sport	1	0,640	(1,486-2,127)	Test001
Anrollen	Hybrid Sport	2	0,568	(0,858-1,426)	Test002
Anrollen	Hybrid Sport	3	0,594	(0,829-1,423)	Test003
Anrollen	Hybrid Sport	4	0,577	(0,621-1,198)	Test004
Anrollen	Hybrid Sport	5	0,647	(1,853-2,499)	Test005
geringe Beschleunigung	e-Mode	1	0,631	(1,569-2,200)	Test006
geringe Beschleunigung	e-Mode	2	0,498	(0,687-1,185)	Test007
geringe Beschleunigung	e-Mode	3	0,519	(0,806-1,325)	Test008

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
geringe Beschleunigung	e-Mode	4	0,586	(0,789-1,375)	Test009
geringe Beschleunigung	e-Mode	5	0,633	(0,890-1,523)	Test010
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf	1	0,623	(1,433-2,059)	Test006
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf	2	0,603	(0,688-1,291)	Test007
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf	3	0,686	(1,134-1,820)	Test008
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf	4	0,570	(0,871-1,441)	Test009
geringe Beschleunigung	Hybrid Comf	5	0,617	(0,739-1,356)	Test010
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	1	0,637	(1,227-1,864)	Test006
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	2	0,693	(0,989-1,682)	Test007
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	3	0,553	(1,844-2,397)	Test008
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	4	0,620	(1,534-2,154)	Test009
geringe Beschleunigung	Hybrid Sport	5	0,728	(1,190-1,918)	Test010
hohe Beschleunigung	e-Mode	1	0,502	(0,677-1,179)	Test011
hohe Beschleunigung	e-Mode	2	0,438	(1,030-1,468)	Test012
hohe Beschleunigung	e-Mode	3	0,609	(1,667-2,276)	Test013
hohe Beschleunigung	e-Mode	4	0,485	(0,761-1,246)	Test014
hohe Beschleunigung	e-Mode	5	dnf	dnf	Test015
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf	1	0,590	(1,411-2,001)	Test011
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf	2	0,538	(1,394-1,932)	Test012
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf	3	0,541	(0,806-1,347)	Test013
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf	4	0,461	(2,144-2,605)	Test014
hohe Beschleunigung	Hybrid Comf	5	0,567	(1,871-2,438)	Test015

Versuch	Modus	Lauf	Zeit in s	Zeitraum	Test
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	1	0,612	(0,862-1,474)	Test011
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	2	0,534	(1,526-2,060)	Test012
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	3	0,578	(0,887-1,466)	Test013
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	4	0,552	(0,583-1,135)	Test014
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	5	0,767	(0,875-1,642)	Test015
hohe Beschleunigung	Hybrid Sport	6	0,568	(0,635-1,203)	Test016

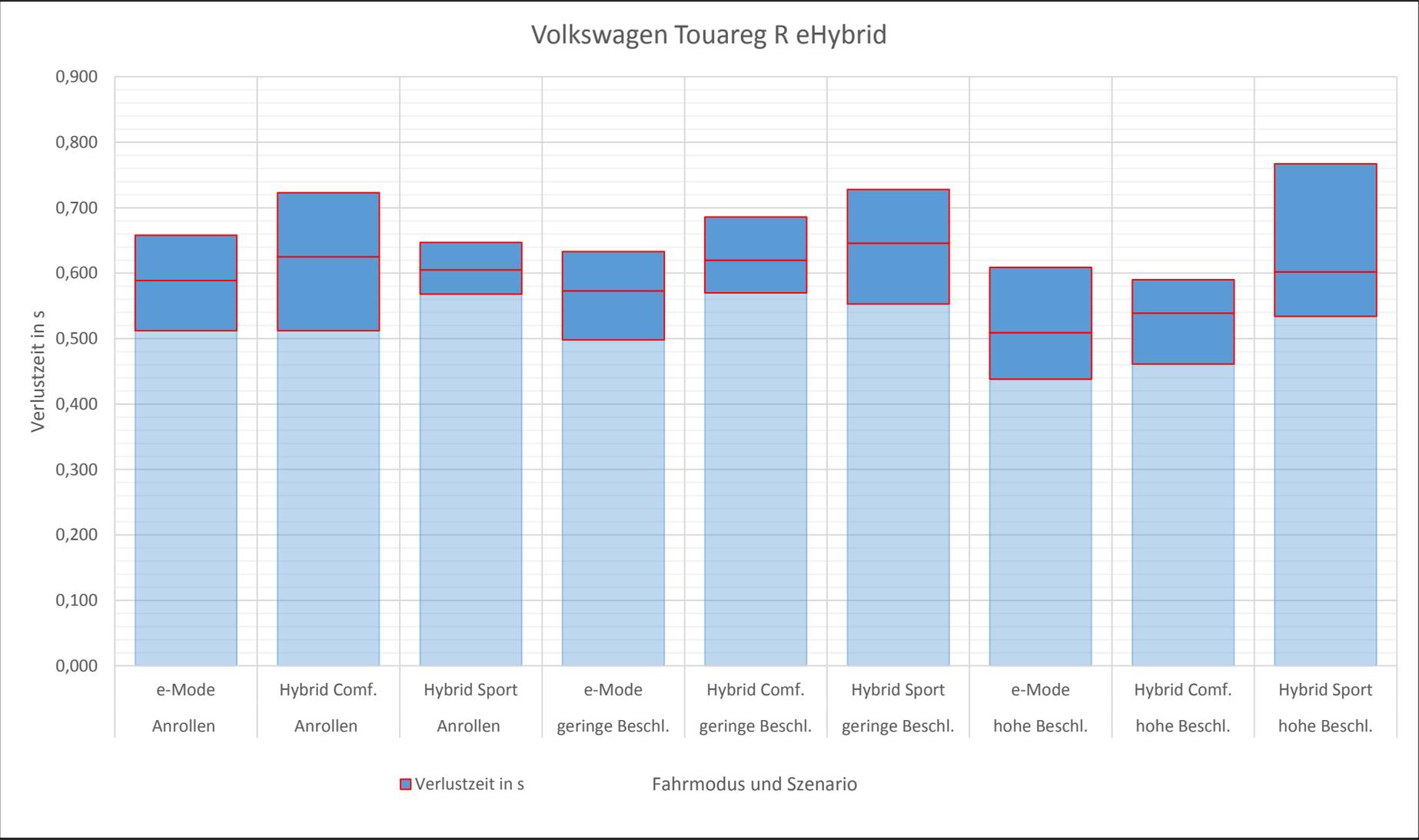


Abbildung 104 Diagramm gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Touareg R eHybrid

Tabelle 93 Gemittelte Verlustzeiten und Range Volkswagen Touareg R eHybrid

Fahrzeug	Szenario	Modus	Verlustzeit in s	Minimalwert in s	Maximalwert in s	Range in s	Min. Partiell	Max. Partiell
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	Anrollen	e-Mode	0,589	0,512	0,658	0,146	0,077	0,069
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	Anrollen	Hybrid Comf.	0,625	0,512	0,723	0,211	0,113	0,098
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	Anrollen	Hybrid Sport	0,605	0,568	0,647	0,079	0,037	0,042
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	geringe Beschl.	e-Mode	0,573	0,498	0,633	0,135	0,075	0,060
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	geringe Beschl.	Hybrid Comf.	0,620	0,570	0,686	0,116	0,050	0,066
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	geringe Beschl.	Hybrid Sport	0,646	0,553	0,728	0,175	0,093	0,082
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	hohe Beschl.	e-Mode	0,509	0,438	0,609	0,171	0,071	0,100
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid Comf.	0,539	0,461	0,590	0,129	0,078	0,051
Volkswagen Touareg R eHybrid (PHEV)	hohe Beschl.	Hybrid Sport	0,602	0,534	0,767	0,233	0,068	0,165