

# Inhaltverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
1.1	Verkehr und seine Auswirkungen auf die Umwelt .....	1
1.2	Historie von Hybridfahrzeugen .....	7
1.3	Prognosen für Hybridfahrzeuge .....	16
	Literatur .....	21
<b>2</b>	<b>Definitionen und Klassifizierung der Hybridkonzepte</b> .....	23
2.1	Serieller Hybrid .....	23
2.1.1	Klassische Auslegung .....	25
2.1.2	Auslegung auf Grundlast .....	26
2.1.3	Auslegung für Plug-In-Hybridfahrzeuge ausgeführt als Elektrofahrzeuge mit Range Extender .....	26
2.1.4	Vor- und Nachteile des Serienhybridantriebs .....	27
2.2	Parallelhybrid .....	28
2.2.1	Parallelhybrid mit Momentenaddition .....	28
2.2.2	Parallelhybrid mit Drehzahladdition .....	29
2.2.3	Parallelhybrid mit Zugkraftaddition .....	29
2.2.4	Vor- und Nachteile des Parallelhybridantriebes .....	30
2.3	Leistungsverzweigter Hybrid .....	31
2.3.1	Planetengetriebe .....	34
2.3.2	Geometrische Beziehungen und Definitionen [3] .....	35
2.3.3	Kinematische Beziehungen .....	35
2.3.4	Dynamische Gleichungen .....	36
2.3.5	Input Split bzw. ausgangsgekoppeltes Getriebe .....	38
2.3.6	Output Split bzw. eingangsgekoppeltes Getriebe .....	40
2.3.7	Compound Split Getriebe .....	40
2.3.8	Getriebestufen des Two-Mode-Getriebes .....	43
2.3.9	Betriebsbereiche .....	44
2.4	Micro-Hybrid .....	50
2.4.1	48-Volt-Bordnetz .....	54
2.5	Mild-Hybrid .....	56

2.6	Full-Hybrid .....	58
2.7	Plug-In-Hybrid und Elektrofahrzeug mit Range Extender (REEV) .....	59
2.7.1	Plug-In-Hybridfahrzeug (mit niedrigerem Elektrifizierungsgrad) .....	59
2.7.2	Elektrofahrzeug mit Range Extender (REEV) .....	60
2.7.3	Ladesysteme .....	64
2.8	Zusammenfassung – Hybridsysteme .....	67
	Literatur .....	72
<b>3</b>	<b>Motivation zum Bau von Hybridantriebssystemen .....</b>	<b>75</b>
3.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen .....	75
3.1.1	Situation in Kalifornien/USA .....	80
3.1.2	Situation in Europa .....	87
3.1.3	Situation in Japan .....	96
3.1.4	Situation in den BRIC Staaten .....	98
3.1.5	Zusammenfassung .....	103
3.2	Kraftstoffverbrauch .....	105
3.2.1	Lastpunktanhebung .....	105
3.2.2	Start/Stop .....	109
3.2.3	Elektrisches Fahren .....	111
3.2.4	Rekuperation .....	117
3.2.5	Zusammenfassung Kraftstoffverbrauchseinsparungspotenzial .....	124
3.3	Emissionen und Lärm .....	126
3.3.1	Elektrisch emissionsfrei fahren .....	126
3.3.2	Lastpunktverschiebung .....	127
3.3.3	Start/Stop .....	131
3.4	Funktionalität .....	133
3.4.1	E4WD – Elektrischer Allradantrieb .....	133
3.4.2	Torque Vectoring .....	134
3.4.3	Spannungsversorgung – Power Station .....	140
	Literatur .....	142
<b>4</b>	<b>Hybridkomponenten .....</b>	<b>145</b>
4.1	Verbrennungskraftmaschinen .....	145
4.1.1	Ottomotoren .....	145
4.1.2	Dieselmotoren .....	148
4.1.3	Zweitaktmotoren .....	149
4.1.4	Rotationskolbenmotoren .....	151
4.1.5	Stirlingmotor .....	153
4.1.6	Gasturbinen .....	156
4.1.7	Freikolbenmotoren .....	158
4.1.8	Brennstoffzellen .....	160
4.1.9	Vergleich der chemischen Energiewandler .....	163

4.2	Elektromaschinen .....	165
4.2.1	Betriebsgrenzen und Kennlinien .....	167
4.2.2	Gleichstrommaschinen .....	172
4.2.3	Drehstrommaschinen .....	174
4.2.4	Asynchronmaschine .....	175
4.2.5	Fremderregte Synchronmaschinen .....	177
4.2.6	Permanenterregte Synchronmaschinen .....	178
4.2.7	Geschaltete Reluktanzmaschine .....	180
4.2.8	Permanenterregte Transversalflussmaschinen .....	181
4.2.9	Vergleich der verschiedenen Elektromaschinen .....	184
4.2.10	Ausführungsformen .....	187
4.2.11	Getriebeintegration .....	191
4.3	Leistungselektronik (Stromrichter) .....	198
4.3.1	Halbleiter-Elemente .....	200
4.3.2	Leistungselektronische Schaltungen .....	202
4.4	Energiespeicher .....	209
4.4.1	Allgemeines .....	209
4.4.2	Sekundärelemente .....	215
4.4.3	Bauarten von Batteriezellen .....	222
4.4.4	Blei-Batterien (Pb/PbO <sub>2</sub> ) .....	226
4.4.5	Nickel-Cadmium-Batterien .....	229
4.4.6	Nickel-Metallhydrid-Batteriesysteme .....	229
4.4.7	Lithium-Ionen-Batterien (Li-Ion) .....	233
4.4.8	Na-NiCl-Batterie (Zebra) .....	237
4.4.9	Natrium-Schwefel-Batterie .....	238
4.4.10	Batteriemanagementsystem .....	238
4.4.11	Superkondensatoren .....	242
4.4.12	Schwungradspeicher .....	246
4.4.13	Hydropneumatische Speicher .....	253
4.4.14	Vergleich der Energiespeichersysteme .....	267
4.5	Nebenaggregate .....	273
4.5.1	Hydraulische Impulsspeicher HIS <sup>®</sup> .....	274
4.5.2	Elektrische Servolenkung .....	276
4.5.3	Heizung und Klimatisierung .....	279
	Literatur .....	283
<b>5</b>	<b>Antriebsstrangmanagement</b> .....	<b>287</b>
5.1	Betriebszustände von Hybridfahrzeugen .....	288
5.2	Betriebsstrategien .....	290
5.2.1	Einteilung von Betriebsstrategien .....	291
5.3	Simulation von Hybridfahrzeugen .....	295
5.3.1	Modellierung eines Hybridfahrzeugs .....	296
5.3.2	Beispiel Betriebsstrategie .....	306
5.3.3	Beispiel Betriebsstrategie mit Energiekostenindikator EKI [10, 11] .....	317

5.3.4	Beispiel für Dimensionierung der E-Komponenten .....	324
5.3.5	Betriebsstrategien unter Einbeziehung des Thermomanagements .....	329
5.4	Betriebsstrategien mit Prognosefunktionen .....	335
5.4.1	Vorausschauende Fahrerassistenzsysteme .....	336
5.4.2	Beispielbetriebsstrategie mit Prognosefunktionen für ein serielles Hybridfahrzeug mit Range Extender .....	338
5.4.3	Fahrstreckenerkennung und Prognose .....	341
	Literatur .....	345
<b>6</b>	<b>Ausgeführte Pkw- und Motorrad-Hybridkonzepte .....</b>	<b>347</b>
6.1	Audi Hybridfahrzeuge .....	347
6.1.1	Audi Q5 hybrid quattro und Audi A6 hybrid .....	347
6.2	AVL Hybridkonzepte .....	351
6.2.1	AVL ECO Target .....	351
6.2.2	AVL Turbohybrid .....	354
6.3	BMW Hybridfahrzeuge .....	361
6.3.1	BMW ActiveHybrid 3, 5 und 7 .....	361
6.3.2	BMW i3 mit Range Extender .....	364
6.3.3	BMW i8 .....	366
6.3.4	BMW X6 ActiveHybrid .....	370
6.4	Honda Hybridfahrzeuge .....	376
6.4.1	Integrated Motor Assist (IMA)-Hybridsystem von Honda .....	376
6.4.2	Honda Sport Hybrid/Accord Hybrid .....	384
6.5	Hyundai Hybridfahrzeuge .....	386
6.5.1	Hyundai ix35 FCEV .....	386
6.6	Lexus Hybridfahrzeuge .....	388
6.6.1	Lexus RX400h und RX450h .....	388
6.6.2	Lexus GS 450h .....	393
6.6.3	Lexus LS 600h .....	396
6.6.4	Lexus CT 200h .....	400
6.7	Magna HYSUV .....	400
6.8	Mercedes-Benz Hybridfahrzeuge .....	403
6.8.1	Mercedes-Benz S 400 HYBRID .....	403
6.8.2	Mercedes-Benz E300 BlueTec HYBRID .....	410
6.8.3	Mercedes-Benz ML 450 Hybrid .....	419
6.9	Opel Hybridfahrzeuge .....	424
6.9.1	Opel Flextrime .....	424
6.9.2	Opel Ampera .....	425
6.10	Peugeot Hybridfahrzeuge .....	432
6.10.1	Peugeot 3008Hybrid4 .....	432
6.10.2	Peugeot Hybrid Air .....	437
6.11	Piaggio MP3 Hybrid .....	437

6.12	Porsche Hybridfahrzeuge .....	440
6.12.1	Porsche Cayenne S Hybrid .....	440
6.12.2	Porsche Panamera S E-Hybrid .....	442
6.12.3	Porsche 918 Spyder .....	445
6.13	Toyota Prius .....	450
6.13.1	Toyota Prius Generation 1 und 2 .....	450
6.13.2	Toyota Prius III und Prius Plug-In Hybrid .....	459
6.14	Volvo Hybridfahrzeuge .....	461
6.14.1	Volvo V60 Plug-In Hybrid .....	461
6.15	VW Hybridfahrzeuge .....	465
6.15.1	VW Golf Plug-In Hybrid .....	465
6.15.2	VW Jetta Hybrid .....	471
6.15.3	VW Touareg Hybrid .....	475
6.15.4	VW twinDRIVE .....	487
	Literatur .....	491
<b>7</b>	<b>Ausgeführte Lkw- und Bus-Hybridkonzepte .....</b>	<b>495</b>
7.1	Hybridbusse .....	503
7.1.1	Orion VII HybriDrive .....	503
7.1.2	Mitsubishi FusoAero .....	505
7.1.3	Mercedes-Benz Citaro G BlueTec Hybrid .....	506
7.1.4	MAN Hybridbusse .....	508
7.1.5	Hess Doppelgelenk-Hybridbus .....	513
7.1.6	7700 parallel Hybrid Volvo I-SAM .....	514
7.1.7	IVECO – IrisbusHynovis .....	517
7.1.8	Solaris Urbino 18 .....	519
7.1.9	Scania Hybrid Concept Bus .....	520
7.2	Hybrid-Lkw .....	523
7.2.1	Mercedes-Benz Sprinter Plug-In-Hybrid .....	523
7.2.2	MAN Verteiler-Lkw .....	526
7.2.3	Mitsubishi FusoCanter Eco Hybrid .....	530
7.2.4	Mercedes-Benz Freightliner M2 106 Hybrid .....	533
7.2.5	Mercedes-Benz Atego BlueTec Hybrid .....	535
7.2.6	Volvo FE Hybrid .....	536
7.2.7	Abfallsammelfahrzeug mit hydrostatisch-regenerativem Bremssystem (HRB) .....	538
	Literatur .....	539
<b>8</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>541</b>
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>543</b>