

Inhaltverzeichnis

1	Einleitung	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
2	Definitionen und Klassifizierung der Hybridkonzepte	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
3	Motivation zum Bau von Hybridantriebssystemen	75
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	Lastpunkthanhebung	105
3.2.2	Start/Stopp	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/Stopp	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
4	Hybridkomponenten	145
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 ₂)	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®	274
4.5.2	Elektrische Servolenkung	276
4.5.3	Heizung und Klimatisierung	279
	Literatur	283
5	Antriebsstrangmanagement	287
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	Fahrtstreckenerkennung und Prognose	341
	Literatur	345
6	Ausgeführte Pkw- und Motorrad-Hybridkonzepte	347
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 Flextreame	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
7	Ausgeführte Lkw- und Bus-Hybridkonzepte	495
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
8	Ausblick.....	541
	Sachverzeichnis	543