

Inhaltsverzeichnis

Mitarbeiterverzeichnis	XIII
1 Einleitung	1
Konrad Reif; Karl E. Noreikat und Kai Borgeest	
1.1 Definition, Einsatz, Anforderungen	1
1.1.1 Vorteile des Hybridantriebs	2
1.1.1.1 Weniger CO ₂ -Ausstoß durch Hybridfahrzeuge	2
1.1.1.2 Mehr Fahrdynamik und Fahrkomfort durch Hybridfahrzeuge	3
1.1.1.3 Hybridfahrzeuge als Zwischenschritt zu Elektrofahrzeugen	3
1.1.2 Technische Neuentwicklungen	3
1.2 Geschichte	4
1.2.1 Frühe Motivation	4
1.2.2 Umweltbewusstsein und Ölpreis	4
1.2.3 Fahrzeuge	6
Literatur	6
2 Hybride Antriebsstrukturen	7
Siegfried Saenger-Zetina und Markus Wagner	
2.1 Übersicht über die Komponenten	7
2.1.1 Einführung	7
2.1.2 Kombination von Wandlern und Speichern	8
2.1.2.1 Energiewandler	8
2.1.2.2 Energiespeicher	9
2.1.2.3 Drehzahl- und Drehmomentwandler	13
2.2 Vorteile eines Hybridantriebs	14
2.2.1 Technische Vorteile	15
2.2.1.1 Elektrisches Fahren	17
2.2.1.2 Rekuperatives Bremsen	17
2.2.1.3 Lastpunktverschiebung	21

2.2.1.4 Boosten	23
2.2.1.5 Start-Stopp-Funktion	24
2.2.1.6 Kraftstoffverbrauch und Wirkungsgrad im Testzyklus	25
2.2.2 Subjektive Vorteile	26
2.2.2.1 Fahr- und Schaltkomfort	26
2.2.2.2 Geräusch- und Schwingungsverhalten	27
2.3 Konzepte und Betriebsweisen	27
2.3.1 Serielle Hybride	28
2.3.1.1 Konstruktive Merkmale	28
2.3.1.2 Varianten des seriellen Hybridantriebs	29
2.3.1.3 Beispiele von seriellen Hybriden	30
2.3.2 Parallele Hybride	31
2.3.2.1 Konstruktive Merkmale	31
2.3.2.2 Ausprägungen von Parallelhybriden	33
2.3.2.3 Beispiele von Parallelhybriden	39
2.3.3 Leistungsverzweigte Hybride	39
2.3.3.1 Konstruktive Merkmale	39
2.3.3.2 Beispiel von Leistungsverzweigungen	52
2.3.3.3 Beispiele von leistungsverzweigten Hybridantrieben	56
2.4 Klassifizierung nach Funktionalität	62
2.4.1 Anforderungen	62
2.4.2 Start-Stopp-Systeme	62
2.4.2.1 Die Start-Stopp-Funktion	63
2.4.2.2 Starteinrichtungen für Start-Stopp-Systeme	65
2.4.3 Hybrid-Funktionen	67
2.4.3.1 Mikro-Hybrid	67
2.4.3.2 Mild-Hybrid	67
2.4.3.3 Voll-Hybrid	67
2.4.4 Extern aufladbare Hybride	68
2.4.4.1 Hintergrund	68
2.4.4.2 Varianten	68
2.4.4.3 Lademöglichkeiten von Batterien	69
Literatur	72
3 Komponenten des Hybridantriebs	75
Notker Amann, Matthias Beck, Otmar Bitsche, Pedro Casals, Bernd Cebulski, Christine Ehret, Jochen Faßnacht, Andreas Greff, Franz Gretzmeier, Günter Gutmann, Frank Hentschel, Markus van Heyden, Markus G. Kliffken, Dieter Kraft, Axel Müller, Roland Norden, Robert Stawiarski, Markus Wagner, Toni Viscido und Harald Weiler	
3.1 Auslegung des Verbrennungsmotors	75
3.1.1 Ottomotor	78

3.1.2	Dieselmotor	82
3.1.3	Alternative Antriebe	85
3.1.3.1	Stirlingmotor	85
3.1.3.2	Dampfmotor	88
3.1.3.3	Gasturbine	90
3.1.4	Zusammenfassung	92
3.2	Elektrische Maschinen	93
3.2.1	Überblick	93
3.2.1.1	Allgemeines zu elektrischen Maschinen	93
3.2.1.2	Prinzipien der physikalischen Wirkungsweise	94
3.2.1.3	Grundzüge der Drehfeldtheorie	97
3.2.1.4	Werkstoffe	105
3.2.2	Synchronmaschinen	107
3.2.2.1	Prinzipieller Ständeraufbau	107
3.2.2.2	Prinzipielle Läuferbauformen	108
3.2.2.3	Sonderform Transversalflussmaschine	113
3.2.2.4	Wirkungsweise	115
3.2.2.5	Ausführungsbeispiele	119
3.2.2.6	Vor- und Nachteile bei Hybridfahrzeugen	121
3.2.3	Asynchronmaschinen	122
3.2.3.1	Einleitung	122
3.2.3.2	Prinzipieller Aufbau der Drehstrom-Asynchronmaschine mit Käfigläufer	123
3.2.3.3	Wirkungsweise	125
3.2.3.4	Betriebsverhalten	127
3.2.3.5	Vor- und Nachteile bei Hybridfahrzeugen	130
3.2.3.6	Anwendungsbeispiele	130
3.2.3.7	Ausführungsbeispiele	132
3.2.4	Feldorientierte Regelung der permanenterregten Synchronmaschine	134
3.2.4.1	Einführung	134
3.2.4.2	Mathematisches Modell der permanenterregten Synchronmaschine	135
3.2.4.3	Aufbau der feldorientierten Regelung	138
3.2.4.4	Sensorik	141
3.2.4.5	Sonstige Regelungselemente für Hybridfahrzeuge	142
3.3	Elektrik und Elektronik	143
3.3.1	Energiebordnetz	144
3.3.1.1	Bordnetztopologien	144
3.3.1.2	Bordnetsicherheit	160
3.3.2	Steuergeräte und Kommunikation	163
3.3.2.1	Funktionsorientierte Vernetzungsstrategie	164

3.3.2.2	Zonenorientierte Vernetzungsstrategie	166
3.3.2.3	Architekturen	168
3.3.2.4	Bussysteme	169
3.3.2.5	Anbindung des Fahrzeugs an Infrastrukturen	173
3.3.3	Leistungselektronik	174
3.3.3.1	Grundlagen und Systemeinordnung	174
3.3.3.2	Technik und Bauelemente	174
3.3.3.3	Topologien und Schaltungstechnik	176
3.3.3.4	Zusätzliche Anforderungen	179
3.3.3.5	Aktuelle Entwicklungen	180
3.4	Energiespeicher	184
3.4.1	Überblick: Rolle der Energiespeicher	184
3.4.2	Bleibatterie	185
3.4.2.1	Elektrochemie des Bleiakkumulators	185
3.4.2.2	Aufbau des Bleiakkumulators	188
3.4.2.3	Bauarten	194
3.4.2.4	Eigenschaften von Bleibatterien	196
3.4.2.5	Stand der Technik	201
3.4.2.6	Entwicklungstendenzen bei Bleiakkumulatoren für Fahrzeuge	205
3.4.3	Elektrochemische Doppelschichtkondensatoren	207
3.4.4	Nickel-Metallhydrid-Akkumulatoren	212
3.4.4.1	Elektrochemie	213
3.4.4.2	Stand der Technik	215
3.4.4.3	Zellendesign	215
3.4.4.4	Betriebs- und Alterungsverhalten	220
3.4.5	Lithium-Ionen-Batterien	222
3.4.5.1	Elektrochemie	225
3.4.5.2	Stand der Technik	226
3.4.5.3	Zellenkomponenten	228
3.4.5.4	Zellendesign	232
3.4.6	Anwendung elektrochemischer Speicher in Kraftfahrzeugen	235
3.4.6.1	Bordnetz	235
3.4.6.2	Elektrochemische Speichersysteme für Hybridfahrzeuge .	238
3.4.6.3	Ausblick	242
3.4.7	Hydraulische Hybridantriebe und Energiespeicher	242
3.4.7.1	Abgrenzung zum elektrischen Hybrid	242
3.4.7.2	Aufbau und Systemkomponenten des hydrostatisch-regenerativen Bremssystems	245
3.4.7.3	Ergebnisse an einem Abfallsammelfahrzeug mit hydrostatisch-regenerativem Bremssystem	247

3.4.7.4	Ergebnisse an einem Abfallsammelfahrzeug mit hydrostatisch-regenerativem Bremssystem	249
3.4.8	Schwungräder	249
3.5	Fahrzeuggetriebe	253
3.5.1	Grundlagen	253
3.5.2	Getriebearten	259
3.5.2.1	Getriebe mit Zugkraftunterbrechung	260
3.5.2.2	Getriebe ohne Zugkraftunterbrechung	265
3.5.3	Einfluss der Hybridisierung auf das Getriebe	274
3.6	Nebenaggregate	279
3.6.1	Einleitung	279
3.6.2	Mechanischer und elektrischer Antrieb	279
3.6.3	Einsatz von Nebenaggregaten in unterschiedlichen Antriebssträngen	280
3.6.3.1	Konventioneller Antriebsstrang	281
3.6.3.2	Teilweise elektrifizierter Antriebsstrang	281
3.6.3.3	Vollständig elektrifizierter Antriebsstrang	284
3.6.4	Aggregate im Hybridfahrzeug	286
3.6.4.1	Elektrische Maschine	286
3.6.4.2	Lenkkraftunterstützung	287
3.6.4.3	DC/DC-Wandler zur Bordnetzversorgung	290
3.6.4.4	Potentialtrennender DC/DC-Wandler zur Bordnetzstabilisierung	291
3.6.5	Betrieb von Nebenaggregaten im Traktionsnetz	291
3.6.6	Energiemanagement	292
	Literatur	293
4	Betriebsstrategien	301
	Jan-Welm Biermann und Christian Renner	
4.1	Einleitung	301
4.2	Antriebskomponenten	302
4.2.1	Verbrennungsmotor	302
4.2.2	Elektrische Maschine	303
4.2.3	Energiespeicher	304
4.2.4	Nebenaggregate	305
4.3	Entwurf von Betriebsstrategien	306
4.3.1	Basisanforderungen	306
4.3.1.1	Start-Stopp-Betrieb	307
4.3.1.2	Boosten	307
4.3.1.3	Rekuperation	308
4.3.1.4	Elektrisches Fahren	309
4.3.1.5	Lastpunktanhebung und Lastpunktverlagerung	311

4.3.2	Entwicklungsprozess	315
4.4	Anwendungsbeispiel	317
4.4.1	Fahrzeug	317
4.4.2	Betriebsstrategie	318
4.4.3	Prädiktive Betriebsstrategie	321
	Literatur	323
5	Simulation und Auslegung	325
	Dieter Kraft, Thomas Huber und Sandra Sterzing-Oppel	
5.1	Modellierung und Simulation	325
5.2	Validierung der Simulationsmodelle	328
5.3	Optimale Auslegung von Hybridfahrzeugen	330
5.3.1	Bestimmung von Zielgrößen	330
5.3.2	Optimierung einer einzelnen Zielgröße	331
5.3.3	Optimierung mehrerer Zielgrößen	332
5.3.4	Datenbasierte Modellierung	333
5.4	Ergebnisse der optimalen Auslegung	335
5.4.1	Ausgangspunkt und Ziele	335
5.4.2	Modellierung	336
5.4.3	Optimierung	338
5.4.4	Vergleich von Hybridkonzepten	338
5.4.5	Validierung der Ergebnisse	338
	Literatur	339
	Sachverzeichnis	341