

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Stand der Technik	3
1.2 Anforderungen an sportliche Fahrzeuge	5
1.3 Kundenansprüche an Hybridfahrzeuge	8
1.4 Anforderungen an ein zukünftiges Konzept für ein sportliches Hybridfahrzeug	8
1.5 Ziel der Arbeit und methodisches Vorgehen	9
2 Antriebsstränge für sportliche Fahrzeuge	12
2.1 Konventioneller Antriebsstrang des Basisfahrzeuges	12
2.2 Antriebsstränge für sportliche Hybridfahrzeuge	13
3 Erstellung der Simulationsumgebung	20
3.1 Verwendete Simulationsumgebung	20
3.2 Modellierung der Antriebsstrangkomponenten	21
3.3 Betriebsstrategien und Steuerungen in der Simulation	30
3.3.1 Entscheidung über elektrisches Fahren	31
3.3.2 Definition des Ladewunsches	32
3.3.3 Koordination der Achsen und strategische Achsabkopplung	33
3.4 Untersuchte Fahrprofile	34
3.4.1 Neuer Europäischer Fahrzyklus	35
3.4.2 Nordschleife als Extremtestprofil	36
3.5 Gesamtmodellabgleich anhand von Drehmomenten und Drehzahlen	39
3.5.1 Detailanalyse der Einflussfaktoren im Prototypenfahrzeug	42
3.5.2 Einflüsse des Fahrers auf den Verbrauch	44
4 Untersuchung hybrider Betriebszustände	47
4.1 Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch eines Fahrzeuges	47
4.2 Definition der Hybrid-Betriebszustände	50
4.3 Elektrische Fahrt	51
4.3.1 Bedeutung der Antriebsstrangwirkungsgrade	53
4.3.2 Betrachtung der elektrischen Wirkungsgrade	57

4.3.3	Betriebsstrategie für die elektrische Fahrt	58
4.4	Lastpunktverschiebung	60
4.4.1	Definition des Energiekostenfaktors	61
4.4.2	Wirkungsgradketten bei Lastpunktverschiebung	63
4.4.3	Verlustaufteilung während der Lastpunktverschiebung	68
4.4.4	Verbrauchsvorteile bei Konstantfahrt	70
4.5	Rekuperation	73
4.5.1	Einflussgrößen auf die Rekuperation	74
4.5.2	Rekuperationsleistung in gesetzlichen Zyklen	75
4.5.3	Einfluss der Bremskraftverteilung auf die Rekuperation	77
4.6	Elektrischer Boost	78
4.7	Konzept für einen Hybridsportwagen	80
5	Kraftstoffverbrauch des sportlichen Hybridfahrzeuges	83
5.1	Optimierung der strategischen Einschaltschwellen	83
5.2	Einbindung eines Riemenstartergenerators	85
5.3	Einsparpotenziale durch strategische Achsabkopplung	86
5.4	Schaltstrategie für das Vorderachsgetriebe	88
5.5	Maßnahmen zur Optimierung des Verbrennungsmotorbetriebes	91
5.5.1	Zylinderabschaltung	91
5.5.2	Hubraumverkleinerung (Motordownsizing)	97
5.5.3	Nutzung von Abgasenergie	101
5.6	Minimalverbrauch des Hybridfahrzeugkonzeptes	108
6	Steigerung der Fahrdynamik bei einem Hybridsportwagen	110
6.1	Betriebsstrategie für den Rundstreckenbetrieb	111
6.2	Auslegung der Booststrategie	114
6.3	Vergleich der Antriebsstrangkonzepte	117
6.3.1	Auswirkung der Schwerpunktlage	117
6.3.2	Auswirkung des Fahrzeuggewichtes	119
6.3.3	Auswirkung der Lastpunktverschiebung	120
6.4	Rundenzeitbetrachtung des Zielfahrzeugkonzeptes	121
6.5	Strategien mit nicht ausgeglichinem Ladezustand	123
6.6	Optimierte Fahrleistungen des sportlichen Hybridfahrzeugkonzeptes	125
7	Zusammenfassung	127
8	Literaturverzeichnis	129
A	Anhang	135
A.1	Herleitung der Empfindlichkeitsfaktoren	135
A.2	Informationen und Daten zur Modellierung der Komponenten	138
A.3	Berechnung des Energiekostenfaktors im Fahrzeug	146
A.4	Ergänzende Darstellungen zu den Betriebsstrategievarianten	149
A.5	Kennzahlen der untersuchten Fahrprofile	152