

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen und Formelzeichen

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
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
<b>2</b>	<b>Antriebsstränge für sportliche Fahrzeuge</b>	<b>12</b>
2.1	Konventioneller Antriebsstrang des Basisfahrzeuges . . . . .	12
2.2	Antriebsstränge für sportliche Hybridfahrzeuge . . . . .	13
<b>3</b>	<b>Erstellung der Simulationsumgebung</b>	<b>20</b>
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
<b>4</b>	<b>Untersuchung hybrider Betriebszustände</b>	<b>47</b>
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
<b>5</b>	<b>Kraftstoffverbrauch des sportlichen Hybridfahrzeuges</b>	<b>83</b>
5.1	Optimierung der strategischen Einschaltsschwellen . . . . .	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
<b>6</b>	<b>Steigerung der Fahrdynamik bei einem Hybridsportwagen</b>	<b>110</b>
6.1	Betriebsstrategie für den Rundstreckenbetrieb . . . . .	111
6.2	Auslegung der Booststrategie . . . . .	114
6.3	Vergleich der Antriebsstrangkonzeppte . . . . .	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 ausgeglichenem Ladezustand . . . . .	123
6.6	Optimierte Fahrleistungen des sportlichen Hybridfahrzeugkonzeptes . . . . .	125
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>127</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>129</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>135</b>
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