Inhalt

1 Einleitung 1

1.1 Ziele dieser Arbeit 1

1.2 Überblick Fahrwerkregelsysteme 2

2 Grundlagen der Fahrdynamik und des Allradantriebs 4

2.1 Reifenkräfte 4

2.2 Einspurmodell 5

2.3 Allradantrieb 8

2.3.1 Einteilung der Allradsysteme 8

2.3.2 Ungeregelte und selbstregelnde Systeme 10

2.3.3 Geregelte Systeme 13

2.3.3.1 Semiaktive Momentenverteilung 13

2.3.3.2 Aktive Momentenverteilung – Torque Vectoring 14

3 Stand der Technik 21

3.1 Patentrecherche zur aktiven Momentenverteilung 21

3.1.1 Überlagerungsdifferential 21

3.1.2 Torque Splitter 26

3.1.3 Unkonventionelle Ausführungen 27

3.2 Fahrdynamikregelung 28

3.2.1 Fahrwerkregelsysteme 28

3.2.2 Allradregelung 31

3.2.2.1 Differentialsperre 31

3.2.2.2 Torque Vectoring 32

3.3 Zusammenfassung und Ableitung der Schwerpunkte für diese Arbeit 38

4 Systemauswahl und -umsetzung 41

4.1 Vergleich Längsverteilung zu Querverteilung 41

4.2 Systemauswahl zur variablen Querverteilung 42

4.2.1 Fahrdynamische Ziele der variablen Querverteilung und Randbedingungen 42

4.2.2 Auswahl eines Systems zur variablen Querverteilung 47

4.2.3 Überlagerungsdifferential an der Vorder- oder Hinterachse 50

4.2.4 Potential der variablen Verteilung an beiden Achsen 54

4.3 Systemauswahl zur Längsverteilung 55

4.4 Integration zu einem Gesamtsystem 58

4.5 Systemausführung 59

4.5.1 Versuchsfahrzeug 59

4.5.2 Überlagerungsdifferential 59

4.5.3 Aktuierung des Überlagerungsdifferentials 60

4.5.4 Elektronikarchitektur 62

4.5.5 Komponentenregler 62

4.5.6 Sicherheitsanforderungen 62

4.5.7 Kühlung 65

4.5.8 Prüfstandsergebnisse des Torque Vectoring Systems 65

5 Regelungskonzept für das Überlagerungsdifferential 67

5.1 Theoretische Analyse anhand des Einspurmodells 67

5.2 Umsetzung der Regelstrategie 72

5.2.1 Softwarestruktur 72

5.2.2 Umsetzung des Regelalgorithmus 73

5.2.2.1 Vorsteuerung beim Beschleunigen 75

5.2.2.2 Vorsteuerung beim Anlenken 77

5.2.2.3 Gierratenregelung 78
5.2.2.4 Lastwechselbeeinflussung 80
5.2.2.5 Schlupfüberwachung 80
5.2.2.6 Zusammenspiel der Funktionen und Funktionsübersicht 80

6 Simulation 82

6.1 Grundlagen 82
6.1.1 Einsatz der Simulation 82
6.1.2 Simulationsumgebung 83
6.1.3 Fahrmanöver und objektive Bewertungskriterien 84

6.2 Simulationsergebnisse 88
6.2.1 Beschleunigen aus stationärer Kreisfahrt mit anschließendem Lastwechsel 88
6.2.2 Lenkwinkelsprung 91
6.2.3 VDA-Spurwechsel 92

6.3 Erkenntnisse aus der Simulation 94

7 Fahrversuch 95

7.1 Hochreibwert 95
7.1.1 Beschleunigen aus stationärer Kreisfahrt 95
7.1.2 Handlingkursfahrt 97

7.2 Niedrigreibwert 101
7.2.1 Einfacher Spurwechsel 102
7.2.2 Einlenken 103

7.3 Erkenntnisse aus dem Fahrversuch 106

8 Vergleich und Vernetzung mit anderen Fahrwerkregelsystemen 107

8.1 Potentialvergleich mit anderen Fahrwerkregelsystemen 107

8.2 Vernetzungsansätze 108

9 Zusammenfassung 111

10 Formelzeichen und Indizes 113

10.1 Abkürzungen 113

10.2 Formelzeichen 113

10.3 Indizes 115

11 Literatur 116

12 Schutzrechte 126