

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbole und Abkürzungen</b>	<b>VIII</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Einsatz von mathematischen Fahrdynamikmodellen . . . . .	1
1.2 Ziel dieser Arbeit . . . . .	3
1.3 Stand der Technik . . . . .	4
1.3.1 Parameterschätzung für adaptive Modelle . . . . .	4
1.3.2 Anwendung adaptiver Fahrdynamikmodelle . . . . .	5
1.3.3 Reifendrucküberwachung . . . . .	6
1.4 Gliederung der Arbeit . . . . .	8
<b>2 Fahrdynamikmodelle für das querdynamische Verhalten</b>	<b>10</b>
2.1 Koordinatensysteme der Fahrdynamik . . . . .	11
2.2 Das lineare Einspurmodell . . . . .	12
2.2.1 Kinematische Zusammenhänge . . . . .	14
2.2.2 Modellierung der Reifenkräfte . . . . .	17
2.2.3 Herleitung des Zustandsraummodells . . . . .	18
2.2.4 Stabilität des Einspurmodells . . . . .	20
2.3 Erweiterte Fahrdynamikmodelle . . . . .	21
2.4 Zusammenfassung . . . . .	21
<b>3 Parameterschätzung für fahrdynamische Modelle</b>	<b>23</b>
3.1 Grundparametrisierung . . . . .	23
3.2 Parameterschätzung zeitkontinuierlicher Modelle . . . . .	24
3.3 Identifikation der Schräglaufsteifigkeiten unter Verwendung dynamischer Fahrmanöver . . . . .	27
3.3.1 Bestimmung der Schräglaufsteifigkeiten zur Grundparametrisierung eines Einspurmodells . . . . .	27
3.3.2 Bestimmung der Schräglaufsteifigkeiten eines Versuchsfahrzeugs . . . . .	31
3.4 Identifikation der Schräglaufsteifigkeiten unter Verwendung stationärer Fahrmanöver . . . . .	41
3.4.1 Stationäres Einspurmodell . . . . .	42
3.4.2 Aufstellen der stationären Schätzgleichungen . . . . .	43
3.4.3 Parameterkombinationen . . . . .	44
3.4.4 Anwendung von Parameterschätzmethoden bei einem Versuchsfahrzeug mit stationärer Anregung . . . . .	45
3.5 Zusammenfassung . . . . .	54
<b>4 Adaptive Modelle zur Parameterschätzung</b>	<b>56</b>
4.1 Adaption der Parameter . . . . .	56

4.2	Voraussetzungen für die Online-Parameterschätzungen in Echtzeit . . . . .	57
4.3	Online-Parameterschätzung mit dynamischem Modell . . . . .	58
4.3.1	Aufstellen der Schätzgleichungen . . . . .	58
4.3.2	Evaluation der Online-Schätzung der Schräglaufsteifigkeiten mit dynamischem Adaptionmodell anhand eines Simulationsmodells . . . . .	60
4.4	Online-Parameterschätzung mit stationärem Modell . . . . .	63
4.4.1	Aufstellen der Schätzgleichungen . . . . .	63
4.4.2	Evaluation der Online-Schätzung der Schräglaufsteifigkeiten mit stationärem Adaptionmodell anhand eines Simulationsmodells . . . . .	67
4.5	Online-Parameterschätzung mit kombinierten Adaptionsverfahren . . . . .	71
4.5.1	Kombination der Verfahren . . . . .	71
4.5.2	Evaluation des Adaptionmodell mit kombiniertem Adaptionsverfahren . . . . .	74
4.6	Zusammenfassung . . . . .	83
<b>5</b>	<b>Indirekte Reifendrucküberwachung</b>	<b>85</b>
5.1	Reifendruckschätzung aus dem Vergleich der Raddrehzahlen . . . . .	85
5.1.1	Residuen zur Auswertung von Raddrehzahlunterschieden . . . . .	86
5.1.2	Kompensation von Kurveinflüssen . . . . .	89
5.2	Reifendruckschätzung mittels Spektralanalyse . . . . .	94
5.2.1	Übertragungsverhalten der Radaufhängung . . . . .	94
5.2.2	Torsionsverhalten der Räder . . . . .	98
5.3	Spektralanalyse zur Analyse des Übertragungsverhalten . . . . .	99
5.3.1	Zusammenstellung bekannter Verfahren . . . . .	101
5.3.2	Neue Verfahren zur parametrischen Spektralanalyse . . . . .	108
5.3.3	Vergleich der Verfahren . . . . .	114
5.3.4	Fazit . . . . .	118
5.4	Anwendung der Spektralanalyse zur indirekten Reifendruckschätzung . . . . .	119
5.4.1	Spektralanalyse der vertikalen Radbeschleunigung . . . . .	120
5.4.2	Spektralanalyse des Federwegs . . . . .	141
5.4.3	Spektralanalyse der vertikalen Aufbaubeschleunigung . . . . .	148
5.4.4	Spektralanalyse der Raddrehzahlen . . . . .	150
5.5	Vergleich der indirekten Reifendruckschätzverfahren . . . . .	156
5.6	Auswertung und Fusion der Residuen . . . . .	157
5.6.1	Auswahl der Residuen . . . . .	158
5.6.2	Übersicht der Residuenauswertung . . . . .	159
5.6.3	Residuenauswertung mit Fuzzy-Logik . . . . .	161
5.6.4	Klassifizierung des Reifendrucks mit stochastischem Zustandsautomaten . . . . .	166
5.6.5	Evaluation des Reifendruckkontrollsystems am Testfahrzeug . . . . .	167
5.7	Zusammenfassung . . . . .	171
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>173</b>
	<b>Anhang</b>	<b>176</b>

---

<b>A</b>	<b>Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung mehrerer Gleichungen</b>	<b>177</b>
A.1	Nichtrekursive Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung mehrerer Gleichungen . . . . .	177
A.2	Rekursive Methode der kleinsten Quadrate unter Verwendung von zwei Gleichungen	179
A.3	Erweiterung der rekursiven Methode der kleinsten Quadrate für eine beliebige Anzahl von Gleichungen . . . . .	182
<b>B</b>	<b>Zustandsvariablenfilter</b>	<b>183</b>
<b>C</b>	<b>Das Versuchsfahrzeug</b>	<b>186</b>
C.1	Technische Daten des Fahrzeugs . . . . .	186
C.2	Sensorik . . . . .	188
C.3	Datenverarbeitung . . . . .	190
<b>D</b>	<b>Fahrmanöver</b>	<b>191</b>
<b>E</b>	<b>Linearer Beobachter nach Daiß</b>	<b>194</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>197</b>