

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>iii</b>
<b>Formelzeichen und Indizes</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Stand der Technik . . . . .	3
1.2.1 Das Lenkgefühl und seine Bedeutung . . . . .	3
1.2.1.1 Qualitative Beschreibung des Lenkgefühls . . . . .	4
1.2.1.2 Quantitative Beschreibung des Lenkgefühls. . . . .	6
1.2.1.3 Optimierung des Lenkgefühls mit aktiven Lenksystemen. . . . .	10
1.2.2 Lenkmomentssimulation mit Steer-by-Wire Lenksystemen . . . . .	16
1.2.2.1 Aktorik zur Darstellung künstlicher Lenkmomente . . . . .	17
1.2.2.2 Messung der Reifenrückstellkräfte. . . . .	18
1.2.2.3 Schätzung der Reifenrückstellkräfte . . . . .	18
1.3 Schlussfolgerungen und Zielsetzung . . . . .	20
<b>2 Bestimmung des Lenkmoments</b>	<b>23</b>
2.1 Messung der Zahnstangenkraft . . . . .	23
2.2 Modellbildung des Zahnstangenkraftschätzers. . . . .	24
2.2.1 Kalman-Filter zur Seitenkraftschätzung. . . . .	25
2.2.2 Berechnung des Schräglaufwinkels . . . . .	27
2.2.3 Quasistatische Radlastverteilung . . . . .	28
2.2.4 Ergänzende Teilmodelle. . . . .	30
2.3 Modellvalidierung und Analyse des Zahnstangenkraftschätzers. . . . .	32
2.3.1 Validierung der Teilmodelle. . . . .	32
2.3.2 Validierung des Gesamtmodells . . . . .	35
2.3.3 Zeitverhalten . . . . .	35
2.3.4 Zusammenfassung . . . . .	40
2.4 Modellbildung und -validierung der Lenkung . . . . .	41
<b>3 Optimierung des Lenkgefühls</b>	<b>43</b>
3.1 Lenkgefühloptimierung bei geschätzter Zahnstangenkraft. . . . .	43
3.1.1 Verbesserung des Zeitverhaltens . . . . .	43
3.1.2 Verstärkung der Fahrbahrückmeldung . . . . .	45
3.1.3 Verstärkung von Reifennachlaufänderungen . . . . .	46

---

3.2	Lenkgefühloptimierung bei gemessener Zahnstangenkraft . . . . .	47
3.2.1	Einstellung der Fahrbahnrückmeldung . . . . .	47
3.2.2	Reduktion der Lenkungsstößigkeit . . . . .	48
3.3	Übergreifende Maßnahmen zur Optimierung des Lenkgefühls . . . . .	49
3.3.1	Systemimmanente Vorteile für die Berechnung und Abstimmung des Lenkmoments . . . . .	50
3.3.2	Verstärkung der Lenkmomentdegression beim Untersteuern. . . . .	50
<b>4</b>	<b>Bewertung der entwickelten Modelle</b>	<b>53</b>
4.1	Gegenstand der Untersuchungen. . . . .	53
4.2	Methodik . . . . .	54
4.2.1	Aufbau des Versuchsfahrzeugs . . . . .	54
4.2.2	Bewertungsverfahren . . . . .	57
4.2.3	Versuchsdurchführung . . . . .	61
4.3	Ergebnisse . . . . .	61
4.3.1	Lenkmomentverlauf . . . . .	62
4.3.2	Präzision von Lenkeingaben . . . . .	66
4.3.3	Rückmeldung von Fahrbahneigenschaften . . . . .	66
4.4	Ergebniszusammenfassung. . . . .	70
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>73</b>
<b>A</b>	<b>Anhang</b>	<b>77</b>
A.1	Ergänzende Bilder zur Modellvalidierung . . . . .	77
A.2	Einzelnoten der Probandenversuche . . . . .	81
A.3	Fragebogen . . . . .	86
A.4	Signifikanztests. . . . .	87
A.4.1	Signifikanztests der Notenbewertung. . . . .	88
A.4.2	Signifikanztests der Meinungsbewertung. . . . .	92
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>97</b>