

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation und Zielsetzung der Arbeit	3
1.2	Aufbau der Arbeit	4
2	Fahrzeugmodell für den Entwurf	7
2.1	Vereinfachende Annahmen	8
2.2	Das Fünfmassenmodell der Fahrzeugvertikaldynamik	11
2.3	Eine Zerlegung in Hub-, Wank-, Nick- und Verspanndynamik	17
2.4	Die Aktordynamik in Hub-, Wank-, Nick- und Verspannkoordinaten	24
2.5	Das Viertelfahrzeugmodell	27
3	Die Unebenheit der Fahrbahn	29
3.1	Allgemeine Betrachtung	29
3.2	Stochastische Unebenheit	30
3.2.1	Grundlagen stochastischer Prozesse	30
3.2.2	Einachsige, einspurige Betrachtung	35
3.2.3	Einachsige, zweispurige Betrachtung	36
3.2.4	Mehrachsige, zweispurige Betrachtung	42
3.2.5	Zweiachsige, zweispurige Betrachtung in Hub-, Wank-, Nick- und Verspannkoordinaten	42
3.2.6	Ein approximatives Entwurfsmodell in Hub-, Wank-, Nick- und Verspannkoordinaten	45

3.3	Deterministische Unebenheiten: Einzelhindernisse	49
3.4	Charakterisierung der Fahrbahngüte durch Maßzahlen	50
3.4.1	Allgemeine Unebenheit - AUN	50
3.4.2	International Roughness Index - IRI	51
4	Fahrwerksregelung für stochastische Unebenheiten	53
4.1	Übersicht verschiedener Ansätze zur Fahrwerksregelung	54
4.2	Kriterien zur Beurteilung der Regelgüte	58
4.3	Fahrwerksadaptionsregelung mit Sky-Hook-Anteil	65
4.3.1	Entwurf mit idealer Aktorik	65
4.3.2	Schätzung der Einfederungsgeschwindigkeit	69
4.3.3	Entwurf unter Berücksichtigung der Aktordynamik	72
4.3.4	Potentialabschätzung mittels Simulation	74
4.4	Linear-Quadratische Regelung mit I-Anteil	80
4.4.1	Reglerentwurf mit bekannten Zuständen und Fahrbahnparametern	80
4.4.2	Potentialabschätzung mittels Simulation	87
4.5	Zustandsschätzung mittels Kalman-Filterung	91
4.5.1	Entwurf und Parametrierung bei bekannten Fahrbahnparametern	93
4.5.2	Potentialabschätzung mittels Simulation	97
4.6	Parameteridentifikation	101
4.6.1	Übersicht verschiedener Methoden	101
4.6.2	Der RLS-Algorithmus	105
4.6.3	Anwendung des RLS zur Schätzung der Fahrbahnparameter	109
4.6.4	Potentialabschätzung mittels Simulation	111
4.7	Adaptive LQI-Regelung bei unbekannten, zeitvarianten Fahrbahnparametern . . .	113
4.7.1	Ansätze zur Regelung bei messbarem Unebenheitsverlauf	113
4.7.2	Regelung bei nicht messbarem Unebenheitsverlauf	114
4.7.3	Potentialabschätzung mittels Simulation	116
4.8	Zusammenfassung und Diskussion	118

5	Umgang mit deterministischen Einzelhindernissen	121
5.1	Auswirkungen von Einzelhindernissen	122
5.2	Isolation von Einzelhindernissen im Unebenheitsverlauf	124
5.2.1	Optimale Signalaufbereitung mittels fahrbahnadaptivem Wiener-Filter . .	125
5.2.2	Separation von deterministischem und stochastischem Anteil	130
5.2.3	Bereinigung der geschätzten Fahrzeugzustände	132
5.2.4	Potentialabschätzung mittels Simulation	133
5.3	Aufschaltung der Einzelhindernisse	134
5.3.1	Kriterien zur Beurteilung der Regelgüte	134
5.3.2	Entwurf der Aufschaltung	137
5.3.3	Potentialabschätzung mittels Simulation	140
6	Umgang mit fahrerinduzierter Anregung durch die Horizontaldynamik	143
6.1	Überblick über den gesamten Steuerungsentwurf	144
6.2	Vereinfachung des Entwurfsmodells	145
6.3	Entwurf der modellgestützten Teilsteuerungen	146
6.4	Vorgabe des Eigenlenkverhaltens und der Fahrwerksverspannung	148
6.5	Zusammenfassung und Diskussion	150
7	Nichtlineare Dämpfercharakteristik und Parameterunsicherheiten	151
7.1	Kalman-Filterung bei nichtlinearer Dämpferkennlinie	151
7.2	Robuste Kalman-Filterung mit unsicheren Parametern	154
8	Umsetzung am Viertelfahrzeugversuchsstand	157
8.1	Aufbau des Versuchsstandes	157
8.2	Messung mit passivem Fahrwerk	159
8.3	Messung mit aktivem Fahrwerk	162
8.4	Diskussion und Bewertung der Ergebnisse	166

9	Anwendung und Ergebnisse am pFAU-Versuchsanhänger	167
9.1	Übersicht über aktuelle Methoden zur Vermessung der Unebenheit	168
9.1.1	Gütebestimmung mit der Richtlatte und dem Planografen	168
9.1.2	Fahrbahnvermessung mittels Hochgeschwindigkeits-Profilografen	169
9.2	Aufbau und Parametrierung des Versuchsanhängers	170
9.3	Modellbildung, Filterentwurf und Umgang mit Störgrößen und Unsicherheiten .	174
9.4	Der pFAU am Versuchsstand	176
9.4.1	Aufbau des Versuchsstandes	176
9.4.2	Messergebnisse	177
9.4.3	Diskussion der Ergebnisse	181
9.5	Vermessung realer Fahrbahnen mit dem pFAU	181
9.5.1	Übersicht über das Vorgehen und den Messablauf	181
9.5.2	Plausibilisierung der Messungen	183
9.5.3	Statistische Ergebnisse der identifizierten Fahrbahnparameter	186
10	Zusammenfassung, offene Punkte und Ausblick	199
	Anhang	205
A	Parameterwerte und Tabellen	205
B	Vergleich der Systembeschreibung in Absolut- und Differenzkoordinaten	213
C	Zum Entwurf des Wiener-Filters für die Teildynamiken	219
	Literatur	223