

Beobachtung fahrdynamischer Zustände und Verbesserung einer ABS- und Fahrdynamikregelung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTOR-INGENIEURS

von der Fakultät für
Elektrotechnik
der Universität Fridericiana Karlsruhe

genehmigte

DISSERTATION

von

Dipl.-Ing. Armin Daiß

aus Heilbronn

Tag der mündlichen Prüfung:
Hauptreferent:
Korreferent:

18.1.1996
Prof. Dr.-Ing. U. Kiencke
Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. R. Isermann

1. Einführung und Übersicht	1
1.1. Das Fahrzeug-Straße-Problem	3
1.2. Reibwertcharakteristik	4
1.3. Antiblockiersysteme (ABS)	7
1.4. Fahrzeugmodelle	10
1.5. Ziel und Gliederung der Arbeit	10
2. Reibungskräfte am Rad	14
2.1. Schräglaufwinkel beim Einspurmodell	15
2.2. Geschwindigkeiten an den Radaufstandspunkten	17
2.2.1. Transformation der Schwerpunktschwindigkeit	17
2.2.2. Näherung der Geschwindigkeiten der Radaufstandspunkte	20
2.2.3. Berechnung von individuellen Kurvenradien	20
2.3. Schlupf und Schräglauf	25
2.3.1. Schlupfberechnung	25
2.3.2. Schräglaufwinkelberechnung	28
2.4. Reibbeiwerte	30
2.4.1. Reibwertcharakteristiken für verschiedene Fahrbahnoberflächen	32
2.4.2. Eine Näherungsdarstellung der Reibwertcharakteristik	32
2.5. Berechnung der Reibungskräfte	34
2.6. Das Reifenkennfeld	35
2.6.1. Auswirkung und Berechnung des Sturzwinkels	37
3. Fahrzeugmodell	39
3.1. Struktur des Gesamtmodells	40
3.2. Fünf - Massen - Modell	41
3.2.1. Chassis	42
3.2.2. Fahrwerk	44
3.2.3. Federwege und -geschwindigkeiten	47
3.3. Modell der Raddrehdynamik	47
3.3.1. Statischer und dynamischer Reifenradius	48
3.4. Bremse und Motor	49
3.4.1. Die ABS-Bremsanlage	49
3.4.2. Identifizierung der Parameter des Bremssystems	54
3.4.3. Reduktion des Bremsenmodells	57
3.4.4. Verifikation des Bremsenmodells während ABS-Bremssungen	59
3.4.5. Motor	60
3.5. Lenkung	61
3.6. Straße	61
3.7. Fahrer	62
3.8. Verifikation des Fahrzeugmodells	64

4. Modellreduktion und fahrdynamische Betrachtungen	68
4.1. Modellreduktion zum nichtlinearen Zweispurmodell.....	68
4.2. Modellreduktion zum linearen Einspurmodell.....	72
4.3. Adaption der Schräglaufsteifigkeiten.....	75
4.4. Genäherte Berechnung der Radaufstandskräfte.....	77
4.5. Genäherte Berechnung des Nick- und Wankwinkels.....	82
4.6. Vergleich und Simulation von Testfahrten.....	83
4.6.1. Bremsung auf μ -Split-Strecke mit Ausweichmanöver.....	84
4.6.2. Bremsung auf μ -Sprung-Strecke in der Kurve.....	85
4.7. Stabilitätsbetrachtungen.....	87
4.8. Beurteilung der reduzierten Modelle.....	89
5. Schätzung und Beobachtung nicht direkt meßbarer Größen	90
5.1. Beobachtung des Schwimm- und Schräglaufwinkels.....	91
5.1.1. Linearer Beobachter.....	91
5.1.2. Nichtlinearer Beobachter.....	94
5.1.3. Ergebnisse und Vergleich der Schwimmwinkel-Beobachter.....	99
5.2. Schätzung der Fahrzeuggeschwindigkeit.....	105
5.2.1. Kalman-Filter.....	105
5.2.2. Einführung in die Fuzzy-Logik.....	107
5.2.3. Fuzzy - Schätzer.....	109
5.2.4. Ergebnisse und Vergleich der Geschwindigkeitsschätzer.....	117
5.2.5. Sensordatenvorverarbeitung.....	120
5.3. Schätzung der Fahrbahnsteigung.....	122
5.4. Schätzung der Fahrzeugmasse.....	123
6. Identifikation der Reibwertcharakteristik	126
6.1. Methoden zur Reibwertschätzung.....	126
6.1.1. Methode 1 : Schätzung mit Bremsdrucksensoren.....	128
6.1.1.1. Diagnose des Bremsübertragungsfaktors.....	129
6.1.2. Methode 2 : Schätzung mit fester Bremsdruckverteilung.....	130
6.1.3. Methode 3 : Schätzung während dem Beschleunigen.....	130
6.2. Reibwertschätzung mit einem Hydraulikmodell.....	131
6.3. Reibwertschätzung bei Kurvenfahrten.....	132
6.4. Schätzen der Reibbeiwert-Schlupf-Kurve.....	133
7. ABS - Systeme	136
7.1. Fuzzy-ABS-Regler.....	137
7.1.1. Verbesserungen des Fuzzy - ABS.....	141
7.1.2. Simulationsergebnisse des Fuzzy-ABS-Reglers.....	142
7.1.3. Realisierung des Fuzzy-ABS-Reglers.....	144
7.2. Datenerfassungs - und Vorverarbeitungsmodul.....	146
7.3. Fahrstabilitätsregelung.....	148

Diplomarbeit

8. Zusammenfassung.....	160
9. Anhang.....	162
9.1. Mathematische Nomenklatur.....	162
9.2. Fahrzeugtechnische Begriffe und Parameter der Fahrzeugmodelle.....	162
9.2.1. Fahrzeugtechnische Begriffe.....	163
9.2.2. Parameter des Fahrzeugmodells.....	164
9.2.3. Magic Tyre Formula.....	165
9.2.4. Parameter des Reifenmodells.....	165
9.3. Koordinatensysteme und -transformationen.....	165
9.3.1. Zusatzkräfte im bewegten Koordinatensystem.....	167
9.3.2. Koordiantentransformation der Fahrzeugbeschleunigung.....	168
9.4. Zustandsraummodell des Fahrwerkes.....	169
9.5. Berechnung des Federweges und der -geschwindigkeiten.....	173
9.6. Zustandsraummodell des Bremssystems.....	174
9.7. Elemente der Jacobi-Matrizen.....	178
9.8. Regeln des Fuzzy-Geschwindigkeitsschätzers.....	181
10. Literaturverzeichnis.....	184