

Dipl.-Ing. Armin Daif, Wenzelbach

**Beobachtung fahrdynamischer  
Zustände und Verbesserung  
einer ABS- und Fahrdynamik-  
regelung**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **283**

<b>1. Einführung und Übersicht .....</b>	<b>1</b>
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
<b>2. Reibungskräfte am Rad .....</b>	<b>14</b>
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
<b>3. Fahrzeugmodell .....</b>	<b>39</b>
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-Bremsungen .....	59
3.4.5. Motor .....	60
3.5. Lenkung .....	61
3.6. Straße .....	61
3.7. Fahrer .....	62
3.8. Verifikation des Fahrzeugmodells .....	64

---

<b>4. Modellreduktion und fahrdynamische Betrachtungen.....</b>	<b>68</b>
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 $\mu$ -Split-Strecke mit Ausweichmanöver .....	84
4.6.2. Bremsung auf $\mu$ -Sprung-Strecke in der Kurve .....	85
4.7. Stabilitätsbetrachtungen .....	87
4.8. Beurteilung der reduzierten Modelle.....	89
<b>5. Schätzung und Beobachtung nicht direkt meßbarer Größen .....</b>	<b>90</b>
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
<b>6. Identifikation der Reibwertcharakteristik.....</b>	<b>126</b>
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
<b>7. ABS - Systeme .....</b>	<b>136</b>
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

---

<b>8. Zusammenfassung.....</b>	<b>160</b>
<b>9. Anhang .....</b>	<b>162</b>
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
<b>10. Literaturverzeichnis.....</b>	<b>184</b>