

Dipl.-Ing. Stefan Germann, Lorsch

# **Modellbildung und modell- gestützte Regelung der Fahrzeuglängsdynamik**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/  
Fahrzeugtechnik

Nr. **309**

RVL 00

**HLuHB Darmstadt**



13438145

# Modellbildung und modellgestützte Regelung der Fahrzeuglängsdynamik

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Stand der Technik und Einbindung in andere Projekte</b>	<b>4</b>
2.1	Das PROMETHEUS-Projekt	4
2.2	Das PATH-Projekt	6
2.3	Weitere Arbeiten auf dem Gebiet der autonomen Längsführung	8
<b>3</b>	<b>Modell der Fahrzeuglängsdynamik</b>	<b>10</b>
3.1	Drosselklappe	13
3.2	Saugrohr	15
3.3	Verbrennungsmotor	19
3.4	Wandler	21
3.5	Getriebe	25
3.6	Antriebswelle	26
3.7	Differential	28
3.8	Bremsanlage	30
	3.8.1 Konventionelle Bremsanlage	30
	3.8.2 Elektrohydraulisches Bremssystem	32
3.9	Rad / Reifen	34
3.10	Fahrzeuglongitudinalbewegung	37
3.11	Fahrzeugvertikalbewegung infolge Longitudinalkraft	39
3.12	Modell der Sensorik	43
3.13	Zusammenfassung der Modellierung	44
<b>4</b>	<b>Parametrisierung der Modelle</b>	<b>47</b>
4.1	Grundlagen der Parameterschätzung	47
4.2	Parameterschätzung nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate	47
4.3	Parameterschätzung nach der rekursiven Methode der kleinsten Fehlerquadrate	48
4.4	Parameterschätzung nach dem Ausgangsfehlerverfahren	49
4.5	Auswahl geeigneter Testzyklen	52

4.6	Anwendungsbeispiele	55
4.6.1	System Rad / Reifen	55
4.6.2	Beobachtung des momentanen Belages zwischen Reifen und Fahrbahn	56
4.6.3	Bestimmung der Schwerpunktlage eines Kraftfahrzeuges	57
4.7	Zusammenfassung der Parametrisierung	59
<b>5</b>	<b>Modellvereinfachungen zur Längsdynamikregelung</b>	<b>61</b>
5.1	Vereinfachung des Modells zur Antriebsstrangdynamik bei geschlossener Wandlerkupplung	62
5.2	Vereinfachung des Modells zur Antriebsstrangdynamik bei geöffneter Wandlerkupplung	
5.3	Vereinfachung des Modells zur Fahrzeugdynamik	67
5.4	Validierung des vereinfachten Modells	71
5.5	Parametrisierung des vereinfachten Modells	73
5.6	Ermittlung der Fahrbahnsteigung	75
5.7	Zusammenfassung der Modellvereinfachung	76
<b>6</b>	<b>Regelung der Fahrzeulängsbewegung</b>	<b>78</b>
6.1	Überblick bekannter Regelstrategien zur Längsdynamikregelung	78
6.2	Anforderungen an die Regelung	79
6.3	Beschleunigungsregler	82
6.3.1	Nichtlinearer PI-Regler	82
6.3.2	Wahl des Vorfilters	86
6.3.3	Bestimmung der Reglerparameter mittels nichtlinearer Optimierung	87
6.4	Eigenschaften des Beschleunigungsreglers	88
6.4.1	Verhalten des Reglers bei Störungen	88
6.4.2	Stabilität und Robustheit des Beschleunigungsreglers	89
6.4.3	Adaption an unterschiedliche Beladungszustände	92
6.4.4	Stellgrößenbeschränkung	94
6.4.5	Übersteuerung durch den Fahrer	94
6.4.6	Weiteres Verbesserungspotential der Regelung	96
6.4.7	Beschleunigungsregelung ohne Bremseneingriff	97
6.4.8	Zusammenfassung zur Beschleunigungsregelung	98
6.5	Methoden zur Gangsteuerung und Gangerkennung	100
6.5.1	Adaptiver Gangbeobachter	100
6.5.2	Gangvorgabe über den Regler	102
6.5.3	Zusammenfassung zur Getriebesteuerung	104
6.6	Geschwindigkeitsregler	105
6.6.1	Konventioneller Geschwindigkeitsregler	105
6.6.2	Einführung in die Regelung mit Fuzzy-Logik	108
6.6.3	Fuzzy-Logik Geschwindigkeitsregler	112
6.6.4	Einführung in die Regelung mit neuronalen Netzen	115

6.6.5	Neuronaler Geschwindigkeitsregler	119
6.6.6	Stabilität des Geschwindigkeitreglers	121
6.6.7	Wahl der freien Zeitkonstante des Beschleunigungsreglers	123
6.6.8	Zusammenfassung zur Geschwindigkeitsregelung	123
6.7	Abstandsregler	124
6.7.1	Vorüberlegungen zur Abstandsregelung	125
6.7.2	Linearer Abstandsregler	128
6.7.3	Betrachtung der Kolonnenstabilität	131
6.7.4	Fuzzy-Logik Abstandsregelung	136
6.7.5	Neuronaler Abstandsregler	142
6.7.6	Experimentelle Ergebnisse und Zusammenfassung	145
6.8	Zusammenführung von Abstands- und Geschwindigkeitsregler	146
6.9	Zusammenfassung	149
<b>7</b>	<b>Realisierung der Regelung im Fahrzeug</b>	<b>150</b>
7.1	Übertragung der Ergebnisse für eine zeitdiskrete Regelung	150
7.2	Sollwertvorgabe	152
7.3	Display	153
7.4	Meßwertaufnahme und Sollwertvorgabe über CAN-BUS	154
7.5	Folgerung für die Auslegung der Komponenten	156
7.6	Zusammenfassung der Realisierung	159
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>160</b>
<b>Anhang</b>		<b>162</b>
<b>A</b>	<b>Beschreibung der Versuchsfahrzeuge</b>	<b>162</b>
A1	Versuchsfahrzeug I: Opel Omega Caravan	162
A2	Versuchsfahrzeug II: Opel Vectra	174
<b>B</b>	<b>Stabilitätsbeweis des Kennfeldreglers</b>	<b>168</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>		<b>169</b>