

Berichte der
Institute für
Automatisierungs-
technik



Technische
Universität
Braunschweig

Dipl.-Ing. Hans-Jürgen Voß, Braunschweig

Optimale Fahrprofilausnutzung bei schienengebundenen Nahverkehrsfahrzeugen durch die Kombination von konven- tioneller Regelungstechnik und Fuzzy Control

Fortschritt-Berichte VDI
Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **298**

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Symbole und Bezeichnungen

1. Einleitung	1
2. Ziele, Aufgaben und Struktur von Leitsystemen für Nahverkehrsbahnen	4
2.1. Ziele von Leitsystemen.....	4
2.2. Aufgaben von Leitsystemen.....	5
2.3. Struktur von Leitsystemen	7
3. Beschreibung des zulässigen Zustandsraums	10
3.1. Sicherungstechnische Vorgaben.....	12
3.2. Betriebsleitetechnische Vorgaben.....	13
4. Verhalten der Regelstrecke	14
5. Regelstrategie	19
5.1. Anforderungen an die Regelung	19
5.2. Beschreibung der ausgewählten Struktur	20
5.2.1. Solldatenaufbereitung	24
5.2.2. Ortsdatenaufbereitung.....	24
5.2.3. Regler.....	25
5.2.4. Bremseinsatzpunktberechnung.....	25
5.2.5. Koordination	25
5.2.6. Zustandsbeobachter	27
6. Modellbildung und Zustandserfassung	28
6.1. Problemstellung.....	28
6.2. Zustandsbeobachter	28
6.2.1. Analyse der Regelstrecke.....	29
6.2.2. Beschreibungsmethode, Darstellung	30
6.2.3. Entwurf des zeitdiskreten Beobachters.....	32
6.2.4. Optimierung unter Berücksichtigung der quantisierten Ortserfassung	37
7. Ortssynchronisation	46
7.1. Absolute Wegmessung durch Ortsmarken.....	46
7.2. Lage der Ortsmarken	46
7.3. Besonderheiten bei induktiven Ortsmarken.....	50
8. Reglerentwurf für zeitoptimale Fahrweise	52
8.1. Verfahren der zeitoptimierten Lageregelung.....	52
8.2. Konventionelle Regelung.....	56
8.2.1. Beschleunigungs- und Beharrungsfahrt.....	56
8.2.1.1. Beschleunigungsregler	58

8.2.1.2. Geschwindigkeitsregler.....	59
8.2.2. Zielbremsregelung.....	64
8.3. Fuzzy Control.....	65
8.3.1. Beschleunigungs- und Beharrungsfahrt mit Fuzzy Control.....	69
8.3.2. Zielbremsung mit Fuzzy Control.....	77
9. Stabilitätsbetrachtungen.....	84
9.1. Definition der Stabilität.....	85
9.2. Übersicht über bekannte wichtige Verfahren.....	85
9.3. Angewendete Stabilitätsnachweise.....	87
9.3.1. Analyse durch Vergleich mit einer linearen Zustandsregelung.....	88
9.3.2. Anwendung des Ljapunow-Kriteriums.....	93
9.3.3. Numerischer Stabilitätsnachweis.....	95
9.3.4. Theoretischer Ansatz.....	95
9.3.5. Untersuchung der gegebenen Rulebases.....	97
9.4. Bewertung der Ergebnisse.....	100
10. Konkretes Referenzbeispiel und Ergebnisse.....	102
10.1. Metro Mailand als Referenzbeispiel.....	102
10.2. Beschreibung des Versuchsumfeldes.....	104
10.3. Ergebnisse anhand verschiedener Kriterien.....	106
10.3.1. Ergebnisse der Geschwindigkeitsregelung.....	107
10.3.1.1. Theoretische Ausnutzung des Geschwindigkeitsprofils.....	107
10.3.1.2. In der Praxis erreichte Ergebnisse.....	108
10.3.2. Ergebnisse der Zielbremsung.....	112
10.3.2.1. Theoretische Betrachtung der maximalen Genauigkeit.....	112
10.3.2.2. In der Praxis erreichte Ergebnisse.....	115
10.3.3. Ergebnisse des zeitoptimalen Fahren.....	116
10.3.3.1. Theoretisch vorgegebene Fahrzeit.....	116
10.3.3.2. In der Praxis erreichte Fahrzeit.....	116
10.3.4. Vergleich konventionelle Regelung versus Fuzzy Control.....	117
10.3.4.1. Reglerentwurf und Stabilitätsuntersuchung.....	117
10.3.4.2. Realisierung und Implementierung.....	118
10.3.4.3. Entwicklungszeiten.....	119
10.3.4.4. Modellbildung.....	120
11. Energieoptimales Fahren.....	121
11.1. Prinzip der Simulation.....	124
11.2. Modell reduzierte Höchstgeschwindigkeit.....	124
11.3. Modell Abschaltgeschwindigkeit.....	126
11.4. Simulationsmodell und Ergebnisse.....	127
11.5. Realisierungsmöglichkeiten.....	128
12. Zusammenfassung und Ausblick.....	129
13. Literatur.....	132