

# INHALTSVERZEICHNIS

## I Einleitung

<b>1 Einführendes Beispiel</b>	<b>3</b>
Motivation 3	• Zustandsraum-Modellierung 7 : <i>Zeitkontinuierliche Systembeschreibung</i> – <i>Zeitdiskrete Systembeschreibung</i> – <i>Beobachtbarkeit</i>
12 : <i>Systemrauschen</i> – <i>Messrauschen</i>	• Rauschen
12 : <i>Systemrauschen</i> – <i>Messrauschen</i>	• Kalman-Filter Gleichungen 15

## II Grundlagen

<b>2 Zustandsraumbeschreibung</b>	<b>23</b>
Beschreibung dynamischer Systeme 24	• Allgemeine Darstellung von Differentialgleichungen 28
• Systemeigenschaften 30 : <i>Beobachtbarkeit</i> – <i>Steuerbarkeit</i>	
• Lösung der Zustandsgleichung 37	• Beschreibung zeitdiskreter Systeme 39
<b>3 Wahrscheinlichkeitstheorie</b>	<b>49</b>
Definitionen und Begriffe 49 : <i>Zufälliges Experiment</i> – <i>Ergebnis und Ergebnismenge</i>	
– <i>Zufallsvariable</i> – <i>Wahrscheinlichkeit</i>	• Dichtefunktion 54 : <i>Gleichverteilung</i> –
– <i>Normalverteilung</i> – <i>Weitere Verteilungen</i>	• Momente und zentrale Momente
61 : <i>Erwartungswert und Mittelwert</i> – <i>Varianz und Kovarianz</i>	
<b>4 Signaltheorie</b>	<b>71</b>
Stochastischer Prozess 71	• Autokorrelation und Kreuzkorrelation 74
Spezielle Stochastische Prozesse 78 : <i>Weißes Rauschen</i> – <i>Gauß-Markov-Prozess</i>	•

### III Kalman-Filter

<b>5 Klassischer Kalman-Filter</b> . . . . .	<b>83</b>
Struktur Kalman-Filter 83	• Herleitung Kalman-Filter-Gleichungen 85 : <i>Prädiktion – Korrektur</i>
	• Alternative Berechnung der Kalman-Verstärkung 89
<b>6 Adaptiver Kalman-Filter (ROSE-Filter)</b> . . . . .	<b>93</b>
Grundprinzip 93	• Adaptive Bestimmung des Messrauschens 95
	• Adaptive Bestimmung des Systemrauschens 96
	• Algorithmus 97
<b>7 Systemrauschen</b> . . . . .	<b>99</b>
Ausgangspunkt 100	• Direkte Diskretisierung 101
	• Partielles konstantes Rauschen 102
	• Diskretisiertes zeitkontinuierliches Modell 102
	• Kinematische Modelle 104 : <i>Modellierung – Modell 2. Ordnung – Modell 3. Ordnung – Modell höherer Ordnung</i>

### IV Anwendungsbeispiele

<b>8 Prinzipielles Vorgehen</b> . . . . .	<b>115</b>
Zeitkontinuierliche Systembeschreibung 115	• Zeitdiskrete Systembeschreibung 116
	• Beobachtbarkeit 117
	• Bestimmung des System- und Messrauschens 118
<b>9 Beispiel: Bias-Schätzung</b> . . . . .	<b>119</b>
Filterentwurf 120	• Kalman-Filter 125
	• Übergang in IIR-Filter 1. Ordnung 130
	• ROSE-Filter 131
<b>10 Beispiel: Messrauschen mit Offset</b> . . . . .	<b>137</b>
Problematik 137	• Filterentwurf 139
	• Implementierung und Ergebnisse 144
<b>11 Beispiel: Alternatives Bewegungsmodell der Mondfahre</b> . . . . .	<b>149</b>
Filterentwurf 149	• Implementierung und Ergebnisse 155
<b>12 Beispiel: Umfeldsensor mit ROSE-Filter</b> . . . . .	<b>159</b>
Umfeldsensor 160	• Implementierung und Ergebnisse 167

---

**13 Beispiel: Fahrstreifenerkennung ..... 173**

Problembeschreibung 174 • Filterentwurf 178 • Implementierung und Ergebnisse 183

**V Anhang****A Vektor- und Matrizenrechnung ..... 189****B Sammlung wichtiger verwendeter Formeln ..... 197****C Lösung Matrix-Exponentialgleichungen – Einführendes Beispiel ..... 199****Literaturverzeichnis ..... 201****Stichwortverzeichnis ..... 205**