



Carsten Behn (Autor)

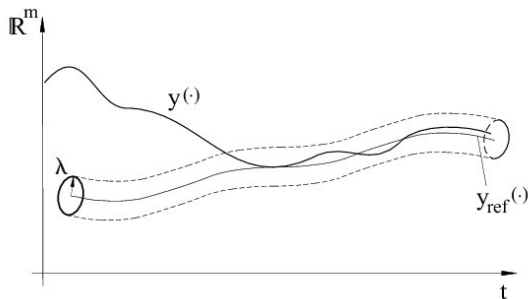
## Ein Beitrag zur adaptiven Regelung technischer Systeme nach biologischem Vorbild

Carsten Behn

---

### Ein Beitrag zur adaptiven Regelung technischer Systeme nach biologischem Vorbild

---



Cuvillier Verlag Göttingen

<https://cuvillier.de/de/shop/publications/2648>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: [info@cuvillier.de](mailto:info@cuvillier.de), Website: <https://cuvillier.de>

# Inhaltsverzeichnis

Notationen und verwendete Symbole	1
<b>1 Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1 Motivation . . . . .	9
1.2 Aufgabenstellung und Zielsetzung der Arbeit . . . . .	10
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	11
<b>2 Mathematische und regelungstechnische Grundlagen</b>	<b>13</b>
2.1 Einführende Bemerkung . . . . .	13
2.2 Normen und normierte Räume . . . . .	13
2.2.1 Normen . . . . .	14
2.2.1.1 Vektornormen . . . . .	15
2.2.1.2 (Induzierte) Matrizenormen . . . . .	16
2.2.1.3 Funktionennormen und $\mathcal{L}^p$ -Räume . . . . .	17
2.3 Gewöhnliche Differentialgleichungen . . . . .	19
2.4 Ergänzende mathematische Sachverhalte . . . . .	25
2.5 Regelungstechnische und systemtheoretische Grundlagen . . . . .	32
2.5.1 Relativgrad und Laplace-Transformation . . . . .	32
2.5.2 Normalformen . . . . .	35
2.5.3 Invariante Nullstellen und Minimalphasigkeit . . . . .	40
2.5.4 Zusammenfassendes Beispiel . . . . .	43
<b>3 Einführung in die adaptive Regelung</b>	<b>45</b>
3.1 Kurze Wiederholung einiger Aspekte der Kontrolltheorie . . . . .	45
3.2 Ausgangsrückführung . . . . .	47
3.3 Adaptive Regelung . . . . .	50
3.3.1 Systeme mit striktem Relativgrad 1 - Stabilisierung . . . . .	52
3.3.2 Systeme mit striktem Relativgrad 1 - Bahnverfolgung . . . . .	56
3.3.3 Literatur . . . . .	58

<b>4</b>	<b>Adaptive Regelung von Systemen mit striktem Relativgrad 2</b>	<b>61</b>
4.1	Einführung . . . . .	61
4.2	Systemklassen . . . . .	62
4.3	Regelungszielsetzungen . . . . .	70
4.4	Ein erläuterndes Beispiel . . . . .	71
4.5	Regler und Rückführungsgesetze . . . . .	73
4.5.1	Regler mit Verwendung der Ableitung des Ausgangs . . . . .	73
4.5.2	Regler ohne Verwendung der Ableitung des Ausgangs . . . . .	74
4.6	Sätze . . . . .	76
4.7	Literatur . . . . .	84
<b>5</b>	<b>Anwendungen auf ausgewählte mechanische Systeme</b>	<b>89</b>
5.1	Wurmartige Bewegungsmodelle . . . . .	89
5.1.1	Einführung . . . . .	89
5.1.2	Mechanisches Modell . . . . .	91
5.1.3	Fallunterscheidung in Abhängigkeit von der Anzahl der Steuereingänge	94
5.1.4	Simulationen . . . . .	97
5.1.4.1	Parameterwahl . . . . .	97
5.1.4.2	Simulationen mit Regler (4.17) . . . . .	98
5.1.4.3	Simulationen mit Regler (4.20) . . . . .	100
5.1.5	Auswertung . . . . .	102
5.2	Roboter mit muskelähnlichen Antrieben . . . . .	103
5.2.1	Einführung in ausgewählte Aspekte der Biomechanik . . . . .	103
5.2.2	Mechanisches Modell mit muskelähnlichem Antrieb . . . . .	105
5.2.3	Mathematischer Zugang . . . . .	108
5.2.4	Bemerkung . . . . .	111
5.2.5	Simulationen . . . . .	112
5.2.5.1	Parameterwahl . . . . .	113
5.2.5.2	Simulationen mit Regler (4.17) . . . . .	113
5.2.5.3	Simulationen mit Regler (5.20) . . . . .	114
5.2.5.4	Ein weiteres Simulationsbeispiel mit (4.17) . . . . .	116
5.2.6	Auswertung . . . . .	117
5.3	Schwingungssensor nach dem Vorbild von Sensillen . . . . .	118
5.3.1	Einführung . . . . .	118
5.3.2	Mechanisches Modell . . . . .	120
5.3.3	Simulationen . . . . .	121
5.3.3.1	Parameterwahl . . . . .	121
5.3.3.2	Simulationen mit Regler (4.17) . . . . .	122
5.3.3.3	Simulationen mit Regler (4.20) . . . . .	123
5.3.3.4	Simulationen mit Regler (4.22) . . . . .	124
5.3.3.5	Ein weiteres Simulationsbeispiel mit Regler (4.17) . . . . .	125
5.3.4	Auswertung . . . . .	126

<b>6 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>129</b>
<b>A Beweise aus Kapitel 4</b>	<b>137</b>
A.1 Beweis von Satz 4.6.2 . . . . .	137
A.2 Beweis von Satz 4.6.3 . . . . .	139
A.3 Beweis von Satz 4.6.4 . . . . .	146
A.4 Beweis von Satz 4.6.5 . . . . .	146
A.5 Beweis von Satz 4.6.6 . . . . .	149
A.6 Beweis von Satz 4.6.7 . . . . .	155
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>159</b>
<b>Danksagung</b>	<b>167</b>
<b>Eidesstattliche Erklärung</b>	<b>169</b>
<b>Thesen zur Dissertation</b>	<b>171</b>