

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Regelungstheoretische Einordnung	5
2.1 Flache Ausgänge	6
2.2 Klassische und verallgemeinerte flache Eingänge	9
3 Verallgemeinerte Jacobi-Matrizen, algebraische Steuer- & Beobachtbarkeit	15
3.1 Verallgemeinerte Jacobi-Matrizen	16
3.2 Ore-Polynome	20
3.3 Ore-Matrizen	22
3.4 Ordnungsreduktion verallgemeinerter Jacobi-Matrizen	25
3.5 Verifikation algebraischer Steuer- und Beobachtbarkeit	30
3.6 Involution und Dualität verallgemeinerter linearer Systeme	41
4 Zur Berechnung flacher Ein- und Ausgänge	47
4.1 Motivation und Einordnung des algebraischen Zugangs	49
4.2 Direkt-flache Darstellung	58
4.3 Pseudolineare Berechnung flacher Ausgänge	63
4.3.1 Algorithmus zur zeilenweisen unimodularen Vervollständigung	64
4.3.2 Zeilenweise unimodulare Vervollständigung	67
4.3.3 Hyperreguläre rechtsseitige orthogonale Komplemente	68
4.3.4 Integrabilitätsbedingung und flacher Ausgang	69
4.4 Beispiel: Akademisches Deskriptorsystem	70
4.5 Beispiel: CSIR-Modell	71
4.6 Beispiel: Diskretisierter Induktionsmotor	74
4.7 Konstruktion flacher Eingänge mit Ore-Polynomen	76
4.7.1 Algorithmus zur spaltenweisen unimodularen Vollständigkeit	77
4.7.2 Spaltenweise unimodulare Vervollständigung	79
4.7.3 Hyperreguläre linksseitige orthogonale Komplemente	80
4.7.4 Unimodularitätsbedingung und flacher Eingang	81
4.8 Beispiel: Vierfach-Tank	83
4.9 Beispiel: Michaelis-Menten-Modell	86
4.10 Geometrische Berechnung verallgemeinerter physikalisch realisierbarer flacher Eingänge	90
5 Regelung nichtflacher Systeme mithilfe flacher Eingänge	95
5.1 Fiktive Eingänge und differentielle Parametrisierungen	96
5.2 Regelung nichtlinearer Systeme mit flachen Eingängen	98
5.3 Regelung nichtlinearer nichtbeobachtbarer nichtflacher MIMO-Systeme	99
5.4 Akademisches Beispiel	101
6 Beobachterentwurf auf Basis flacher Eingänge	109
6.1 Normalformbeobachter für nichtintegrierbare zeitkontinuierliche Systeme	110

6.2 Beispiel: Synchronmotor	116
6.3 Beispiel: Lorenz-System	120
6.4 Beispiel: Ungedämpftes Pendel mit Ausgangstransformation	126
6.5 Zusammenhang zum High-Gain Beobachter	129
6.6 Normalformbeobachter für nichtintegrierbare zeitdiskrete Systeme	134
6.7 Akademisches Beispiel 1	137
6.8 Akademisches Beispiel 2	142
6.9 Beobachter für Systeme mit abgetasteten Messgrößen	147
6.10 Beispiel: Rössler-System mit abgetastetem Ausgang	148
7 Zusammenfassung und Ausblick	153
7.1 Gegenstand der Arbeit	153
7.2 Offene Fragestellungen	155
A Spezielle mathematische und regelungstheoretische Aspekte	157
A.1 Permutationen und Zyklenschreibweise	157
A.2 Lie-Ableitungen und Lie-Klammern	158
A.3 Relativer Grad und verallgemeinerte Regelungsnormalform	159
A.4 Vektorieller relativer Grad und Byrnes-Isidori-Normalform	160
A.5 Differentialformen und Keilprodukt	161
A.6 Integrierbarkeit von 1-Formen	163
B Beweise und Detailrechnungen	165
B.1 Anwendung der Zeitableitung auf Differentialformen	165
B.2 Anwendung der Vorwärts- bzw. Rückwärtsverschiebung auf Differentialformen	165
B.3 Beweis von Lemma 3.8	166
B.4 Beweis von Lemma 3.9	167
B.5 Involution des Differentialoperators	168
B.6 Involution des Shiftoperators durch Einbettung	169
Symbolverzeichnis	171
Abbildungsverzeichnis	175
Literaturverzeichnis	177