

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Begriffe der Differentialgeometrie	7
2.1	Mannigfaltigkeit, glatte Abbildung und Untermannigfaltigkeit	7
2.2	Bündel und Schnitt	9
2.3	Vektoren und Differentialformen	10
2.3.1	Tangentialbündel und Vektorfelder	10
2.3.2	Kotangentialbündel und 1-Formen	12
2.3.3	Differentialformen höherer Stufe	14
2.4	Distribution, Kodistribution und Integrierbarkeit	17
2.4.1	Distribution und Kodistribution	17
2.4.2	Integrierbarkeit, Integralmannigfaltigkeit und flache Karte	17
2.5	Strahlen (Jets) und Prolongationen	19
2.5.1	Jet-Bündel und Prolongationen	19
2.5.2	Jets unendlicher Ordnung	23
3	Geometrie gewöhnlicher Differentialgleichungen	25
3.1	Differentialgleichungen als geometrisches Objekt	26
3.2	Unterbestimmte Differentialgleichung und Diffierbarkeit	27
3.2.1	Systeme in Zustandsdarstellung	27
3.2.2	Implizite Differentialgleichungssysteme	28
3.3	Äquivalenz von Differentialgleichungen	29
3.3.1	Äquivalenz von Zustandsdarstellungen	29
3.3.2	Äquivalenz impliziter Systeme	31
3.4	Differentielle Flachheit	31
3.4.1	Definition und geometrische Formulierung	31
3.4.2	Steuerbarkeit flacher Systeme	33
3.4.3	Endogene Rückführungen und Linearisierbarkeit	33
4	Konstruktion flacher Ausgänge	35
4.1	Motivation des geometrischen Zugangs	35
4.2	Differentialgleichung und Tangentialsystem	38

4.3	Basis und duale Basis des Tangentialsystems	40
4.3.1	Algebraische Eigenschaften und Smith-Form	40
4.3.2	Algorithmus zur Berechnung der dualen Basis des Tangentialsystems	42
4.3.3	Tangentialsystem differentiell flacher Systeme	46
4.4	Integrabilitätsbedingungen und flacher Ausgang	49
4.5	Resümee	51
5	Beispiele zur Berechnung flacher Ausgänge und spezielle Systemklassen	53
5.1	Beispiele	53
5.1.1	Akademisches Beispiel 1	53
5.1.2	Akademisches Beispiel 2	55
5.1.3	Akademisches Beispiel 3	57
5.1.4	Akademisches Beispiel 4	58
5.1.5	Der Brockett-Integrator	59
5.1.6	Die Eulerschen Kreiselgleichungen	61
5.1.7	Ein kinematisches Fahrzeugmodell	63
5.1.8	Ein Hochsetzsteller	66
5.1.9	Ein Einradfahrer	68
5.1.10	Der Senkrechtstarter	71
5.1.11	Das rollende Rad	74
5.2	Aussagen für spezielle Systemklassen	77
5.2.1	Explizite Systeme mit einer Eingangsgröße	77
5.2.2	Systeme mit n Zuständen und $n - 1$ Eingängen	82
6	Lineare zeitinvariante Systeme und statische Ausgangsrückführungen	87
6.1	Lineare zeitinvariante Systeme und rationale Vektorräume	87
6.2	Minimale polynomiale Basis	89
6.3	Polynomiale Basen und Normalformen	94
6.3.1	Berechnung der Normalform	94
6.3.2	Regelungsnormalform	95
6.3.3	Eine verallgemeinerte Regelungsnormalform	96
6.3.4	Nichtminimale Basis und dynamische Erweiterung	98
6.3.5	Parametrierung von Trajektorien und Differenzierbarkeitsforderungen	99
6.3.6	Zur dynamischen Ordnung eines Deskriptorsystems	100
6.4	Polplatzierung durch statische Ausgangsrückführungen	102
6.4.1	Eine notwendige und hinreichende Bedingung	105
6.4.2	Ein Algorithmus zur Bestimmung von Ausgangsrückführungen mit geringer Verstärkung	114
6.4.3	Rückführungen vorgegebener Struktur	122
6.5	Resümee	125

7 Zusammenfassung	127
A Ergänzungen	131
A.1 Mathematische Begriffe	131
A.2 Smith–Normalform	132
Symbolverzeichnis	133
Symbole	133
Matrizen und Matrixoperationen	134
Funktionen und Operatoren	134
Abbildungsverzeichnis	135
Literaturverzeichnis	137

