

**Nichtlineare strukturelle Regelung,
angewandt auf Stellsysteme der Flugsteuerung**

Vom Promotionsausschuß der
Technischen Universität Hamburg-Harburg
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor-Ingenieur
genehmigte Dissertation

von

Dipl.-Ing. Markus Gustav Kliffken

aus Hattingen (Ruhr)

1998

ULB Darmstadt



17710222

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	VII
1 Einführung und Übersicht	1
1.1 Stellsysteme der Flugsteuerung	1
1.2 Verfahren zum Entwurf nichtlinearer Regler	5
1.3 Gütemaßangleichung nach Udo Sieber	11
1.4 Gliederung der Arbeit	13
I Nichtlineare strukturelle Regelung	15
2 Strukturelle Anforderungen an den Regelkreis	16
2.1 Streckenbeschreibung	16
2.2 Wahl des Reglers	21
3 Analyse des Systemverhaltens	24
3.1 Steuer-, Beobacht- und Regelbarkeit	24
3.2 Stabilität nach Ljapunow	29
3.3 Nichtlinear gestörte, lineare Systeme	35
3.4 Verlaufsbeurteilung und Ljapunow-Funktion	41
4 Herleitung der Reglerformeln	44
4.1 Näherungsweise Kompensation	45
4.2 Wahl der Ljapunow-Funktion und Stabilität	49
4.3 Exakte Kompensation	51
4.4 Ablaufschema der Synthese	54

5	Erweiterung zur Abtastregelung	58
5.1	Lineare Abtastsysteme	59
5.2	Diskretisierung nichtlinearer Systeme	62
5.3	Regelbarkeit und Abtastzeit	67
5.4	Ljapunow-Funktionen für Abtastsysteme	69
5.5	Entwurf nichtlinearer Abtastregler	71
6	Ergänzende Betrachtungen	76
6.1	Bestimmung des Vorfilters	76
6.2	Entwurf nichtlinearer Beobachter	79
6.3	Zustandsabhängige Ein- und Ausgangsmatrizen	87
II	Elektrohydraulische Flugsteuerungsaktuatoren	91
7	Streckenbeschreibung	92
7.1	Elemente von Ruderstellsystemen	92
7.2	Mathematische Modellierung	95
7.3	Diskussion der Parameter	100
7.4	Anforderungen an Stellsysteme	104
8	Aktuatorregelung	107
8.1	Formal-lineares Synthesemodell	107
8.2	Lineare Vergleichsregelung	112
8.3	Exakte Kompensation	122
8.4	Näherungsweise Kompensation	124
8.5	Abtastregelung	129
9	Zusammenfassung	132
A	Mathematische Definitionen	136
A.1	Matrizenrechnung	136
A.2	Differentialgeometrie und Lie-Algebra	142
B	Matlab-Programme	144
B.1	Entwurfs-Funktionen	146
B.2	Analyse-Funktionen	147
B.3	Matrizen-Funktionen	148
C	Daten des Beispielsystems	150
	Literaturverzeichnis	152