

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen	4
1 Einführung in die Problemstellung	8
1.1 Das Separationsmanöver eines zweistufigen Hyperschall-Flugsystems	8
1.2 Literaturbetrachtung	10
1.3 Zielsetzung und Übersicht	13
2 Nichtlineare Bewegungsgleichungen	15
2.1 Einführung	15
2.2 Koordinatensysteme	17
2.3 Äußere Kräfte und Momente	18
2.4 Absolutbewegung der Trägerstufe im körperfesten (x_1, z_1) -System	20
2.5 Absolutbewegung der Orbitalstufe im (x'_1, z'_1) -Koordinatenystem	21
2.6 Relativbewegung im (x_1, z_1) -System	22
2.7 Bestimmung der Zwangsreaktionen	23
2.8 Absolutbewegung der Orbitalstufe im körperfesten (x_2, z_2) -System	24
2.9 Zusammenfassung	24
3 Flugmechanische Modellierung	26
3.1 Konfiguration	26
3.2 Aerodynamische Beiwerte und Interferenz	28
3.2.1 Beiwerte der Trägerstufe	32

3.2.2	Beiwerte der Orbitalstufe	36
3.3	Wirksamkeiten der Hinterkantenklappen	43
3.4	Antriebssystem der Trägerstufe	43
3.5	Antriebssystem der Orbitalstufe	44
3.6	Atmosphäre und Erdbeschleunigung	45
3.7	Zusammenfassung	46
4	Optimale Steuerung der Separationsbewegung	48
4.1	Einführung	48
4.2	Die Vertikalseparation als Optimalsteuerungsproblem	49
4.3	Konzept des Kollisions-Verhinderungsfaktors	53
4.4	Ergebnisse zur Vertikalseparation	58
4.5	Ableitung eines einfachen Steuergesetzes für die Vertikalseparation	64
4.6	Ergebnisse zur Longitudinalseparation	66
4.7	Zusammenfassung	68
5	Linearisierte Bewegungsgleichungen	70
5.1	Einführung	70
5.2	Bestimmung von Referenztrajektorien für die Separationsbewegung	71
5.3	Linearisierung des aerodynamischen Modells	72
5.4	Definition der Ersatzgrößen	76
5.5	Linearisierte Bewegungsgleichungssysteme	77
5.5.1	Linearisiertes Modell der Trägerstufe mit gekoppelter Orbitalstufe	78
5.5.2	Linearisierte Modelle der Träger- und der Orbitalstufe nach der Separation	83
5.6	Zusammenfassung	87

6 Stabilisierung und Reglerentwurf	88
6.1 Einführung	88
6.2 Auswahl von Rückführungen zur Modifizierung der Kurzzeit-Dynamik .	92
6.3 Stabilisierung des zeitvarianten Systems (Separationsbewegung)	94
6.3.1 Problemstellung	94
6.3.2 Entkopplung, Vorgabe konstanter Dynamik	95
6.3.3 Entkopplung, Vorgabe konstanter Reglerkoeffizienten	102
6.4 Robustheitsanalyse des vereinfachten zeitinvarianten Systems	106
6.4.1 Problemstellung	106
6.4.2 Reglersynthese mit Hilfe des Multi-Modell-Ansatzes	108
6.4.3 Bestimmung minimal erforderlicher Klappenwirksamkeiten zur Stabilisierung der Separationsbewegung	119
6.5 Zusammenfassung	121
7 Numerische Simulation der Separationsbewegung	123
7.1 Einführung	123
7.2 Simulation der linearisierten zeitvarianten Kurzzeit-Dynamik	124
7.3 Simulation der nichtlinearen Bewegungsgleichungen	126
7.4 Zusammenfassung	133
8 Zusammenfassung	135
Anhänge	137
A Stabilitätsderivativa	137
B Übertragungsfunktionen des RC/AH- und (α, q)-Systems	144
C Projektionstest	146
Literaturverzeichnis	150