

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	vi
Bezeichnungen	xi
1 Einführung	1
1.1 Geschichtliche Entwicklung und derzeitiger Wissensstand	1
1.2 Zielsetzung	6
1.3 Vorgehensweise	6
2 Dynamische Modellierung	9
2.1 Zwei-Körper-System	9
2.2 Modellbildung	9
2.2.1 Äußere Kräfte und Momente am Gesamtsystem	13
2.2.2 Modellierung der Kopplungsreaktionen	14
2.2.3 Modellierung des Rückstellmoments	16
2.3 Koordinatensysteme	18
2.4 System der Bewegungsgleichungen	21
2.4.1 Der Impulssatz	22
2.4.1.1 Der Impulssatz am Schirm	22
2.4.1.2 Der Impulssatz an der Nutzlast	22
2.4.2 Der Drallsatz	23
2.4.2.1 Der Drallsatz am Schirm um den Schirmschwerpunkt	23
2.4.2.2 Der Drallsatz an der Nutzlast um den Schwerpunkt der Nutzlast	24

2.4.3	Kinematische Kopplungen	25
2.4.3.1	Kinematische Kopplung der Translationsbewegung	25
2.4.3.2	Kinematische Kopplung der Rotationsbewegung	26
2.4.4	Kinematik Gleichung	27
2.4.5	Darstellung der äußeren Kräfte und Momente	27
2.4.5.1	Kräfte und Momente am Schirm	27
2.4.5.2	Kräfte und Momente an der Nutzlast	27
3	Geometrische Modellierung	28
3.1	Aufbau eines modernen Gleitschirmsystems	28
3.1.1	Kappe	30
3.1.2	Leinen	31
3.1.3	Gurte und Beschläge	32
3.2	Gleitschirmlandesysteme	32
3.2.1	Missionsablauf	33
3.2.2	Modellierung der Konfigurationen	34
3.2.3	Daten zur geometrischen Modellierung	37
3.2.3.1	Allgemeine Geometriedaten	37
3.2.3.2	Orte ausgezeichneter Punkte	38
3.2.3.3	Massenanteile von Schirm, Luftvolumen und Körper	38
3.2.3.4	Trägheitseigenschaften	39
3.3	Validieren mit einem konkreten Gerät	40
4	Aerodynamische Modellierung	43
4.1	Modellierung der aerodynamischen Belastungen	43
4.1.1	Aerodynamische Belastungen der Kappe	44
4.1.1.1	Das <i>DAPAN</i> -Verfahren	45
4.1.1.2	Approximation des Reibungswiderstands der Kappe	45
4.1.1.3	Approximation des Widerstands der Eintrittsöffnungen	46
4.1.1.4	Modellierung von Strömungsablösungen	48
4.1.2	Aerodynamische Belastungen der Leinen und Gurte	51
4.1.3	Aerodynamische Belastungen am Subsystem Körper	53

4.2	Diskretisierung der Geometrie des Gleitschirms	54
4.2.1	Modellierung der Verformung durch Aufblähungen	54
4.2.2	Generierung von Oberflächenmodellen	57
4.2.3	Modellierung des Nachlaufs	60
4.3	Aerodynamische Eigenschaften des Gleitschirmprofils	61
4.4	Aerodynamische Beiwerte und Stabilitätsderivativa	63
4.4.1	Approximation der stationären Beiwerte	64
4.4.2	Approximation der stationären Stabilitätsderivativa	67
4.4.3	Approximation der instationären Stabilitätsderivativa	72
5	Geophysikalische Modellierung	74
5.1	Gravitation	74
5.2	Atmosphäre	75
5.2.1	Luftdichte	75
5.2.2	Modellierung von Böen	75
5.3	Erdform	76
6	Stationäre Flugzustände und Flugleistungen	77
6.1	Symmetrischer Gleitflug	77
6.1.1	Bewegungsgrößen im ungebremsten Flug	78
6.1.2	Bewegungsgrößen im gebremsten Flug	85
6.2	Kurvenflug	87
6.3	Vergleich mit Experiment	91
7	Linearisierte Dynamik	94
7.1	Eigenbewegungsformen eines Gleitschirmsystems	94
7.2	Dynamische Stabilität der Längsbewegung	95
7.2.1	Einfluß der Lage des Kopplungspunkts	95
7.2.2	Einfluß der Nominalen Leinenlänge	97
7.2.3	Einfluß der Nominalen Distanz der Nutzlast	98
7.2.4	Einfluß von Steuereingaben	99

7.3	Dynamische Stabilität der Seitenbewegung	100
7.3.1	Einfluß der Lage des Kopplungspunkts	100
7.3.2	Einfluß der Nominalen Leinenlänge	102
7.3.3	Einfluß der Nominalen Distanz der Nutzlast	103
7.3.4	Einfluß des Abstands der Kopplungspunkte	104
7.3.5	Einfluß von Steuereingaben	105
8	Nichtlineare Dynamik	106
8.1	Numerische Integration	106
8.1.1	Das nichtlineare Acht-Freiheitsgrad-Modell	106
8.1.2	Steuereingaben im zeitlichen Verlauf	107
8.2	Steuerbarkeit	108
8.2.1	Antwortverhalten des Systems auf symmetrischen Bremsensatz	108
8.2.2	Antwortverhalten des Systems auf asymmetrischen Bremsensatz . . .	111
8.2.3	Landung mit Flare	114
8.3	Störungsverhalten	117
8.3.1	Antwortverhalten auf eine sinusförmige Böe in Längsrichtung	117
8.3.2	Antwortverhalten auf eine sinusförmige Böe in Querrichtung	119
8.3.3	Antwortverhalten auf eine sinusförmige Böe in Vertikalrichtung	122
8.4	Antwortverhalten auf Gierwinkel des Körpers	124
9	Zusammenfassung und Ausblick	127
9.1	Zusammenfassung	127
9.2	Novitäten	129
9.3	Ausblick	130
10	Literaturverzeichnis	131
11	Anhänge	138
A	Spezielle Matrizen	138
A.1	Transformationsmatrizen	138
A.2	Aerodynamische Ersatzgrößen	139

A.3	Matrizen für skalare Größen	140
A.4	Matrizen zur Darstellung der nichtlinearen Bewegungsgleichungen	140
A.4.1	Matrix A	140
A.4.2	Vektor b	142
B	Daten zur geometrischen Modellierung von Gleitschirm und Nutzlast	144
C	Daten zur aerodynamischen Modellierung	154
C.1	Stationäre Beiwerte der Längsbewegung	154
C.2	Stationäre Beiwerte der Seitenbewegung	155
C.3	Schiebewinkelderivativa	155
C.4	Rollderivativa	156
C.5	Nickderivativa	156
C.6	Gierderivativa	157
C.7	Instationäre Anstellwinkelderivativa	158
C.8	Instationäre Nickderivativa	158