

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Neue Raumtransportsysteme – die aerothermische Aufheizung als ein Schlüsselproblem	1
1.2 Literaturbetrachtung	2
1.3 Zielsetzung	5
1.4 Übersicht	5
2 Flugmechanische Modellierung	6
2.1 Dynamik	6
2.1.1 Koordinatensystem	6
2.1.2 Bewegungsgleichungen	6
2.2 Geophysikalische Grundlagen	8
2.2.1 Erde	8
2.2.2 Atmosphäre	9
2.3 Fluggerät	11
2.3.1 Maße	11
2.3.2 Massen	12
2.3.3 Trägerstufe	12
2.3.3.1 Belastungsgrenzen	12
2.3.3.2 Aerodynamik	13
2.3.3.3 Antrieb	14
2.3.4 Orbitalstufe	17
2.3.4.1 Belastungsgrenzen	17
2.3.4.2 Aerodynamik	17
2.3.4.3 Antrieb	17
2.3.4.4 Aufstieg in niedrigen Kreisorbit	18
2.4 Zusammenfassung	18

3 Modellierung der Aufheizung	19
3.1 Allgemeines	20
3.1.1 Wärmeschutzsysteme	20
3.1.1.1 Tragende Struktur	20
3.1.1.2 Passive Wärmeschutzsysteme	21
3.1.1.3 Aktives Wärmeschutzsystem (Triebwerkskühlung)	21
3.1.1.4 Weitere Systeme	21
3.1.2 Aerothermischer Wärmestrom	22
3.1.2.1 Verdichtungsstoß	22
3.1.2.2 Methodik der semi-empirischen Berechnungsverfahren	24
3.1.3 Wärmestrom in das Fluggerät	25
3.1.3.1 Transportmechanismen	25
3.1.3.2 Knotenmodell	26
3.1.3.3 Differentialgleichungssystem	28
3.2 Passive Wärmeschutzsysteme	29
3.2.1 Staupunkt	29
3.2.1.1 Modell des Wärmeschutzsystems	29
3.2.1.2 Aerothermischer Wärmestrom	30
3.2.2 Rumpfunterseite	30
3.2.2.1 Modell des Wärmeschutzsystems	30
3.2.2.2 Aerothermischer Wärmestrom	31
3.2.3 Rumpfoberseite	34
3.2.3.1 Modell des Wärmeschutzsystems	34
3.2.3.2 Aerothermischer Wärmestrom	34
3.2.4 Flügelvorderkanten	35
3.2.4.1 Modell des Wärmeschutzsystems	35
3.2.4.2 Aerothermischer Wärmestrom	36
3.2.5 Verifizierung	36
3.3 Aktives Wärmeschutzsystem (Triebwerkskühlung)	38
3.3.1 Überblick	38
3.3.2 Aerothermischer Wärmestrom	40
3.3.3 Luftbedarf zur indirekten Kühlung	42
3.3.4 Wasserstoffbedarf zur direkten Kühlung	44
3.4 Zusammenfassung	46

4 Optimierungsbetrachtung	47
4.1 Optimierungsverfahren	48
4.2 Steuergrößen	48
4.3 Zielfunktionen	49
4.3.1 Orbitalstufe	49
4.3.2 Trägerstufe	49
4.3.2.1 Minimierung des Treibstoffverbrauchs ohne Berücksichtigung der Triebwerkskühlung	49
4.3.2.2 Minimierung des Treibstoffverbrauchs mit Berücksichtigung der Trieb- werkskühlung	50
4.3.2.3 Nutzlastmaximierung bei Mitoptimierung der Isolationsdicke . . .	51
4.4 Zusammenfassung	52
5 Bestimmung der Referenzbahnen	53
5.1 Referenzbahnen Ia/Ib: Rückkehr-Reiseflug	53
5.1.1 Referenzbahn Ia (mit Bahnschwingungen)	53
5.1.2 Referenzbahn Ib (ohne Bahnschwingungen)	57
5.2 Referenzbahn II: Reichweitenflug	58
5.3 Zusammenfassung	60
6 Bahnoptimierung zur Wärmelastreduzierung	61
6.1 Passive Wärmeschutzsysteme	62
6.1.1 Staupunkt	62
6.1.1.1 Rückkehr-Reiseflug	62
6.1.1.2 Reichweitenflug	65
6.1.2 Rumpfunterseite	66
6.1.2.1 Bereich mit darüberliegendem Tank (Reichweitenflug)	67
6.1.2.2 Bereich ohne darüberliegenden Tank (Rückkehr-Reiseflug)	72
6.1.2.3 Isolationsdickenoptimierung (Reichweitenflug)	74
6.2 Aktives Wärmeschutzsystem (Triebwerkskühlung)	76
6.2.1 Rückkehr-Reiseflug	77
6.2.1.1 Ausgangsbahn	77

6.2.1.2	Verringerung des Kühlbedarfs	77
6.2.1.3	Einfluß der Reichweite	80
6.2.2	Reichweitenflug	81
6.2.2.1	Ausgangsbahn	81
6.2.2.2	Verringerung des Kühlbedarfs	81
6.2.2.3	Einfluß der Reichweite	82
6.3	Kombinierte Betrachtung	83
6.3.1	Reichweitenflug	84
6.3.2	Rückkehr-Reiseflug	86
6.4	Zusammenfassung	88
7	Zusammenfassung	90
	Literaturverzeichnis	92