

# Inhaltsverzeichnis

<b>Bezeichnungen</b>	<b>iv</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Historischer Überblick . . . . .	1
1.2 Zielsetzung . . . . .	4
<b>2 Flugmechanische Modellierung</b>	<b>6</b>
2.1 Zielfunktional und Bewegungsgleichungen . . . . .	6
2.2 Atmosphäre und aerodynamisches Modell . . . . .	8
2.3 Idealisiertes Modell . . . . .	11
2.3.1 Modellierung ohne Leerlaufverbrauch . . . . .	12
2.3.2 Modellierung mit Leerlaufverbrauch . . . . .	13
2.4 Realistisches Modell . . . . .	15
2.4.1 Modellierung des Kolbentriebwerks . . . . .	16
2.4.2 Propellerantrieb . . . . .	17
2.4.3 Kopplung von Kolbentriebwerk und Propeller . . . . .	17
2.5 Dimensionsloses Gleichungssystem . . . . .	21
<b>3 Flugmechanische Grundüberlegungen</b>	<b>25</b>
3.1 Optimaler horizontaler stationärer Flug . . . . .	26
3.2 Instationäre Flugzustände . . . . .	30
3.2.1 Energiezustandsbetrachtung . . . . .	31

3.2.2	Betrachtung bahndynamischer Effekte	36
3.3	Näherungsweise optimale Steuerungen	38
3.3.1	Optimaler stationärer Flug	40
3.3.2	Periodischer Flug	40
<b>4</b>	<b>Mathematische Grundlagen</b>	<b>49</b>
4.1	Minimumprinzip	49
4.1.1	Idealisiertes Modell	50
4.1.1.1	Bedingungen erster Ordnung für die optimale Steuerung	52
4.1.1.2	Bedingungen zweiter Ordnung für die optimale Steuerung	54
4.1.1.3	Betrachtung der Steuerung an Hand des Hodographen	55
4.1.1.4	Singuläre Steuerung	57
4.1.1.5	Steuer- und Zustandsbeschränkungen	60
4.1.2	Realistisches Modell für das Antriebssystem	65
4.1.2.1	Expliziter Ansatz zur Iteration der Gleichgewichtsdrehzahl	65
4.1.2.2	Impliziter Ansatz zur Iteration der Gleichgewichtsdrehzahl	68
4.1.3	Abhängigkeit der Richtung des Schubvektors vom Anstellwinkel	71
4.2	Numerische Algorithmen	77
4.2.1	Mehrzielmethode	78
4.2.2	Numerische Probleme	81
4.2.3	Stabilisierung	83
<b>5</b>	<b>Periodische Optimalflugbahnen</b>	<b>88</b>
5.1	Idealisiertes Modell	89
5.1.1	Einfluß der Verbrauchscharakteristik	89
5.1.1.1	Bang-Bang-Steuerung	89
5.1.1.2	Singuläre Steuerung	92

5.1.2 Einfluß relevanter bahn- und flugzeugspezifischer Parameter . . . . .	98
5.1.2.1 Einfluß der Flugstrecke . . . . .	98
5.1.2.2 Einfluß der Leistungsbelastung . . . . .	100
5.1.2.3 Einfluß der Schubcharakteristik . . . . .	103
5.1.2.4 Einfluß der Flächenbelastung . . . . .	103
5.1.2.5 Einfluß der minimalen Gleitzahl . . . . .	106
5.1.2.6 Einfluß des Polarenexponenten . . . . .	106
5.1.2.7 Beschränkung der minimal zulässigen Flughöhe . . . . .	111
5.1.2.8 Beschränkung der maximal zulässigen Flughöhe . . . . .	113
5.1.2.9 Lineares Modell mit Berücksichtigung des Leerlaufverbrauchs . . . . .	116
5.1.2.10 Quadratisches Verbrauchsmodell . . . . .	118
5.1.2.11 Treibstoffeinsparungen im Bereich realistischer Flugzeugdaten . . . . .	121
5.2 Realistisches Antriebsmodell . . . . .	126
5.2.1 Antriebssystem mit festem Blatteinstellwinkel . . . . .	126
5.2.2 Antriebssystem mit Steuerung der Propellerdrehzahl . . . . .	133
5.3 Anstellwinkelabhängige Richtung des Schubvektors . . . . .	136
<b>6 Zusammenfassung</b>	<b>142</b>
<b>A Bereich realistischer Flugzeugdaten</b>	<b>145</b>
<b>B Flugmechanische Modellierung</b>	<b>146</b>
B.1 Aerodynamisches Modell . . . . .	146
B.2 Realistisches Modell für das Antriebssystem . . . . .	147
<b>C Optimale Trajektorien</b>	<b>149</b>
C.1 Idealisiertes Modell . . . . .	149
C.2 Realistisches Antriebsmodell, expliziter Ansatz . . . . .	152
C.3 Realistisches Antriebsmodell, impliziter Ansatz . . . . .	154
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>156</b>