

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Grundlagen	1
1.1	Aufgaben und Abgrenzung der Flugmechanik	1
1.2	Koordinatensysteme	3
1.3	Koordinatentransformationen	9
1.3.1	Darstellung von Drehsequenzen	9
1.3.2	Transformationen	10
1.3.3	Längsbewegung bei Berücksichtigung von Wind	15
1.4	Wichtige Größen und Notationen	17
1.5	Kinematik der Rotation	18
1.5.1	Lageparametrisierung	18
1.5.2	Umrechnungen - Wechsel der Darstellung	19
1.5.3	Anschauliche Herleitung der Quaternionen	21
1.5.4	Differenzialgleichungen	23
1.6	Transformation der Ableitung eines Vektors	25
2	Bewegungsmodell eines Flugzeuges	27
2.1	Beschleunigung des Flugzeugs	27
2.1.1	Geschwindigkeit und Beschleunigung	27
2.1.2	Vereinfachungen und Transformation in körperfeste Koordinaten	28
2.2	Die Bewegungsgleichungen	29
2.2.1	Dynamik und Kinematik	29
2.2.2	Vereinfachungen bei ruhender, flacher Erde	32
2.3	Weitere Bewegungsgrößen	33
2.3.1	Flugbahngrößen	33
2.3.2	Aerodynamische Größen	33
2.4	Kräfte und Momente	34
2.4.1	Aerodynamische Kräfte und Momente	34
2.4.2	Triebwerke	39
2.4.3	Stellgrößen	40
2.5	Simulation	40

2.5.1	Parametrisierung des Modells	41
2.5.2	Initialisierung	41
2.5.3	Numerische Integration	42
3	Nichtlineare Bewegungsgleichungen in aerodynamischen Größen	45
3.1	Allgemeiner Fall	45
3.1.1	Translation	45
3.1.2	Rotation	47
3.2	Spezialfall der reinen Längsbewegung	48
4	Lineare Bewegungsgleichungen	51
4.1	Stationäre Zustände	51
4.1.1	Definition und wichtige Beispiele	51
4.1.2	Berechnung	54
4.2	Linearisierung für den symmetrischen Geradeausflug	56
4.2.1	Ausgangspunkt: nichtlineares Modell	56
4.2.2	Stationärer Zustand und Abweichungen	57
4.2.3	Linearisierung der einzelnen Terme und Zusammenfassung	58
4.2.4	Zusammenfassung der linearen Differenzialgleichungen	64
4.2.5	Längs- und Seitenbewegung	65
4.3	Ersatzgrößen und aerodynamische Derivativa	66
4.3.1	Beispiele und Tabellen	66
4.3.2	Bedeutung wichtiger aerodynamischer Größen	69
5	Analyse des dynamischen Verhaltens	77
5.1	Vereinfachende Annahmen	77
5.2	Längsbewegung	78
5.2.1	Systemdarstellung der Längsbewegung	78
5.2.2	Näherungslösungen für Anstellwinkel- und Phygoidenschwingung	79
5.3	Seitenbewegung	82
5.3.1	Systemdarstellung der Seitenbewegung	82
5.3.2	Näherungslösungen für Rollbewegung, Spiralbewegung und Tau- melschwingung	82
5.4	Änderung der Flugeigenschaften durch künstliche Ersatzgrößen	84
6	Bewegungsgleichungen für das Massenpunktmodell	87
6.1	Differenzialgleichung für die Geschwindigkeit	88

6.2	Differenzialgleichung für die Position	91
6.3	Das Massenpunktmodell in allgemeiner, ausgeschriebener Form	92
6.4	Mögliche Vereinfachungen	93
6.5	Das Massenpunktmodell über ruhender, flacher Erde	94
A	Grundlagen linearer Systeme in Zustandsraumdarstellung	97
A.1	Zustandsraumdarstellung	97
A.2	Zustandstransformation und Diagonalform	98
A.3	Zeitverhalten und Stabilität	99
A.4	Bedeutung von reellen und konjugiert komplexen Eigenwerten	100
B	Anmerkungen zur Linearisierung	103
B.1	Linearisierte Drehmatrizen	103
B.2	Linearisierung der Gravitationskraft	104
C	Umkehrung der Tangensfunktion	107
D	Übersicht der verschiedenen Bewegungsmodelle	109
	Literaturverzeichnis	111