



## Flugmechanik 2 SS 2006

Datum: 30.06.2006

Bearbeitungszeit: 180 Minuten

Name:		Vorname:	
Matrikelnummer.:			
Punkte:	von 76	Note:	

### 1. Klausurteil

ohne Unterlagen, 26 Punkte, 40 Minuten

1.1) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in deutscher Sprache.

1. stability
2. control
3. stability axis system
4. state coefficient matrix
5. stability derivatives
6. eigenvalue
7. eigenvector
8. s-plane
9. spiral mode
10. gust
11. root loci plot
12. steady-state frequency response

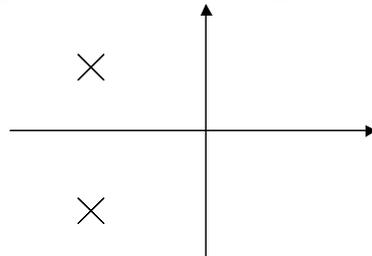
1.2) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in englischer Sprache. Schreiben Sie deutlich, denn falsche oder unleserliche Schreibweise ergibt Punktabzug!

1. Zustandsraum
2. Zustandsgleichung
3. Stabilitätsbeiwert
4. Übertragungsfunktion
5. Annahme
6. Anstellwinkelschwingung
7. Phyoide
8. Rolldämpfung
9. Taumelschwingung
10. Regelkreis
11. BODE-Diagramm
12. Flugregelung

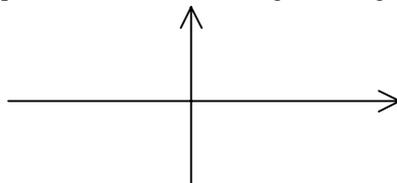
- 1.3) Wie ist ein positiver Höhenruderausschlag definiert? Wie ist ein positiver Schiebewinkel definiert?
- 1.4) Gegeben sind der Anstellwinkel  $\alpha$  und der Bahnwinkel  $\gamma$ . Berechnen Sie den Nicklagewinkel  $\theta$ ?
- 1.5) Nennen Sie die EULER-Winkel!
- 1.6) Ergänzen Sie bitte die folgende Tabelle mit den Namen von Variablen der Flugdynamik:

$U$	$P$	$X$	$L$
$V$			
$W$			

- 1.7) Skizzieren Sie ein Flugzeug und tragen Sie die Geschwindigkeiten  $U$ ,  $V$  und  $W$  ein!
- 1.8) Wie lautet die Zustandsgleichung?
- 1.9) Wie ist der Stabilitätsbeiwert  $Z_w$  definiert?
- 1.10) Welche Bedeutung hat der Stabilitätsbeiwert  $L_{\delta_A}$ ?
- 1.11) Welches Vorzeichen erwarten Sie für den Stabilitätsbeiwert  $L_{\delta_A}$ ? Begründung!
- 1.12) Gegeben ist die Differentialgleichung  $a \ddot{x}(t) + b \dot{x}(t) + c x(t) = x_e(t)$ . Alle Anfangswerte sind Null. Wie lautet die Übertragungsfunktion  $x(s)/x_e(s)$ ?
- 1.13) Was ist (nach Vorlesung) der Unterschied zwischen den Geschwindigkeiten  $U$ ,  $V$  und  $W$  einerseits und  $u$ ,  $v$  und  $w$  andererseits.
- 1.14) Was versteht man unter Längsbewegung? Was versteht man unter Seitenbewegung?
- 1.15) Wie findet man die charakteristische Gleichung aus der Systemmatrix?
- 1.16) Ein System ist gekennzeichnet durch folgende Polverteilung in der komplexen s-Ebene. Ist das System stabil? Begründung!



- 17.) Zeichnen Sie qualitativ die Polverteilung der Längsbewegung eines konventionellen Flugzeugs!



- 18.) Was ist der Unterschied zwischen "flying qualities" und "handling qualities"?
- 19.) Durch welchen Parameter wird die Eigenform "Rolldämpfung" (roll mode) nach MIL-F-8785 C beschrieben?
- 20.) Zeichnen Sie einen einfachen Regelkreis mit Regler, Strecke und Sensor! Benennen Sie die regelungstechnischen Größen!

## 2. Klausurteil

 mit Unterlagen dazu PC mit MATLAB/Simulink, 50 Punkte, 140 Minuten

### Aufgabe 2.1 (21 Punkte)

Ein zweimotoriges Flugzeug der Allgemeinen Luftfahrt ist im Reiseflug charakterisiert durch folgende Parameter und Beiwerte:

Flughöhe: 6500 m; Machzahl: 0.345; Fluggeschwindigkeit: 105 m/s

$$\begin{array}{lll}
 X_u = -0.018 & Z_q = -0.012 & M_q = -7.2 \\
 X_\alpha = 18.34 & Z_{\delta_E} = -3.1 & M_{\delta_E} = -34.85 \\
 X_{\delta_E} = -0.052 & M_u = 0.003 & \\
 Z_u = -0.005 & M_\alpha = -38.43 & \text{Hinweis: Die Beiwerte sind} \\
 Z_w = -1.234 & M_w = 0.0 & \text{in SI-Einheiten gegeben.}
 \end{array}$$

- a) Wie lautet die Systemmatrix  $\mathbf{A}$  der Längsbewegung in allgemeiner Form? Wie sind die Elemente von  $\mathbf{A}$  definiert? Wie lautet  $\mathbf{A}$  mit den konkreten Zahlenwerten dieser Aufgabe? Der Zustandsvektor sei dabei

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} u \\ w \\ q \\ \theta \end{bmatrix} .$$

- b) Wie lautet die charakteristische Gleichung der Längsbewegung?  
 c) Berechnen Sie die Eigenwerte der Längsbewegung! Ordnen Sie die bekannten Eigenformen der Längsbewegung den Eigenwerten zu! Machen Sie Aussagen zur Stabilität!  
 d) Wie lautet die charakteristische Gleichung der Anstellwinkelschwingung? Welchen Wert haben Kreisfrequenz und Dämpfungsgrad?  
 e) Wie lautet die charakteristische Gleichung der Phygoide? Welchen Wert haben Kreisfrequenz und Dämpfungsgrad?  
 f) Welchen Wert erhalten Sie für den Control Anticipation Parameter, CAP?  
 g) Bewerten Sie die Längsbewegung gemäß Mil-F-8785 C!

### Aufgabe 2.2 (5 Punkte)

Die Systemmatrix  $\mathbf{A}$  der Seitenbewegung des zweimotorigen Flugzeugs aus Aufg. 2.1 im Reiseflug lautet:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -0.1840 & 0 & -1 & 0.0934 \\ -5.3300 & -2.3300 & 0.3100 & 0 \\ 6.3300 & -0.1700 & -0.3140 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{bei einem Zustandsvektor } \vec{x} = \begin{bmatrix} \beta \\ p \\ r \\ \phi \end{bmatrix} .$$

- a) Berechnen Sie die Eigenwerte der Seitenbewegung! Ordnen Sie die bekannten Eigenformen der Seitenbewegung den Eigenwerten zu! Welche Eigenformen sind stabil, welche sind instabil?

- b) Berechnen Sie die Zeit bis zur Verdopplung (time to double) des Hängewinkels in der Spiralbewegung!

### Aufgabe 2.3

Das zweimotorigen Flugzeugs aus Aufg. 2.1 fliegt im Reiseflug in eine Vertikalböe ein, die das Flugzeug plötzlich (!) von unten trifft. Die Vertikal-Böe hat eine Stärke von 10 m/s. Nach 10 s hat das Flugzeug die Vertikal-Böe durchflogen und fliegt wieder in ruhiger Luft.

- a) Wie lautet der Zähler der vollständigen Übertragungsfunktion (ohne weitere Vereinfachungen), mit der die Änderung der Flughöhe  $h$  des Flugzeugs aus dieser Böenanregung berechnet werden kann?
- b) Wie lautet der Nenner der vollständigen Übertragungsfunktion (ohne weitere Vereinfachungen)?
- c) Erstellen Sie eine Simulink-Modell, um die beschriebene Flugsituation zu simulieren. Skizzieren Sie das Blockschaltbild auf Papier!
- d) Führen Sie die Simulation durch. Beschreiben Sie das Simulationsergebnis (machen Sie eine Skizze des Plots auf Papier). Interpretieren Sie das Ergebnis! Was bedeutet das, was Sie als Plot sehen?

### Aufgabe 2.4 (5 Punkte)

Ein einfacher Autopilot soll dafür sorgen, dass die Flächen im Geradeausflug immer horizontal liegen. Unterbreiten Sie einen Vorschlag für diesen einfachen Regler und skizzieren Sie den Regelkreis! Benennen Sie die Regelgröße (Istwert), die Stellgröße und den Wert der Führungsgröße (Sollwert)!

### Aufgabe 2.5 (5 Punkte)

Zusätzlich zu der Systemmatrix  $\mathbf{A}$  der Seitenbewegung des zweimotorigen Flugzeugs aus Aufg. 2.2 ist die Eingangsmatrix  $\mathbf{B}$  für eine Seitenrudereingabe gegeben. Die Taumelschwingung (Dutch Roll) soll durch das Seitenruder gedämpft werden.

- a) Wenn das Flugzeug eine positive Giergeschwindigkeit aufweist, in welche Richtung muss das Seitenruder ausgeschlagen werden, um die Bewegung zu dämpfen?
- b) Erstellen Sie die Wurzelortskurve. Welcher Verstärkungsfaktor  $k$  müsste gewählt werden, um einen Dämpfungsgrad der Taumelschwingung von 0.9 zu erhalten?

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0.045 \\ 1.6 \\ -3.33 \\ 0 \end{bmatrix}$$