



Lösung zur Klausur Flugmechanik 1 SS 03

Datum: 01.07.2003

Bearbeitungszeit: 180 Minuten

1. Klausurteil

1.1) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in englischer Sprache! Schreiben Sie so deutlich, dass ich die korrekte Rechtschreibung beurteilen kann!

1. Flugmechanik	flight mechanics
2. Flugleistung	aircraft performance
3. Böe	gust
4. Auftrieb	lift
5. Widerstand	drag
6. Gleitzahl	lift-to-drag ratio
7. Polare	drag polar
8. Staudruck	dynamic pressure
9. Flügel	wing
10. Horizontalflug	level flight
11. Kurvenflug	turning flight
12. Gipfelhöhe	ceiling

1.2) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in deutscher Sprache!

1. angle of attack	Anstellwinkel
2. sideslip	Schiebeflug
3. lift curve slope	Auftriebsgradient
4. elevator deflection	Höhenruderausschlag
5. payload	Nutzlast
6. stall	überzogener Flugzustand
7. chord	Profiltiefe

8.	centre of gravity	Schwerpunkt
9.	specific fuel consumption	spezifischer Kraftstoffverbrauch
10.	longitudinal static stability	statische Stabilität der Längsbewegung
11.	static margin	Stabilitätsreserve
12.	static margin, stick-fixed	Stabilitätsreserve bei festem Ruder

1.3) Was versteht man unter der "*coffin corner*"?

Beim Fliegen in großer Flughöhe kommt es zu zwei Effekten:

- 1.) Durch die mit zunehmender Höhe abnehmende Luftdichte wird bei gegebenem max. Auftriebsbeiwert die **Überziehggeschwindigkeit höher**.
- 2.) Durch die mit zunehmender Höhe abnehmende Luftdichte wird bei gegebener Reisefluggeschwindigkeit der erforderliche Auftriebsbeiwert höher. Dieser höhere Auftriebsbeiwert erfordert einen vermehrten Unterdruck auf der Flügeloberseite und somit höhere Übergeschwindigkeiten. Damit wird die **Schüttelgrenze niedriger**.

Fazit: Die begrenzenden Geschwindigkeiten kommen mit zunehmender Höhe immer enger zusammen. **Dort wo sich die Kurven treffen liegt die "Coffin Corner"**. An der *Coffin Corner* kann das Flugzeug nur noch mit genau einer Geschwindigkeit geflogen werden.

1.4) Wie ist der Neutralpunkt (*aerodynamic center*) definiert?

Der Neutralpunkt ist der Punkt auf der Profilhöhe eines Profils, der ein konstantes Nickmoment bei verschiedenen Anstellwinkeln zeigt.

1.5) Was kennzeichnet den Neutralpunkt bei losem Ruder (*neutral point stick free*)?

Wenn der Schwerpunkt des Flugzeugs auf dem Neutralpunkt bei losem Ruder liegt, dann ist das erforderliche Höhenruderscharniermoment unabhängig von der Fluggeschwindigkeit.

1.6) An einem Flugplatz (Höhe nach Karte: 300 ft) wird das QNH bekannt gegeben: 1013 hPa. Wie viel beträgt etwa der Druck am Flugplatz! Mit welcher Q-Gruppe wird der Druck bezeichnet?

Merkregel: 30 ft pro hPa. Demnach ist der Differenzdruck etwa 10 hPa. Der Druck am Flugplatz etwa **1003 hPa**. Der Druck am Flugplatz wird mit **QFE** bezeichnet.

1.7) Berechnen Sie die Temperatur der Internationalen Standardatmosphäre (ISA) in einer Höhe von 4000 ft!

Temperaturabnahme etwa 2 °C pro 1000 ft. Insgesamt also 8 °C. Am Boden standardmäßig 15 °C. In 4000 ft also: **7 °C**.

1.8) Für den Start wurde die Startbahn mit der Bezeichnung 09 gewählt. Der Wind kommt aus 120°. Welche maximale Windgeschwindigkeit ist gerade noch zulässig, wenn die Seitenwindkomponente beim Start 15 kt nicht überschreiten darf?

Der Winkel zwischen Startbahn und Wind: 30°. Seitenwindkomponente: mit Hilfe von $\sin 30^\circ = 1/2$ (zeichnen Sie sich das Geschwindigkeitsdreieck!) . Maximale Windgeschwindigkeit daher nicht mehr als **30 kt**.

- 1.9) Ein Flugzeug fliegt bei minimalem Widerstand. Der Staudruck beträgt 1500 N/m^2 , der Auftriebsbeiwert $1,0$ und die Flügelfläche des Rechteckflügels 20 m^2 , die mittlere aerodynamische Flügeltiefe (MAC) 2 m und der Oswald-Faktor $0,8$. Berechnen Sie den Auftrieb! Berechnen Sie die maximale Gleitzahl! Hinweis: Rechnen Sie mit $\pi = 3$.

Minimaler Widerstand \Rightarrow max. Gleitzahl

$$q = 1500 \text{ N/m}^2 \quad C_L = 1 \quad S = 20 \text{ m}^2 \quad \bar{c} = 2 \text{ m}$$

$$e = 0,8$$

$$L = q \cdot C_L \cdot S = 1500 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot 1 \cdot 20 \text{ m}^2 = \underline{\underline{30000 \text{ N}}}$$

$$E = \frac{C_L}{C_D} \quad C_D = C_{D0} + C_{Di} \quad \text{mit } C_{D0} = C_{Di}$$

$$= 2 C_{Di} = \frac{1}{6}$$

$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi A e} = \frac{1^2}{3 \cdot 5 \cdot 0,8}$$

$$= \frac{1}{12}$$

$$A = \frac{b^2}{S} = \frac{10^2}{20} = 5$$

$$S = b \cdot \bar{c}$$

\uparrow Rechteckflügel

$$b = \frac{S}{\bar{c}} = \frac{20 \text{ m}^2}{2 \text{ m}} = 10 \text{ m}$$

$$E = \frac{1}{\frac{1}{6}} = \underline{\underline{6 = E_{\max}}}$$

- 1.10) Nennen Sie die BREGUETsche Reichweitengleichung und benennen Sie die Parameter der Gleichung!

$$R = \frac{V E}{c g} \ln \left(\frac{m_1}{m_2} \right)$$

R : Reichweite

V : Fluggeschwindigkeit

E : Gleitzahl

c : schubspezifischer Kraftstoffverbrauch

g : Erdbeschleunigung

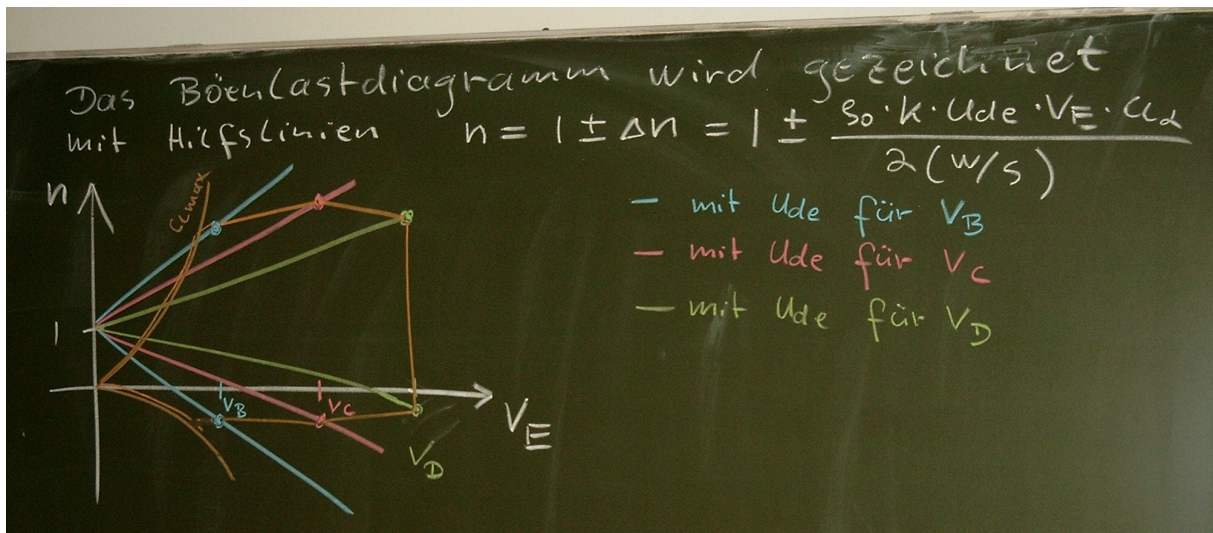
m_1 : Masse des Flugzeugs zu Beginn des Fluges (der betrachteten Strecke)

m_2 : Masse des Flugzeugs am Ende des Fluges (der betrachteten Strecke).

- 1.11) Wann wird die Startstrecke kürzer, bei Rückenwind oder bei Gegenwind? Begründen Sie Ihre Antwort!

Die Startstrecke ist **bei Gegenwind kürzer**. Begründung: Für das Abheben ist Auftrieb wichtig. Der Auftrieb erfordert eine Anströmung der Flügel. Bei Gegenwind ist der Flügel bereits etwas angeströmt, ohne dass das Flugzeug überhaupt beschleunigt hätte. Daher ist auch die Geschwindigkeit über Grund für das Abheben geringer. Diese niedrigere Geschwindigkeit kann schneller erreicht werden.

- 1.12) Zeichnen Sie ein typisches V-n Böenlast-Diagramm! Erklären Sie, wie das Diagramm zeichnerisch entsteht und aufgebaut wird. Beschriften Sie das Diagramm!



Die Hilfslinien werden bei den jeweiligen Geschwindigkeiten V_B , V_C , V_D beendet. Die Endpunkte der Hilfslinien werden verbunden. Diese Verbindungslinie in Verbindung mit der Grenzlinie für $C_{L,max}$ zeigt den zulässigen V-n-Bereich (im Bild in braun gezeigt).

- 1.13) Wie ändert sich das Nickmoment um den Schwerpunkt eines bezüglich der Längsbewegung instabilen Flugzeuges mit zunehmendem Anstellwinkel?

Mit zunehmendem Anstellwinkel wird das Nickmoment größer (mehr positiv) und wirkt dadurch "nose up" (positiver Nickmomentenbeiwert!)

- 1.14) Ein Flugzeug mit positiver statischer Längsstabilität ist auf 150 kt ausgetrimmt. Die Flugeschwindigkeit wird auf konstante 170 kt erhöht, dabei hat der Pilot noch nicht nachgetrimmt. In welche Richtung wurde das Steuerhorn bewegt (vor oder zurück)? Welche Kräfte treten dabei auf (Zug oder Druck)? Wie bewegt sich die Hinterkante des Höhenruders (nach oben oder nach unten)?

Das Steuerhorn wird **nach vorn bewegt**
Es treten **Druckkräfte** auf.
Die **Hinterkante** bewegt sich **nach unten**.

Lösung zum 2. Klausurteil

Aufgabe 2.1

$$p = \rho \cdot R \cdot T = 1.225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 287.053 \frac{\text{Nm}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 278.15 \text{ K}$$
$$= 97808 \text{ N/m}^2$$

$$h_p = \frac{T_0}{L} \left[1 - \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{1}{5.25588}} \right]$$

$$= \frac{288.15 \text{ K} \cdot \text{ft}}{1.9812 \cdot 10^{-3} \text{ K}} \left[1 - \left(\frac{97808}{101325} \right)^{\frac{1}{5.25588}} \right]$$

$$\underline{h_p = 974 \text{ ft}}$$

Dies würde auch ein Höhenmesser anzeigen, der auf 1013 hPa eingestellt ist.

Merke: 1 hPa = 30 ft hier 3 hPa = 90 ft

$$\underline{H_{\text{Anzeige}} = 884 \text{ ft}}$$

bei Einstellung des Höhenmessers auf 1010 hPa

Aufgabe 2.2

$$\sin \gamma \approx \frac{T}{W} - \frac{1}{E} = 0,25 - \frac{1}{12} = 0,167$$

$$\gamma = 9,59^\circ$$

$$R = \frac{V_{LOF}^2}{g(n-1)} = \frac{66,87^2 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^2}{\text{s}^2 \cdot 9,81 \text{ m} \cdot 0,15} = 3039 \text{ m}$$

$$130 \text{ kt} = 66,87 \text{ m/s}$$

$$h_{tr} = R \cdot (1 - \cos \gamma) = 42,5 \text{ m} > 35 \text{ ft} = h_{sc}$$

$$\begin{array}{l} | \\ = 10,67 \text{ m} \end{array}$$

$$s_a = \sqrt{R^2 - (R - h_{sc})^2}$$

$$\begin{array}{l} | \\ = \sqrt{3039^2 - (3039 - 10,7)^2} \text{ m} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} | \\ \underline{\underline{s_a = 254,8 \text{ m}}} \end{array}$$

ist die erforderliche Entfernung auf der Startbahn vom Abheben bis zum Überflug des 35-ft-Blindennisses.

Aufgabe 2.3

$$50 \text{ kt} = 25.72 \text{ m/s}$$

$$L = W = \frac{1}{2} \rho_0 \cdot V_{E,S}^2 \cdot C_{L,max} \cdot S = m \cdot g$$

$$m = m_{MTO} - \Delta m$$

$$\Delta m = \Delta V \cdot \rho = 80 \text{ L} \cdot 0.72 \text{ kg/L} = 57.6 \text{ kg}$$

$$m = 1100 \text{ kg} - 57.6 \text{ kg} = 1042.4 \text{ kg}$$

$$\frac{V_{E,S,1}^2}{V_{E,S,2}^2} = \frac{m_1}{m_2} \quad V_{E,S,2} = V_{E,S,1} \sqrt{\frac{m_2}{m_1}}$$

hier:

$$\begin{aligned} V_{E,S,MTO} &= V_{E,S,Versuch} \sqrt{\frac{m_{MTO}}{m}} \\ &= 50 \text{ kt} \sqrt{\frac{1100}{1042.4}} = \underline{\underline{51.4 \text{ kt}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{E,S,curve} &= V_{E,S,MTO} \cdot \frac{1}{\sqrt{\cos 60^\circ}} \\ &= 51.4 \text{ kt} \cdot \frac{1}{\sqrt{\cos 60^\circ}} = \underline{\underline{72.7 \text{ kt}}} \end{aligned}$$

Aufgabe 2.4

$$V \cdot \sin \gamma = \frac{\left(\frac{T}{W} - \frac{D}{W}\right) \cdot V}{1 + \frac{V}{g} \cdot \frac{dV}{dh}} = 1000 \text{ ft/min}$$

Beim Steigen mit $EAS = \text{const}$ steigt die TAS \checkmark

$$V_T = \frac{V_E}{\sqrt{g}}$$

$$90 \text{ kt} = 46.3 \text{ m/s}$$

$$1000 \text{ ft: } V_T = \frac{46.3 \text{ m/s}}{0.98543} = 46.98 \text{ m/s}$$

$$\Delta V = 0.7 \text{ m/s}$$

$$2000 \text{ ft: } V_T = \frac{46.3 \text{ m/s}}{0.97097} = 47.68 \text{ m/s}$$

$$\Delta h = 1000 \text{ ft} = 304.8 \text{ m}$$

$$1 + \frac{V}{g} \cdot \frac{dV}{dh} = 1 + \frac{46.3}{9.81} \cdot \frac{0.7}{304.8} \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{1}{\text{m}}$$

$$= 1.01084$$

Beim Steigen mit konstanter TAS wäre die Steiggeschwindigkeit um den Faktor 1.01084 höher, hier

also 1010,8 ft/min

Aufgabe 2.5

Gesucht ist $(H_m')_{\text{turn}} = (h_m')_{\text{turn}} - h$

$$(H_m')_{\text{turn}} = (h_0 - h) + \bar{v}' \left[\frac{\bar{a}_1}{a} \left(1 - \frac{dE}{da} \right) + \frac{\bar{a}_1}{2\mu_1} \cdot \frac{u_c + 2}{u_c + 1} \right]$$

$$\bar{v}' = \frac{e_T' \cdot s_T}{\bar{c} \cdot s} = \frac{7 \cdot 6}{1.54 \cdot 20} = 1,3636$$

$$\begin{aligned} \bar{a}_1 &= a_1 \left(1 - \frac{a_2}{a_1} \cdot \frac{b_1}{b_2} \right) = 3.6 \cdot \left(1 - \frac{2}{3.6} \cdot \frac{0.2}{0.4} \right) \text{ 1/rad} \\ &= 2.6 \text{ 1/rad} \end{aligned}$$

$$\mu_1 = \frac{m}{s \cdot s \cdot e_T'} = \frac{3000 \text{ kg} \cdot \text{m}^3}{1,225 \text{ kg} \cdot 20 \text{ m}^2 \cdot 7 \text{ m}} = 17,49$$

$$n = \frac{1}{\cos 60^\circ} = 2 \quad u_c = n - 1 = 1$$

$$\begin{aligned} (H_m')_{\text{turn}} &= -0.125 + 1.3636 \cdot \left[\frac{2.6}{4.2} (1 - 0.43) \right. \\ &\quad \left. + \frac{2.6}{2 \cdot 17.49} \cdot \frac{3}{2} \right] = \underline{\underline{0.508}} \end{aligned}$$

Aufgabe 2.6

$$200 \text{ kt} = 102,9 \text{ m/s}$$

V_c und Meereshöhe $\Rightarrow 50 \text{ ft/s} = 15,24 \text{ m/s} = U_{de}$

$$\mu = \frac{2 (W/s)}{g \cdot \bar{c} \cdot C_{Ld} \cdot g} = \frac{2 \cdot 3000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} \cdot \text{m}^3}{20 \text{ m}^2 \cdot 1,225 \text{ kg} \cdot 1,54 \text{ m} \cdot 4,2 \cdot 9,81 \text{ N/kg}}$$
$$= 37,86$$

$$K = \frac{0,88 \cdot \mu}{5,3 + \mu} = 0,7719 \quad \Delta n = \frac{S_0 \cdot U_{de} \cdot K \cdot V_E \cdot C_{Ld}}{2 \cdot W/s}$$

$$\Delta n = \frac{1,225 \text{ kg} \cdot 15,24 \text{ m} \cdot 0,7719 \cdot 102,9 \text{ m} \cdot 4,2 \cdot 5^2 \cdot 20 \text{ m}^2}{\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{s} \cdot 2 \cdot 3000 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m}}$$
$$= \underline{\underline{2,11}}$$

Bei gegebenen Parametern muß mit einem Zusatzlastvielfachen von über 2 gerechnet werden.