



## Lösung zur Klausur Flugmechanik 1 SS 04

Datum: 06.07.2004

### 1. Klausurteil

1.1) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in englischer Sprache!

- |                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| 1. Erdbeschleunigung          | earth acceleration |
| 2. Druckhöhe                  | pressure height    |
| 3. Geschwindigkeit über Grund | ground speed       |
| 4. angezeigt                  | indicated          |
| 5. V-Form                     | diheadral          |
| 6. Wellenwiderstand           | wave drag          |
| 7. Reibung                    | friction           |
| 8. Staudruck                  | dynamic pressure   |
| 9. Nebenstromverhältnis       | by-pass-ratio      |
| 10. Fortschrittsgrad          | advance ratio      |
| 11. Wirkungsgrad              | efficiency         |
| 12. Dämpfung                  | damping            |

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

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| 1. ceiling                | Gipfelhöhe        |
| 2. bank angle             | Hängewinkel       |
| 3. endurance              | Höchstflugdauer   |
| 4. Operating Empty Weight | Betriebsleermasse |
| 5. ground effect          | Bodeneffekt       |
| 6. screen height          | Hindernishöhe     |
| 7. reverse thrust         | Umkehrschub       |
| 8. gust                   | Böe               |
| 9. flying wing            | Nurflügler        |
| 10. aerodynamic centre    | Neutralpunkt      |
| 11. neutral point         | Neutralpunkt      |
| 12. stick                 | Knüppel           |

- 1.3) *elevation, altitude, height, flight level* sind ähnliche Begriffe. Wann wird welcher Begriff gebraucht, was bedeuten diese Begriffe?

Für Berge, Hindernisses o.ä. wird genutzt:  
 elevation: Höhe über MSL

Für Flugzeuge im Flug wird genutzt:  
 altitude: Höhe über MSL  
 height: Höhe über Grund  
 flight level: Flugfläche  
 (Höhe über der Druckfläche 1013 hPa geteilt durch 100)

- 1.4) Welchen Druck zeigen die Isobaren einer Wetterkarte?

Den Druck in Meereshöhe.

- 1.6) Bis in welche Höhe reicht die Troposphäre gemäß ISA?

Die Troposphäre reicht bis in 11000 m bzw. bis in 36089 ft.

- 1.5) Wie viele Wertepaare  $(C_L; C_D)$  benötigen Sie aus dem Flugversuch, wenn Sie die Parameter dieser Gleichung:  $C_D = C_{D,min} + k_1(C_L - C_L(C_{D,min}))^2 + k_2(C_L - C_L(C_{D,min}))^4$  eindeutig bestimmen wollen? Begründung!

Bei dieser Gleichung müssen 4 unbekannte Parameter bestimmt werden:  
 $C_{D,min}$ ,  $k_1$ ,  $C_L(C_{D,min})$ ,  $k_2$ .

Es werden also mindestens 4 Messungen und damit 4 Wertepaare  $(C_L; C_D)$  benötigt.

- 1.7) Die Geopotentielle Höhe ist nicht ganz leicht zu verstehen. Bringen Sie mit einem kurzen Text dazu etwas Licht in's Dunkel!

Die Erdbeschleunigung nimmt mit der Höhe ab. Wenn ein Gegenstand auf eine geometrische Höhe  $h$  gehoben wird ist dazu die Energie  $E_h = m \int_0^h g(s) ds$  erforderlich.

Stattdessen könnten wir auch einfacher berechnen:  $E_H = m g_0 H$  mit  $g_0 = 9.80665 \text{ m/s}^2$ .  $H$  wird dabei gerade so definiert, dass  $E_h = E_H = E$  ist. Mit anderen Worten:  $H$  ist wegen der Forderung  $E_h = E_H = E$  per Definition:

$H = \frac{1}{g_0} \int_0^h g(s) ds$  und damit etwas kleiner als  $h$ .

- 1.8) Sie sollen ausgehend von der Angezeigten Geschwindigkeit die Geschwindigkeit über Grund berechnen. Welche anderen Geschwindigkeiten berechnen Sie dazu – in welcher Reihenfolge – als Zwischenwerte?

IAS  $\rightarrow$  CAS  $\rightarrow$  EAS  $\rightarrow$  TAS  $\rightarrow$  GS

1.9) Setzen Sie die Temperaturen:

Statische Temperatur (*static temperature*), T

Totaltemperatur (*total temperature*), TAT

Angezeigte Temperatur (*indicated temperature*), IAT

korrekt in folgende Ungleichung ein:

$$T < IAT < TAT$$

1.10) IAS = 280 kt, Druckhöhe: 35000 ft, IAT = -15 °C. Berechnen Sie näherungsweise im Kopf die TAS!

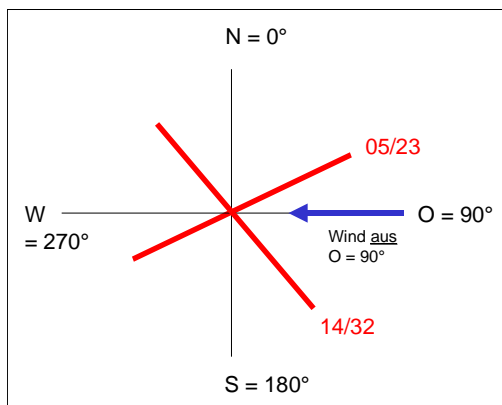
$h_p$ (in kt) / 1000 x 6	:	35000/1000 x 6 =	210
+ IAS (in kt)	:		+ 280
+ IAT (in °C)	:		+ -15
			-----
<b>TAS</b>	:		<b>475 kt</b>
			=====

1.11) Ein Flugplatz hat die Startbahnen 05/23 und 14/32. Wind: 090. Welche Startbahn würden Sie wählen? Begründung mit Skizze!

Gestartet wird so, dass die Gegenwindkomponente möglichst groß ist. Hier ergibt sich:

Bahn	in Richtung	Winkel zum Wind
05	50°	40° (Wind von rechts)
23	230°	Rückenwindkomponente
14	140°	50° (Wind von links)
32	320°	Rückenwindkomponente

Die Bahn 05 sollte gewählt werden, weil hier der Winkel zwischen (Gegen-) Windrichtung und Bahnrichtung am kleinsten ist.



1.12) Schiebeflug mit Querruder: rechts, Seitenruder: links. Welche Fläche hängt? Von welcher Seite wird das Flugzeug angeströmt? Ist dieser Schiebewinkel (gemäß Definition) positiv oder negativ?

Es hängt die rechte Fläche. Schiebeflug nach rechts. Anströmung des Flugzeugs von rechts (vorn). Definitionsgemäß ein positiver Schiebewinkel.

- 1.13) Flugzeug mit  $C_L/C_D = 30$ . Wie weit kann dieses Flugzeug aus einer Höhe über Grund von 10000 ft gleiten? Geben Sie das Ergebnis (näherungsweise) in NM an!

Gleitzahl 30. Gleiten horizontal:  $30 \cdot 10000 \text{ ft} = 300000 \text{ ft}$

Umrechnung	Faustformel	Rechnung
ft $\rightarrow$ m:	$\times 3 / 10$	90000 m = 90,0 km
km $\rightarrow$ NM:	$+ 10\% / 2$	99 km / 2 = 49,5 NM

(genauer Wert: 49,37 NM)

- 1.14) Beschreiben Sie die Eigenform des Flugzeugs, die als Phygoide bekannt ist!

Bei der Eigenform der Phygoide kommt es zu einem Austausch zwischen kinetischer und potentieller Energie des Flugzeugs ("Achterbahnfahrt"). Die Parameter Flughöhe und Fluggeschwindigkeit aufgetragen über der Zeit zeigen bei herkömmlichen Flugzeugen nach einer Anregung die Form einer gedämpften Sinus-Schwingung.

- 1.15) Ein Nurflügler soll (ohne Flugregler) statisch stabil bezüglich der Längsbewegung ausgelegt werden. Welche Forderungen müssen dann hinsichtlich des Nickmomentenbeiwertes  $C_{M_0} = C_M(C_L = 0)$  und der Lage des Schwerpunktes gestellt werden?

Der Nickmomentenbeiwert  $C_{M_0}$  muss positiv sein.

Der Schwerpunkt muss vor dem Neutralpunkt der Flügel-Rumpfkombination liegen. Diese Aussage entspricht der Aussage  $\frac{d C_M}{d C_L} < 0$ .

## Klausur 2. Teil

$$2.1) \quad H = \frac{r_{\text{earth}} \cdot h}{r_{\text{earth}} + h} = \underline{\underline{44903 \text{ ft}}}$$

$$44903 \text{ ft} > 36089 \text{ ft}$$

⇒ Stratosphäre ∇<sub>0</sub>

$$\rho = \rho_T \cdot e^{-k_b (H - H_T)}$$

$$\rho = 0,3639 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot e^{-4,80634 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{ft}} (44903 - 36089) \text{ft}}$$

$$= \underline{\underline{0,2382 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}}$$

$$2.2) \quad V_E = V_C - \Delta V_C \quad \Delta V_C \text{ aus Diagramm}$$
$$= 280 \text{ kt} - 3,5 \text{ kt} = 276,5 \text{ kt}$$

$$V = \frac{V_E}{\sqrt{G}} \quad G = \rho/\rho_0 \quad \rho = \frac{p}{R \cdot T}$$

$$p = p_0 (1 - k_a \cdot H)^{5,25588}$$
$$= 1013,25 \text{ hPa} (1 - 6,8756 \cdot 10^{-6} \cdot 12000)^{5,25588}$$

$$= 644,41 \text{ hPa} \quad (\text{oder aus ISA-Tabelle})$$

$$\rho = \frac{64441 \text{ Pa}}{287,053 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 278,15 \text{ K}} = 0,80709 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 0,80709 / 1,225 = 0,6588$$

$$V = 276,5 \text{ kt} / \sqrt{0,6588} = \underline{\underline{340,6 \text{ kt}}}$$

2.3)

$$n = \frac{1}{\cos \varphi}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2h \cdot mg}{g C_{Lmax} \cdot S}}$$

$$V_s = \sqrt{\frac{2mg}{g \cos \varphi \cdot C_{Lmax} \cdot S}}$$

$$\frac{V_{s1}}{V_{s2}} \stackrel{!}{=} 1 = \sqrt{\frac{\cos \varphi_2 \cdot C_{Lmax2}}{\cos \varphi_1 \cdot C_{Lmax1}}}$$

$$1 = \frac{\cos \varphi_2}{\cos \varphi_1} \cdot 2$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{1}{2} \cos \varphi_1$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{1}{2} \cos 30^\circ$$

$$\Rightarrow \varphi_2 = \underline{\underline{64,3^\circ}}$$

2.4) a)

$$\begin{aligned} R &= \frac{E \cdot v}{c \cdot g} \cdot \ln \frac{m_{MTO}}{m_{OE}} \\ &= \frac{20,7 \cdot 242 \text{ m} \cdot \text{N} \cdot \text{s} \cdot \text{kg}}{5 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N}} \cdot \ln \frac{368000}{168000} \\ &= 25833 \text{ km} \end{aligned}$$

$$r_{\text{earth}} = 6,371 \cdot 10^3 \text{ km}$$

$$U_{\text{earth}} = 2\pi r_{\text{earth}} = 40030 \text{ km}$$

$R < U_{\text{earth}} \Rightarrow$  es gelingt nicht  $\nabla$

b)

$$\begin{aligned} m_{OE} &= m_{MTO} \cdot \left( e^{\frac{R c g}{E \cdot v}} \right)^{-1} \\ &= 368000 \text{ kg} \cdot \left( e^{\frac{40030000 \cdot 15,5 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81}{20,7 \cdot 242}} \right)^{-1} \end{aligned}$$

$$m_{OE} = \underline{\underline{109181 \text{ kg}}}$$

Das Flugzeug müsste eine Betriebsleermasse von 109181 kg (oder weniger) aufweisen, damit ein Flug um die Welt gelänge.  
Das Betriebsleermassenverhältnis:  $\frac{m_{OE}}{m_{MTO}} \leq 0,297$

2.5)

$$V = \sqrt{\frac{T \pm \sqrt{T^2 - 4AB}}{2A}} \quad (1)$$

mit

$$A = \frac{c_{D0} \cdot S \cdot S}{2}$$

$$B = \frac{2 \cdot W^2}{\pi A e S S}$$

$$W = m \cdot g$$

$$\uparrow = \frac{b^2}{S} = 9,256$$

aus ISA-Tabelle:

$$S(39000 \text{ ft}) = 0,31641 \text{ kg/m}^3$$

$$A = \frac{0,02 \cdot 0,31641 \cdot 437}{2} \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 1,3827 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$W = 2943000 \text{ N}$$

$$B = \frac{2 \cdot 2943000^2 \text{ N}^2 \cdot \text{m}}{\pi \cdot 9,256 \cdot 0,85 \cdot 0,31641 \cdot 437 \text{ kg}}$$

$$= 5,068 \cdot 10^9 \frac{\text{N}^2 \cdot \text{m}}{\text{kg}}$$

$$T = 168000 \text{ N}$$

Für  $V$  gibt es jetzt zwei Lösungen

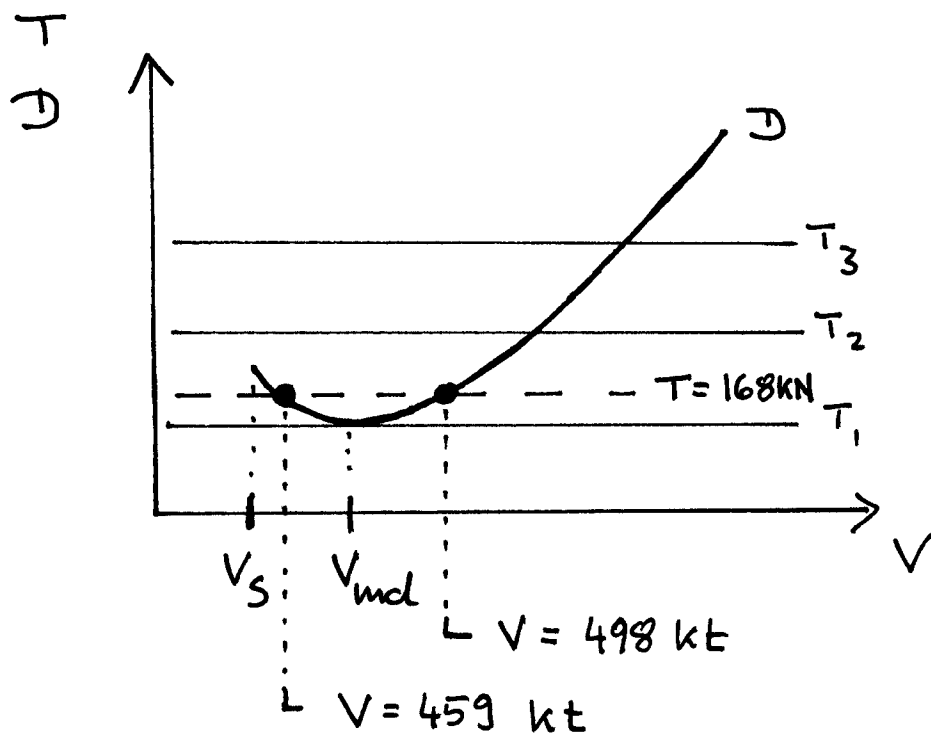
a) Gleichung (1) wird mit "+"-Zeichen genutzt

b) " (1) " " "-"-Zeichen "

$$a) V = 256 \text{ m/s} = 498 \text{ kt}$$

$$b) V = 236 \text{ m/s} = 459 \text{ kt}$$





Die max. Geschwindigkeit, die das Flugzeug erreicht sind 498 kt.  
 Das entspricht  $M = 0,87$ .  
 Bei der Geschwindigkeit von 459 kt würde das Flugzeug bezüglich der Geschwindigkeit instabil fliegen (mehr Widerstand bei abnehmender Geschwindigkeit).

2.6) festes Ruder:  $k_n = 0.10$   
Loses Ruder:  $k_n' = 0.04$

$$k_n - k_n' = 0,10 - 0,04 = 0,06$$

aus Skript:

$$k_n - k_n' = \bar{v}' \left( 1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha} \right) \frac{a_2}{a} \cdot \frac{b_1}{b_2}$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{k_n - k_n'}{\bar{v}' \left( 1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha} \right) \cdot \frac{a_2}{a}}$$

$$\bar{v}' = \frac{e_T' \cdot s_T}{\bar{c} \cdot S} = \frac{12 \cdot 6}{4 \cdot 60} = 0,3$$

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{0,06}{0,3 (1 - 0,46) \cdot \frac{3}{4,9}} = \underline{\underline{0,605}}$$