Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

FACHBEREICH FAHRZEUGTECHNIK UND FLUGZEUGBAU

Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Lösung zur Klausur Flugmechanik 1 WS 02/03

Datum: 27.01.2003

Bearbeitungszeit: 180 Minuten
Gesamtpunktzahl: 60

1. Klausurteil

(keine Hilfsmittel - 30 Minuten - 20 Punkte)

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

1.	aerodynamic centre (of wing and body)	Neutralpunkt (der Flügel-Rumpf-Kombination)
2.	neutral point (of the aeroplane)	Neutralpunkt (des ganzen Flugzeugs)
3.	pull out manoeuvre	Abfangmanöver (allgemein)
4.	flare	Abfangmanöver (bei der Landung)
5.	tail setting angle	Höhenleitwerkswinkel
6.	tail volume coefficient	Leitwerksvolumenbeiwert
7.	ultimate load	Bruchlast
8.	limit load	sichere Last
9.	clearway	Freifläche
10.	stop way	Stoppbahn
11.	lift-off speed	Abhebegeschwindigkeit
12.	screen height	Überflughöhe beim Start

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

1.	Knüppelkraft	stick force
2.	festes Ruder	stick fixed
3.	Stabilitätsreserve	static margin
4.	Trimmklappe	trim tab
5.	Scharniermoment	hinge moment
6.	statische Stabilität	static stability
7.	Lastvielfaches	load factor
8.	Sicherheitslandestrecke	landing field length
9.	Anfluggeschwindigkeit	approach speed
10.	Betriebleermasse	operating empty mass
11.	Reichweite	range
12.	Drehrate	turn rate

1.3) An einem Flugplatz (Höhe nach Karte: 1000 ft) wird das QNH bekannt gegeben: 1010 hPa. Berechnen Sie den Druck in Meereshöhe! QNH <u>ist</u> Druck in Meereshöhe. Antwort: 1010 hPa

1.4) An einem Flugplatz (Höhe nach Karte: 1000 ft) wird die Temperatur bekannt gegeben: 13 °C. Berechnen Sie die Temperatur in Meereshöhe! 2°C Temperaturabnahme je 1000 ft
Also in 0 ft 13°C + 2°C = 15°C //

1.5) In einer koordinierten Kurve beträgt der Hängewinkel 60°, welchen Wert hat das Lastvielfache?

$n = 1/\cos\phi = 2$

1.6) Der Neutralpunkt eines Flugzeugs liegt bei 40% MAC. Die Stabilitätsreserve beträgt 10%. Wo liegt der Schwerpunkt des Flugzeugs bezogen auf MAC?
Stabilitätsreserve 10% bedeutet: C.G. ist 10% vor NP. C.G also bei 30% //

1.7) Ein Flugzeug mit positiver statischer Längsstabilität ist auf 150 kt ausgetrimmt. Die Fluggeschwindigkeit wird auf konstante 120 kt verringert, 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)?
Steuerhorn: zurück Hinterkante: nach oben
Kräfte : Zug

1.8) Ein Rechteckflügel hat eine Fläche von 40 m², die Streckung beträgt 10. Berechnen Sie die Spannweite, die mittlere aerodynamische Flügeltiefe und die mittlere geometrische Flügeltiefe!
$A = b^2/S$, $b = \sqrt{A \cdot S} = 20m$; $S = b \cdot c$ $c = S/b = 40m^2/20m = 2m$
Rechteckflügel $\Rightarrow \bar{c} = c_g = c = 2m$ //

1.9) Ein Flugzeug fliegt bei maximaler Gleitzahl. Nennen Sie das Verhältnis aus induziertem Widerstand und Nullwiderstand!

$$\frac{D_i}{D_0} = \frac{C_{Di}}{C_{D0}} = 1$$

1.10) Nennen Sie die BREGUETsche Reichweitengleichung (für einen Jet)!

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

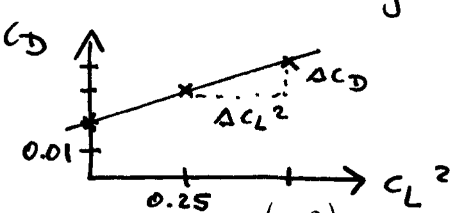
1.11) Ein Flugzeug fliegt mit einem Schub-Gewichtsverhältnis von 0,3 und eine Gleitzahl von 10. Berechnen Sie den Steiggradienten (also sinγ) !

$$\sin\gamma = \frac{T}{W} - \frac{D}{W} \approx \frac{T}{W} - \frac{D}{L} = \frac{T}{W} - \frac{1}{E} = 0.3 - 0.1 = 0.2 //$$

1.12) Beschreiben Sie kurz die Zulassungsflüge, die zur Ermittlung der „mimimum unstick speed" V_{MU} durchgeführt werden! Das Flugzeug startet mit max. Anstellwinkel, d.h. mit Berührung des Flugzeughecks und der Startbahn. Die Geschw. wird bestimmt, bei der das Flugzeug in dieser Lage abhebt.

1.13) Im Flugversuch wird ermittelt:

C_D	C_L	C_L^2
0,04	$1/\sqrt{2}$	0.5
0,03	0,5	0.25



$C_{D0} = 0.02$ //
$k = 0.01/0.25 = 0.04$ //

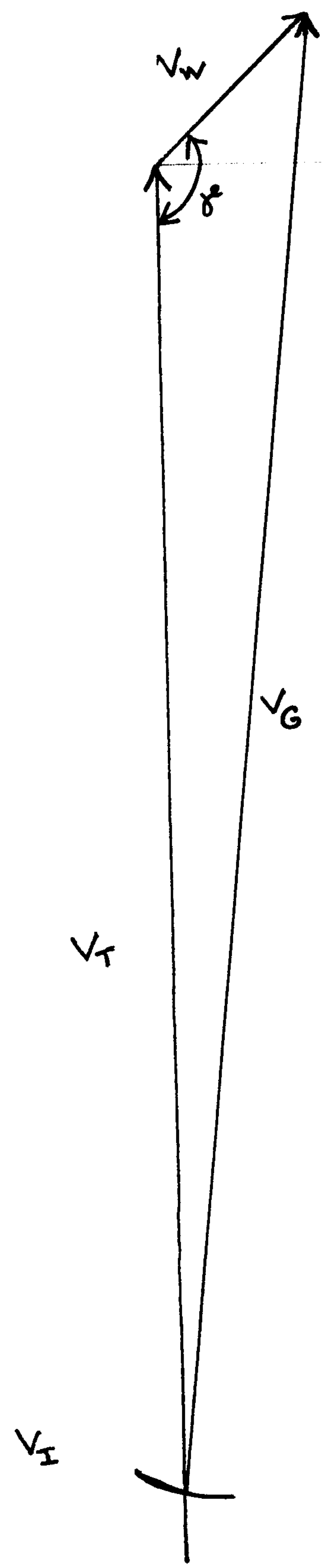
Zeichnen Sie aus den Angaben ein Diagramm $C_D = f\left(C_L^2\right)$!

Der Widerstand soll in der Form $C_D = C_{D,0} + k \cdot C_L^2$ dargestellt werden. Berechnen Sie $C_{D,0}$ und k !

Hinweis: Diese Aufgabe ist etwas aufwendiger, wird aber auch mit mehr Punkten belohnt.

Aufgabe 2.1

a)



$2\,cm \;\hat{=}\; 10\,kt$

$V_T \;\hat{=}\; 18.9\,cm$

$V_T = 94.5\,kt$ //

Rechnung:

$\gamma = 135°$

$$V_G^2 = V_T^2 + V_W^2 - 2\,V_T \cdot V_W \cdot \cos\gamma$$

$$V_T^2 \underbrace{- 2V_W \cdot \cos\gamma}_{p = 21.21\,kt} \cdot V_T \underbrace{+ V_W^2 - V_G^2}_{q = -4011\,kt^2} = 0$$

$$V_{T_{1,2}} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}$$

$$= 94.86\,kt \;//$$

b) Hier: $V_c \approx V_E$

$$V_E = V \cdot \sqrt{\sigma} = V_T \cdot \sqrt{\sigma}$$

$$\overset{!}{=} 94.86\,kt \cdot 0.95662 = 90.74\,kt$$

ISA-Tabelle

c) rel. Fehler: $$\frac{\Delta V}{V_c} = \frac{100\,kt - 90.74\,kt}{90.74\,kt}$$

$$\overset{!}{=} 0.102 \mathrel{\hat{=}} 10.2\,\%$$

Die Fahrtmesseranzeige hat bei 100kt einen (unakzeptabel hohen) rel. Fehler von 10.2%

Aufgabe 2.2

a) $$R = \frac{V_f^2}{g(n-1)} = \frac{66.88^2 m^2 \cdot s^2}{s^2 \cdot 9.81 m\,(1.15-1)} = 3039.5\,m$$

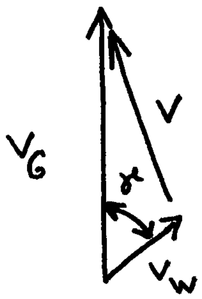
$$V_f = 130\,kt = 66.88\,m/s$$

b) $$s_{tr} = R \cdot \sin\gamma = 3039.5\,m \cdot \sin 3° = 159.1\,m$$

Hinweis zu

Aufgabe 2.1 — Bei Verständnis von V_G Richtung Norden *

a)



$$\gamma = 45°$$

$$V = \sqrt{V_G^2 + V_W^2 - 2\, V_G \cdot V_W \cdot \cos\gamma}$$

$$\overset{!}{=} \sqrt{106^2 + 15^2 - 2 \cdot 106 \cdot 15 \cdot \cos 45°}\ \text{kt}$$

$$\overset{!}{=} 95{,}98\,\text{kt} \approx 96\,\text{kt}$$

b) $V_{\underline{E}} \approx V_c = V \cdot \sqrt{\sigma} = 91.82\,\text{kt}$

$\uparrow$

$\sqrt{\sigma} = 0.95662$

c) $$\frac{\Delta V}{V_c} = \frac{100\,\text{kt} - 91.82\,\text{kt}}{91.82\,\text{kt}} = 0.089 \;\hat{=}\; \underline{\underline{8.9\,\%}}$$

* Einige Klausurteilnehmer hatten die Aufgabe so verstanden, daß der Kurs über Grund Richtung Nord führen würde. Unter dieser Voraussetzung hätte die weitere Lösung so ausgesehen wie oben dargestellt.

Aufgabe 2.3

a) $V = \frac{ds}{dt} = 0{,}1311\,\frac{m}{s^3}\cdot t^2 + 1.134\,\frac{m}{s^2}\cdot t - 10.864\,\frac{m}{s}$

b) $\Delta V = \sqrt{2gh} = 17.29\ m/s$

$\uparrow$ 50 ft = 15.24 m

$V_W = 10\,kt = 5.144\ m/s$

$V_S = 45\,kt = 23.15\ m/s$

$1.2\,V_S = 54\,kt = 27.78\ m/s$

$V_{HW} = V_2 + \Delta V - V_W = 27.78\ m/s + 17.29\ m/s - 5.14\ m/s$

$\stackrel{!}{=} 39.93\ m/s$

$V(t) = 39.93\,\frac{m}{s} = 0.1311\,\frac{m}{s^3}t^2 + 1.134\,\frac{m}{s^2}\cdot t - 10.864\,\frac{m}{s}$

$$\underbrace{0.1311\,\frac{m}{s^3}}_{a}\cdot t^2 + \underbrace{1.134\,\frac{m}{s^2}}_{b}\cdot t \underbrace{- 50.794\,\frac{m}{s}}_{c} = 0$$

$$a t^2 + b t + c = 0$$

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$t = \frac{-1.134 \pm 5.284}{0.2622}\,s = 15.83\,s$$

$s(t) = 143.4\,m$

c) • Mit $\sigma = 1$ ist keine Korrektur für die Bedingungen der Atmosphäre erforderlich.

• $$S_{0W} = S_W \left[\frac{V_2}{V_2 - V_W}\right]^{1.85}$$

$$= 143.4\,m \cdot \left[\frac{54}{54-10}\right]^{1.85} = 209.5\,m$$

• $$S = S_{0W} \cdot \left(\frac{m_{MTO}}{m_{TO}}\right)^2 = 209.5\,m \cdot \left(\frac{1043}{950}\right)^2$$

$$= \underline{\underline{252.5\,m}}$$

Aufgabe 2.4

Gegeben:

$$m_1 = 100\,000\ kg$$
$$m_2 = 70\,000\ kg$$
$$h = 35000\ ft \quad ISA \Rightarrow$$
$$\rho = 0.3796\ kg/m^3$$
$$a = 296.54\ m/s$$

A) $h = const$, $V = const = M \cdot a = 237{,}23\ m/s$

$$R = \frac{2 E_{max} V}{g\,c} \arctan\left[\frac{\sqrt{B_3}\,(m_1 - m_2)}{B_3 + m_1 m_2}\right]$$

$$B_3 = \frac{C_{D_0}\,\rho^2 S^2 V^4 \pi A e}{4 g^2}$$

$$= \frac{0.02 \cdot 0.3796^2 \cdot 218^2 \cdot 237.23^4 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 0.85}{4 \cdot 9.81^2}\ kg^2$$

$$= 3.00916 \cdot 10^{10}\ kg^2$$

$$R = \frac{2 \cdot 18.27 \cdot 237.23}{9.81 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} \arctan \left[\frac{\sqrt{B_3}\,(100\,000 - 70\,000)}{B_3 + 100\,000 \cdot 70000} \right]$$

$$= 7698 \text{ Km}$$

B) Optimum nach BREGUET "cruise climb"

$$R = \frac{V \cdot E}{g \cdot c} \cdot \ln \frac{m_1}{m_2}$$

$$V = V_{opt} = \sqrt[4]{3} \cdot V_{md}$$

$$C_{Lmd} = \sqrt{C_{D_0} \pi A e} = \sqrt{0.02 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 0.85}$$

$$= 0.7308$$

$$L = m \cdot g = \frac{1}{2} \rho V_{md}^2 \cdot C_{Lmd} \cdot S$$

$$V_{md} = \sqrt{\frac{2 m g}{\rho\, C_{Lmd}\, S}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 100\,000 \cdot 9.81}{0.3796 \cdot 0.7308 \cdot 218}} \text{ m/s}$$

$$= 180.11 \text{ m/s}$$

$$V = 180.11 \text{ m/s} \cdot \sqrt[4]{3} = 237 \text{ m/s} \quad = V(A) \,!$$

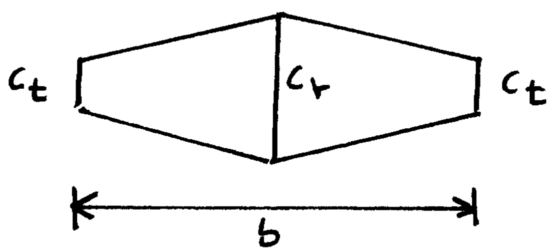
$$E = E_{max} \cdot \frac{2}{\frac{C_{Lmd}}{C_L} + \underbrace{\frac{C_L}{C_{Lmd}}}_{1/\sqrt{3}}} = E_{max} \cdot 0.8660 = 15.82$$

$$R = \frac{237 \cdot 15.82}{9.81 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} \ln \frac{10}{7} \text{ m} = 8520 \text{ Km}$$

Dies sind 10.7 % mehr als in A)

Aufgabe 2.5

a)



$$\lambda = \frac{c_t}{c_r}$$

$$c_g = \frac{c_t + c_r}{2}$$

$$c_t = \lambda \cdot c_r$$

$$S = c_g \cdot b = \frac{1}{2} c_r (\lambda + 1) \cdot b$$

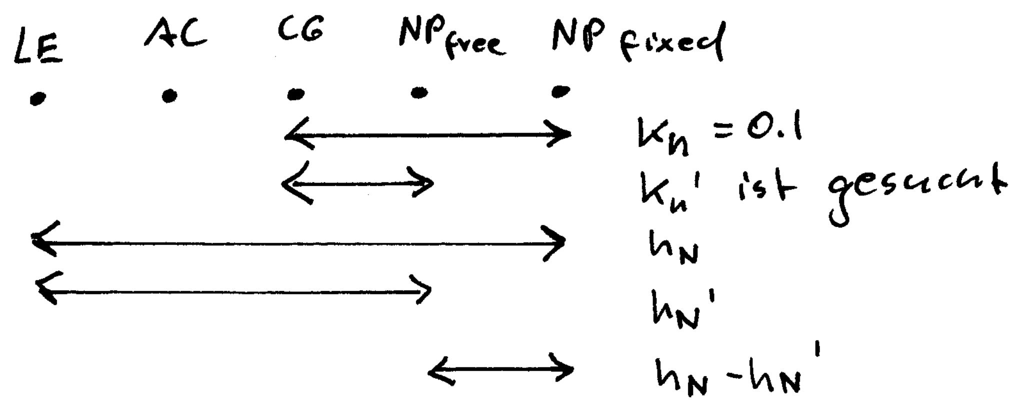
$$c_r = \frac{2S}{b(\lambda+1)} = \frac{2 \cdot 20\,m^2}{14m \cdot 1.35} = \underline{\underline{2.116\,m}}$$

b)

$$\bar{\bar{c}} = \frac{2}{3} c_r \left[1 + \frac{\lambda^2}{1+\lambda} \right]$$

$$\overset{!}{=} \frac{2}{3} \cdot 2.116m \left[1 + \frac{0.35^2}{1.35} \right] m = \underline{\underline{1.539\,m}}$$

c)



$$k_n' = k_n - (h_N - h_N')$$

$$\bar{V}' = \frac{\ell_T' \cdot S_T}{\bar{\bar{c}} \; S} = 1.365$$

$$h_N - h_N' = \bar{V}' \cdot \frac{a_1}{a} \left(\frac{a_2}{a_1} \frac{b_1}{b_2} \right) \left(1 - \frac{d\varepsilon}{d\alpha} \right)$$

$$\overset{!}{=} 1.365 \cdot \frac{3.6}{4.2} \left(\frac{2}{3.6} \cdot \frac{-0.2}{-0.4} \right) (1 - 0.43) = 0.1853$$

$$k_n' = 0.1 - 0.1853 = \underline{\underline{-0.0853}}$$ instabil!

Aufgabe 2.61

$$h = 30000\ ft = 9144\ m$$

$$a = 303.17\ m/s$$

$$M = 0.81$$

$$V = M \cdot a = 303.17\ \frac{m}{s} \cdot 0.81 = 245.57\ \frac{m}{s}$$

$$He = \left[9144 + \frac{245.57^2}{2 \cdot 9.81}\right] m = \underline{\underline{12218\ m}}$$