



## Flugmechanik mit Labor (FML) WS 16/17

Datum: 17.01.2017

Bearbeitungszeit: 180 Minuten

Name:	Vorname:
Matrikelnummer.:	
Punkte:	von 69 Punkten. Note:

### 1. Klausurteil

(keine Hilfsmittel - 40 Minuten - 27 Punkte)

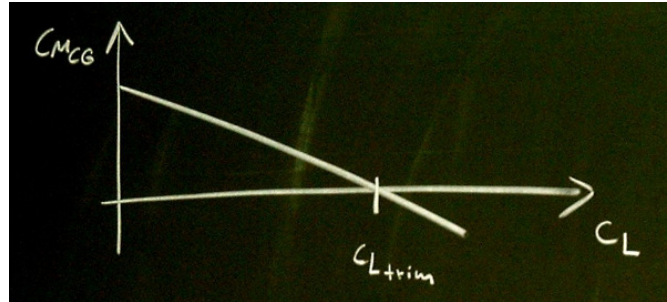
1.1) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in englischer Sprache! Schreiben Sie so deutlich, dass ich die korrekte Rechtschreibung beurteilen kann! (3 Punkte)

1. Äquivalentgeschwindigkeit
2. Bruchlast
3. Reiseflug
4. Dienstgipfelhöhe
5. Drehrate
6. festes Ruder
7. Fortschrittsgrad
8. Gegenwind
9. Geschwindigkeit über Grund
10. Höchstflugdauer
11. Höhenleitwerksvolumenbeiwert
12. Normalnull

1.2) Nennen Sie die entsprechende Bezeichnung folgender Luftfahrtausdrücke in deutscher Sprache! (3 Punkte)

1. aircraft performance
2. descending flight
3. equation of motion
4. fin
5. flying wing
6. gust
7. height
8. level flight
9. longitudinal static stability
10. piston
11. screen height
12. static margin

- 1.3) Skizzieren Sie die Anordnung der 6 wichtigsten Instrumente im Cockpit in der klassischen Anordnung (The Basic Six-Pack; Basic-T) und benennen Sie die Instrumente! (3 Punkte)
- 1.4) "The calculated minimum safe altitudes/heights must be adjusted when the ambient temperature on the surface is much lower than that predicted by the standard atmosphere. In such conditions, an approximate correction is 4 per cent height increase for every 10°C below standard temperature as measured at the altimeter setting source." ICAO PANS OPS (Doc 8168). Als Gleichung:  $h_{true} = h_{QNH} + h_{QNH} \cdot 0,04 \cdot (t - t_{ICAO})/10^{\circ}\text{C}$   
 a) Berechnen Sie danach die wahre Höhe für  $h_{QNH} = 5000 \text{ ft}$  bei  $-25^{\circ}\text{C}$  in Meereshöhe!  
 b) Erklären Sie, warum hier eine Korrektur erforderlich ist!
- 1.5) Gegeben ist das Diagramm (rechts) für ein Flugzeug. Was passiert, wenn das zunächst ausgetrimmte Flugzeug durch Kraftstoffverbrauch leichter wird? Bitte Begründen Sie Ihre Antwort!
- 1.6) Wie ist der Fortschrittsgrad definiert?
- 1.7) Ein Festpropeller ist ausgelegt für einen Schnellflug mit 140 kt und einer Drehzahl 2400 1/min. Daraus ergibt sich ein Propellerwirkungsgrad von 0,8. Welchen Propellerwirkungsgrad erhält man, wenn ein ganz langsamer Reiseflug gewählt wird mit 70 kt, der eine Drehzahl von 1200 1/min erfordert?
- 1.8) Auf einem Flug (mit einem A320) sitzen Sie in der Nähe des Flügels und beobachten ein Pendel (irgend ein kleiner Gegenstand am Faden), das Sie im Sitz sitzend vor sich halten. Jetzt fliegt das Flugzeug zunächst eine Kurve nach links und dann nach rechts mit beachtlich hohem Rollwinkel (wie ein Blick aus dem Fenster bestätigt). Welche Bewegung macht das Pendel? Erklären Sie!
- 1.9) Ein Flugzeug sinkt im Gleitflug mit 5 m/s bei einer (wahren) Fluggeschwindigkeit von 100 kt. Berechnen Sie die Gleitzahl!
- 1.10) Wie viel Minuten beträgt die Steigzeit bis zur absoluten Gipfelhöhe (12500 ft) eines kleinen Flugzeugs?
- 1.11) Wodurch ist in der Praxis die Flughöhe eines Passagierflugzeugs begrenzt? (Auftrieb, Schub, ...) Begründen Sie!
- 1.12) Wie ist die Dienstgipfelhöhe bei einem Jet definiert?
- 1.13) Der Kurvenflug ist durch die Zentripetalkraft geprägt, die ausgedrückt wird z. B. durch  $mV^2/r$  oder  $mr\Omega^2$ .  $r$  ist dabei der Kurvenradius. Welche Darstellung der Zentripetalkraft ermöglicht eine Schreibweise, die ohne Kenntnis des Kurvenradius auskommt?
- 1.14) Nennen Sie den wichtigsten Vor- und Nachteil eines Entenflugzeugs!
- 1.15) Nennen Sie die Grundgleichung des schubspezifischen Kraftstoffverbrauchs!



### Fragen zur Vortragsreihe

- 1.16) Was soll ausgesagt werden durch: "Wind tunnel and CFD complement each other."?
- 1.17) Ergänzen Sie den folgenden Satz! IATA (and ATAG) want to achieve zero emission growth from 2020 onwards. This is only possible with ...
- 1.18) "We have not One but Three Issues!" Welche drei großen Herausforderungen der Menschheit wurden im Vortrag angesprochen? Welche davon wird meistens diskutiert und welche muss am dringendensten gelöst werden?
- 1.19) Welche Idee steckt hinter dem Vorschlag: "Horizontal Wing Tip Extension on A320 as Option"?
- 1.20) Die Einführung der Wasserstofftechnologie in der Luftfahrt würde erhebliche Investitionen erfordern und kommt daher nicht voran. Durch welche Idee könnte man zumindest durch geschickten Flugzeugentwurf die Investitionskosten senken?
- 1.21) Die Triebwerke der A380 sind noch gar nicht so alt. Nennen Sie (andere) Gründe für die begrenzte Wirtschaftlichkeit der A380!

## 2. Klausurteil (mit Hilfsmitteln - 140 Minuten - 41 Punkte)

### Aufgabe 2.1 (10 Punkte)

Ein Flugplatz befindet sich auf 5000 ft. Die Temperatur beträgt aktuell in Meereshöhe  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Winter), QNH: 1033 hPa (Hoch).

- Welche Temperatur erwarten Sie im Winter nach der Standardatmosphäre (ISA) in Meereshöhe?  
Um welchen Betrag weicht die aktuelle Temperatur von der Temperatur der Standardatmosphäre ab?
- Welchen Druck erwarten Sie am Flugplatz?
- Welche Dichte erwarten Sie am Flugplatz?
- Welche Druckhöhe haben wir aktuell am Flugplatz?
- Welche Dichtehöhe haben wir aktuell am Flugplatz?
- Welchen Wert zeigt aktuell ein Höhenmesser an am Flugplatz, in dessen Fenster der Wert 1033 hPa eingestellt ist? (Berechnen Sie nach Vorlesung!)

### Aufgabe 2.2 (8 Punkte)

Erinnerung an die Vorlesung:  $V_{opt}$  ist die als „optimal“ bezeichnete Fluggeschwindigkeit, bei der ein Flugzeug welches nach "Schedule 2" fliegt (das ist ein Flug mit konstanter Geschwindigkeit und konstantem Auftriebsbeiwert) die maximale Reichweite erlangt. In diese "klassische" Berechnung der "optimalen" Geschwindigkeit geht die (unzutreffende) Annahme ein, dass der spezifische Kraftstoffverbrauch konstant sei (sich also insbesondere nicht mit der Fluggeschwindigkeit ändert). Mit dieser Annahme ist die Reichweite maximal, wenn der Term  $D/V$  minimiert wird. Dies ist der Fall, wenn  $V_{opt} = (3)^{1/4} \cdot V_{md}$  ist. "md" steht dabei für "minimum drag".

Berechnen Sie (analog zum Vorgehen auf Tafelbild 5-3b) die charakteristischen Beiwerte!

- Wie lautet die Gleichung zur Berechnung des optimalen Auftriebsbeiwertes (bei "optimaler" Geschwindigkeit)  $C_{L,opt}$  als Funktion des Auftriebsbeiwertes bei minimalem Widerstand  $C_{L,md}$ ?
- Wie lautet die Gleichung zur Berechnung des induzierten Widerstandsbeiwertes  $C_{Di,opt}$  als Funktion des Nullwiderstandsbeiwertes  $C_{D0}$ ?
- Wie lautet die Gleichung zur Berechnung des Widerstandsbeiwertes  $C_{D,opt}$  als Funktion des Nullwiderstandsbeiwertes  $C_{D0}$ ?
- Wie viel Prozent der maximalen Gleitzahl wird unter der Bedingung der hier definierten „optimalen“ Fluggeschwindigkeit noch erreicht?

### Aufgabe 2.3 (5 Punkte)

Erinnerung an die Vorlesung: In der Flugmechanik kann man nicht immer davon ausgehen, dass für die Rechnungen bereits die Daten der Aerodynamik vollständig vorliegen. Der Flugmechaniker sollte daher in der Lage sein, sich eine Polare für das zu analysierende Flugzeug selbst zu erstellen. Dazu wurden Methoden in der Vorlesung vorgestellt. Eine selbst entwickelte Methode dient der

Abschätzung des Wellenwiderstandsbeiwerts  $\Delta C_{D,w}$ . Nach der Methode kann der Wellenwiderstandsbeiwert für jedes Flugzeug abgeschätzt werden, für das die Machzahl des Widerstandsanstiegs  $M_{DD} \approx M_{CR}$  bekannt ist und der Pfeilwinkel des Flügels,  $\varphi_{25,W}$ . Nur für die "bekannten" Flugzeuge A 320-200, B727-200, B737-800, C-130H und BAe 146 lagen während der Erstellung der Methode weitere aerodynamische Daten vor. Für alle anderen "unbekannten" Flugzeuge wird empfohlen, mit gemittelten Konstanten  $A = 0,00127$  und  $B = 3,477$  zu rechnen.

Es geht hier um ein aerodynamisch "unbekanntes" Flugzeug mit  $M_{CR} = 0,80$  und  $\varphi_{25,W} = 25^\circ$ .

- Wie lautet allgemein die Gleichung zur Beschreibung der (Lilienthal-)Polare des Flugzeugs unter Berücksichtigung des Wellenwiderstandsbeiwerts  $\Delta C_{D,w}$ ?
- Berechnen Sie die (sogenannte) kritische Machzahl  $M_{crit}$  näherungsweise aus der Machzahl des Widerstandsanstiegs!
- Berechnen Sie eine Näherung des Wellenwiderstandsbeiwertes!

#### **Aufgabe 2.4** (8 Punkte)

Wir wollen für eine Entwurfsstudie eine einfache Gleichung erstellen, mit der der spezifische Kraftstoffverbrauch (SFC),  $c$  als Funktion des Nebenstromverhältnisses (BPR),  $\lambda$  berechnet werden kann. Der Zusammenhang ist nicht ganz einfach, aber grundsätzlich in der "Tabellenkalkulation zur Berechnung von SFC für Jets (Hermann)" (siehe Vorlesung) enthalten. Für unsere Studie betrachten wir ein Strahlverkehrsflugzeug im Reiseflug in 11 km Höhe, unterwegs mit einer Reiseflugmachzahl von 0,76. Der Startschub der Triebwerke beträgt jeweils 130 kN.

- Variieren Sie das Nebenstromverhältnis über die Werte 4, 6, 8, 10, 12, 14 und berechnen Sie den spezifischen Kraftstoffverbrauch in kg/N/s.
- Skizzieren Sie die Funktion  $c = f(\lambda)$ .
- Durch "hinsehen" erscheint dies eine gute Funktion zur vereinfachten Darstellung des Zusammenhanges als Gleichung:  $c = a(\lambda - 14)^2 + b$  (im betrachteten Intervall von  $\lambda$ ). Bestimmen Sie  $a$  und  $b$  aus einer Ausgleichskurve durch die Werte aus a)! Welche Einheit haben  $a$  und  $b$ ?

#### **Aufgabe 2.5** (10 Punkte)

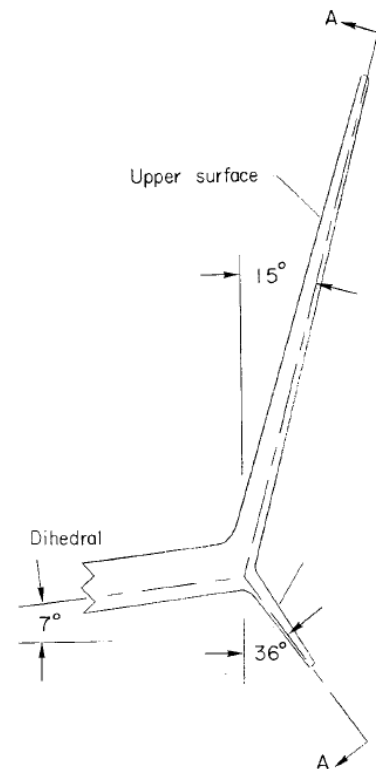
Was ist dran an Winglets? Winglets sehen einfach super aus! Flugzeughersteller berichten euphorisch über die Eigenschaften (Widerstandsreduktion, Kraftstoffreduktion, Reichweitenerhöhung) der Winglets, die im Rahmen der Produktverbesserung an ihre Flugzeuge angebracht wurden. Airlines nutzen Winglets begeistert als Werbefläche. Über fachliche Fakten (Aerodynamik, Flugmechanik, Flugzeugentwurf) erfährt man vergleichsweise wenig. Die Information, die ich sonst oft vermisse habe ich z. B. im Air & Space/Smithsonian Magazine gesehen und wurde von dort auch auf Wikipedia übernommen. Weiterhin muss immer wieder das Paper von Whitcomb (1976) herhalten.

Whitcomb hat Untersuchungen im Windkanal gemacht. In seinem Paper steht dazu: "improvement in lift-drag ratio is more than twice as great as that achieved with the comparable wing-tip extension." "The increase in root bending moment for the tip extension is approximately the same as the increase for the upper and lower winglets"

Weitere Hinweise aus dem Paper:

- **Basisflügel:** Die Spannweite des Flugzeugmodells mit dem Basisflügel beträgt  $b = 2,753$  m.
- **Referenzflügel:** Spannweite/horizontale Vergrößerung des Basisflügels mit  $h_h = 0,076$  m an jeder Flügelspitze.
- **Flügel mit Winglet:** Das Winglet erstreckt sich  $c_t = 0,203$  m nach oben und  $0,23 c_t$  nach unten. Die entscheidene (siehe FE) Gesamthöhe der Endfläche ist also  $h = 1,23 c_t = 0,250$  m. Das obere Winglet ist um  $15^\circ$  nach außen geneigt (siehe Bild) und vergrößert die Spannweite so um  $h_{h,WL} = 0,054$  m.

Quelle: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19760019075.pdf>



Wir gehen von den Vorlesungsunterlagen aus:

- Berechnen Sie die Spannweite  $b_{eff}$  des Referenzflügels!
- Die Streckung und der Oswald-Faktor des Basisflügels sind in absoluten Werten nicht bekannt und nicht von Bedeutung. Aber: Um welchen Faktor steigt der Oswald-Faktor des Referenzflügels gegenüber dem Basisflügel?
- Um welchen Faktor steigt der Oswald-Faktor des Flügels mit Winglet allein dadurch, dass es ebenfalls die Spannweite vergrößert?
- Um welchen Faktor würde der Oswald-Faktor des Flügels mit Winglet steigen, wenn es "nur" um  $h = 0,250$  m senkrecht nach oben zeigen würde (ohne Spannweitenvergrößerung). Nutzen Sie hier zunächst einmal den Wert  $k_{WL} = 3$  für Ihre Rechnung, der sich in der Praxis bewährt hat.
- Multiplizieren Sie die in c) und d) erhaltenen Faktoren!
- Vergleichen und diskutieren Sie c), d) und e) ausführlich gegenüber b) und den Literaturangaben (siehe dazu auch unten)!
  - "Whitcomb showed that winglets ... offered double the improvement in the wing's lift-to-drag ratio, compared with the simple wing extension."
  - "One rule of thumb says that for an increase in wing-bending force equal to that of a one-foot increase in span, a wing's structure can support a three-foot winglet that provides the same gain as a two-foot span extension."

Quelle: <http://www.airspacemag.com/flight-today/how-things-work-winglets-2468375>. "The Air & Space/Smithsonian Magazine is an adjunct of the Smithsonian Institution's National Air and Space Museum. The Museum maintains the world's largest collection of aviation and space artifacts and is guided by distinguished Americans on the National Air and Space Museum Board."

Weiterer Hinweis:  $\frac{E_1}{E_2} = \sqrt{\frac{e_1}{e_2}}$  dies gilt bei  $C_{D0} = C_{Di}$

Quelle: [http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/Airport2030/Airport2030\\_M\\_BoxWing\\_E\\_max\\_12-06-14.pdf](http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/Airport2030/Airport2030_M_BoxWing_E_max_12-06-14.pdf)