

**Flugmechanik (FM) WS 2022/2023**

Datum: 25.01.2023

Prof. Dr.-Ing. Dieter Scholz, MSME

Bearbeitungszeit: 180 Minuten

Name:	Vorname:
Matrikelnummer.:	
Punkte:	von 100 Punkten. Note:

**1. Klausurteil**

(keine Hilfsmittel - 60 Minuten - 52 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. Abhebegeschwindigkeit
2. Äquivalentgeschwindigkeit
3. Böe
4. dynamische Stabilität der Längsbewegung
5. Fortschrittsgrad
6. Horizontalflug
7. Kolben
8. Lastvielfaches
9. Leitwerksvolumenbeiwert
10. Nullwiderstand
11. Schallgeschwindigkeit
12. Sicherheitsstartstrecke

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

1. aerodynamic center
2. anhedral
3. aspect ratio
4. buffet onset boundary
5. ceiling
6. clearway
7. density height
8. L over D
9. landing distance
10. lift-to-drag ratio
11. taper
12. wave drag

- 1.3) Wie lautet die Faustformel zur Umrechnung von ft/min in m/s?
- 1.4) Der Kompass im Heck eines Schiffes aus Stahl ist nicht kompensiert. Das Schiff fährt nach Osten. Welchen Kurs zeigt der Kompass? *Grobe Angabe!*
- 1.5) Schreiben Sie die "Kette der Geschwindigkeiten" (5 Bestandteile) auf "vom falschen Wert zum wahren Wert". Schreiben Sie dabei die im Flugbetrieb üblichen Abkürzungen auf!
- 1.6) Die drei Ruder am Flugzeug sind mit positivem Winkel  $\delta_e$ ,  $\delta_r$ ,  $\delta_a$  ausgeschlagen. Beschreiben Sie die Lage von Höhenruder, Seitenruder und vom rechten Querruder! *Definition, wie in der Vorlesung!*
- 1.7) Wie hängen Nicklagewinkel, Bahnwinkel und Anstellwinkel zusammen? *Schreiben Sie die Formel auf!*
- 1.8) Wie nennt man beim Kraftfahrzeug oder beim Zug, was beim Flugzeug induzierter Widerstand genannt wird? Welchen Wert hat der induzierter Widerstand eines Luftschiffes? Welcher induzierte Widerstand fällt an beim Transport von Öl in einer Pipeline?
- 1.9) Ein Flugzeug hat eine Gleitzahl von 20. In welcher Höhe ist der Widerstand minimal?
- 1.10) Welchen Wert hat der spezifische Kraftstoffverbrauch (TSFC) eines typischen Turbofantriebwerks? Welchen Wert hat der spezifische Kraftstoffverbrauch (PSFC) eines Turboproptriebwerks?
- 1.11) Nennen Sie die Gleichung für die Reichweite eines Flugzeugs, das durch eine Batterie versorgt wird! *(Notfalls schnell herleiten!)*
- 1.12) Welche spezifische Energie (Wh/kg) kann heute im Flugzeugentwurf für eine Batterie angenommen werden?
- 1.13) Wie kann man die spezifische Reichweite (Specific Air Range, SAR) in jedem Moment während eines Fluges mit den Parametern aus dem Cockpit errechnen?
- 1.14) Was versteht man bei Start und Landung unter Hindernishöhe (screen height) und Transitionshöhe (transition height)?
- 1.15) Wie wird die Sicherheitslandstrecke aus der Landestrecke berechnet beim Jet und Prop?
- 1.16) Was ist die Schüttelgrenze (buffet onset boundary)?
- 1.17) Am Höhenleitwerk eines Airbus A320 fällt auf, dass die Oberseite recht flach ist, während die Unterseite eine deutliche Wölbung nach außen zeigt. Warum mag das so sein?
- 1.18) Wie kann ein Nurflügler gebaut werden, sodass statische Längsstabilität erreicht wird? *(3 Vorschläge!)*
- 1.19) Sie sollen eine neue Version eines Passagierflugzeuges bauen, mit deutlich verkürztem Rumpf. Was ist hinsichtlich der Leitwerksgröße zu beachten?
- 1.20) Wir haben heute 20000 Passagierflugzeuge im Bestand. In den nächsten 20 Jahren kommen 40000 hinzu, die 20 % weniger verbrauchen. Von den neuen 40000 Flugzeugen sind 50 % Ersatz für die derzeitigen Flugzeuge und 50 % für das Luftverkehrswachstum. Um wie viel Prozent ist der CO<sub>2</sub>-Ausstoß gestiegen (oder gesunken) nach Ablauf dieser 20 Jahre?

### Fragen zum Labor

- 1.21) Wie kann man den Fahrtmesser im Flugversuch kalibrieren, wenn am Boden zwei parallele Geländelinien vorhanden sind?
- 1.22) Im Flug wird am Steuerhorn eine Handkraft gemessen (ziehen am Steuerhorn über eine Federwaage). Wie kann diese Kraft in das Moment an Höhenruder umgerechnet werden?

- 1.23) Im Flugversuch wird der Gleitwinkel bestimmt. Wie kann daraus die Gleitzahl und der Widerstandsbeiwert ermittelt werden?
- 1.24) Was versteht man unter "Schiebeflug"?
- 1.25) Was ist die Phygoide? Nach wie viel Perioden ist diese Schwingung in etwa ausgeklungen?
- 1.26) Was ist Dutch Roll? Nach wie viel Perioden ist diese Schwingung in etwa ausgeklungen?
- 1.27) Wie wird im Flugversuch geflogen, um ein Lastvielfaches von Null zu erzielen?
- 1.28) Wie wird im Flugversuch geflogen, um ein Lastvielfaches von 2g konstant für etwas längere Zeit zu erzielen?
- 1.29) Was bewirkt das: ADIRS: SET NAV; MCDU: INIT; MCDU: PRESS ALIGN IRS?
- 1.30) Welche Schlüssel sind erforderlich, um ein großes Passagierflugzeug zu starten?

### **Fragen zur Vortragsreihe**

- 1.31) Was ist Klareis (glaze ice) im Unterschied zu Rauheis (rime ice)?
- 1.32) Was ist unterkühltes Wasser (supercooled water)?
- 1.33) Welchen Durchmesser haben Supercooled Large Droplets?
- 1.34) Welche Teile am Flugzeug sind hinsichtlich der Vereisung gefährdet?
- 1.35) Wie funktionieren pneumatische Enteisierungsmatter (pneumatic deicing boots)?
- 1.36) Welchen Beitrag können Flugtaxis auf dem Weg zu einer klimafreundlicheren Luftfahrt leisten? *Begründen Sie Ihre Antwort!*
- 1.37) Angenommen im Jahr 2025 wird von Airbus ein Wasserstoffflugzeug als Ersatz der A320 angeboten. Welchen Effekt hätte das auf das CO<sub>2</sub>-freie Fliegen im Jahr 2050? Gehen Sie in Ihrer Antwort auf die Erneuerung der Weltflotte der Passagierflugzeuge ein!
- 1.38) Welchen Vorteil haben PtL-Treibstoffe gegenüber Biokraftstoffen?
- 1.39) Wie viel Prozent des "grünen Stroms", der in Deutschland derzeit produziert wird, müsste man einsetzen, um theoretisch den gesamten deutschen Luftverkehr mit PtL zu versorgen?
- 1.40) Der Bundesverband der Deutschen Luftverkehrswirtschaft (BDL) bewirbt das "3-Liter-Flugzeug". Wie ist die Umweltwirkung so eines "3-Liter-Flugzeugs" im Vergleich zum Auto?
- 1.41) Sie recherchieren hinsichtlich eines Pauschalurlaubs in die Dominikanische Republik. Sie finden heraus, dass das preislich durchaus interessant ist im Vergleich mit einem Urlaub in Deutschland – trotz des langen Fluges. Woran mag das liegen?
- 1.42) Welchen Anteil haben die Kondensstreifen und Kondensstreifenzirren an der Erderwärmung durch Flugzeuge (bezogen auf den Strahlungsantrieb, radiative forcing)?
- 1.43) Was sind *ice supersaturated regions*, ISSR?
- 1.44) Durch welchen Ansatz will die Flugsicherung wärmende Kondensstreifen vermeiden?
- 1.45) Was ist das Ziel der Gruppe "Letzte Generation"?
- 1.46) Mit welchen konkreten Forderungen wurden die Flughafenblockaden verknüpft?
- 1.47) Die "Letzte Generation" verweist auf den "Bürgerrat Klima". Welche Forderungen sind in dessen Bürgergutachten hinsichtlich der Luftfahrt aufgenommen? (3 Forderungen!)
- 1.48) Was besagt Artikel 20a des Grundgesetzes?

**2. Klausurteil** (mit Hilfsmitteln - 120 Minuten - 48 Punkte)

Name: \_\_\_\_\_

**Aufgabe 2.1** (8 Punkte)

Es haben sich drei kleine Aufgaben zur Atmosphäre angesammelt!

- Die Temperatur beträgt in Meereshöhe 35 °C. Der Bezugsdruck im Höhenmesser wird mit dem Einstellknopf von 1013 hPa auf 1023 hPa verstellt. Um welche Höhe (in ft) ändert sich dabei die Anzeige am Höhenmesser (ausgedrückt durch die Zeigerstellung)? *Bitte auch die Richtung der Änderung angeben!*
- In einer Druckkabine beträgt die Temperatur 25 °C. Die Kabinenhöhe wird mit 8000 ft angegeben. Welcher Druck liegt vor? Berechnen Sie die Dichte der Luft! Berechnen Sie die Dichtehöhe!
- Die Temperatur beträgt in Meereshöhe 0 °C. QNH: 1013 hPa. Eine Bergspitze (gemäß Karte 10000 ft) befindet sich genau in Höhe des Flugzeugs. Im kleinen Fenster des Höhenmessers ist 1013 hPa eingestellt. Welche Höhe zeigt der Höhenmesser an?

**Aufgabe 2.2** (6 Punkte)

Im Fenster des Höhenmessers ist 1013 hPa eingestellt. Es werden 40000 ft abgelesen. Der gut kalibrierte Fahrtmesser zeigt 240 kt.

- Ermitteln Sie den Wert der Kompressibilitätskorrektur  $\Delta V_C$ . Berechnen Sie die wahre Geschwindigkeit!
- Berechnen Sie aus der wahren Geschwindigkeit nach a) die Machzahl!
- Lesen Sie die Machzahl aus dem Diagramm "Compressibility correction" direkt ab! Gibt es Abweichungen? Wenn ja, welcher Betrag?

**Aufgabe 2.3** (6 Punkte)Ein Passagierflugzeug wendet vier "Tricks" an, um von der hohen Reiseflugmachzahl,  $M_{CR} = 0,82$  auf eine "erträglich" langsame Anfluggeschwindigkeit,  $V_A$  zu kommen:

- Im Reiseflug wird mit dem Auftriebsbeiwert für minimalen Widerstand geflogen ( $C_{L,md} = 0,6$ ). Im Anflug wird jedoch ein höherer Auftriebsbeiwert genutzt, weil mit  $V_A = 1,3 V_S$  geflogen wird. Wir nehmen an, dass ohne Hochauftriebssysteme  $C_{L,max, clean} = 1,2$  möglich ist.
  - Das Hochauftriebssystem erhöht den maximalen Auftriebsbeiwert um  $\Delta C_{L,max} = 2,0$ .
  - Der Reiseflug findet nicht in Meereshöhe statt, sondern in 38000 ft.
  - Die Masse des Flugzeugs ist bei der Landung geringer als im Reiseflug. Das bleibt hier jedoch unberücksichtigt.
- Berechnen Sie die Reisefluggeschwindigkeit in 38000 ft in kt!  
Berechnen Sie die Anfluggeschwindigkeit in Meereshöhe in kt!
  - Welche praktischen Gegebenheiten am Boden begrenzen die Anfluggeschwindigkeit? Warum fliegen Passagierflugzeuge also so hoch?

**Aufgabe 2.4** (9 Punkte)

Die Vorlesung hat aufgezeigt, wie eine Polare in der Form

$$C_D = C_{D0} + \Delta C_{DW} + \frac{C_L^2}{\pi A e}$$

aus den Geometrieparametern eines Flugzeugs berechnet werden kann. Hier wird nur mit Einzelaufgaben auf Teilaspekte der Rechnung eingegangen. Das nicht weiter bestimmte (generische) Flugzeug hat einen Pfeilwinkel des Flügels von  $30^\circ$ . Die Reiseflugmachzahl (Auslegungsmachzahl) beträgt 0,82. Dies ist auch die Machzahl des Widerstandsanstiegs.

- Wie lautet die einfachste Gleichung zur Berechnung von  $C_{D0}$ ?
- Berechnen Sie die kritische Machzahl für das Flugzeug.
- Berechnen Sie mit b) den Wellenwiderstandsbeiwert für eine Machzahl von 0,85!
- $k_{e,M}$  dominiert den Wert des Oswald-Faktors,  $e$  bei hohen Machzahlen. Berechnen Sie  $k_{e,M}$  für eine Machzahl von 0,85! *Hinweis: Die Rechnung geht über  $M_0$ ,  $a_e$ ,  $k_{e,M}$ .*

**Aufgabe 2.5** (6 Punkte)

Ein viersitziges Propellerflugzeug hat eine Wellenleistung in Meereshöhe von 150 kW und kann im Reiseflug nur mit 75 % davon kontinuierlich belastet werden. Der Propellerwirkungsgrad beträgt im Reiseflug 0,8. Die Geschwindigkeitspolare hat die bekannte Form  $D = A V^2 + B V^{-2}$ . Dabei ist  $A = 0,3 \text{ N s}^2/\text{m}^2$  und  $B = 800000 \text{ Nm}^2/\text{s}^2$ . Berechnen Sie die Höchstgeschwindigkeit des Flugzeugs in kt a) mit Näherungslösung, b) mit einer exakten Lösung.

**Aufgabe 2.6** (3 Punkte)

Für einen Jet wurde die absolute Gipfelhöhe abgeschätzt: 40000 ft. Der Jet hat in Meereshöhe eine Steiggeschwindigkeit von 5000 ft/min. Wie lange dauert es etwa, bis von dort die Dienstgipfelhöhe erreicht ist? *Hinweis: Schreiben Sie nicht "8 Minuten" als Antwort. Das ist falsch!*

**Aufgabe 2.7** (3 Punkte)

Gegeben ist das Nutzlast-Reichweitendiagramm einer Embraer 190 (Anhang). Berechnen Sie aus dem Diagramm den Kraftstoffverbrauch bei *max. cruise speed* bezogen auf 100 km und bezogen auf die 108 Passagiere.

**Aufgabe 2.8** (a: 2 Punkte, b: 5 Punkte, *nicht ganz leicht*)

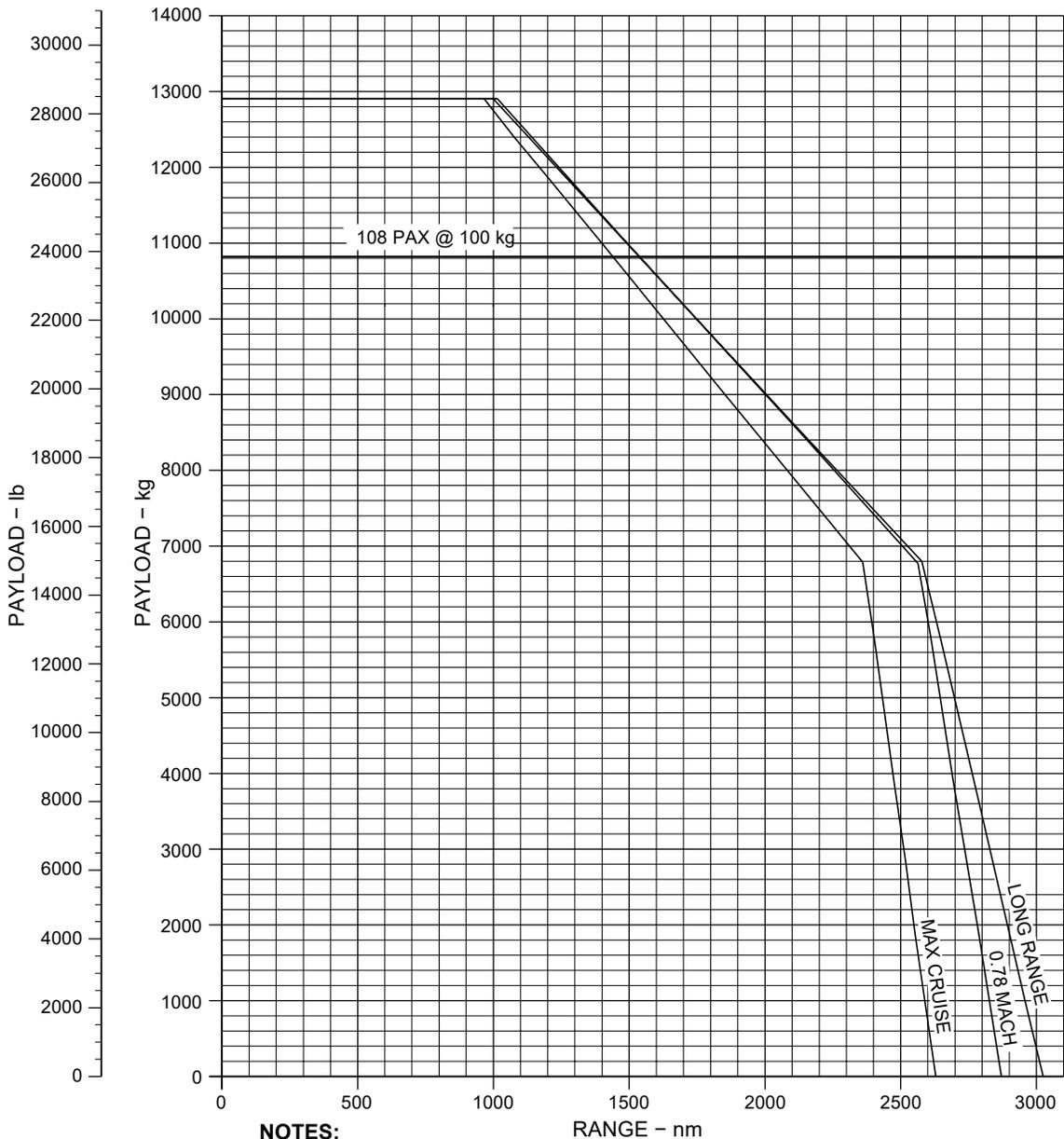
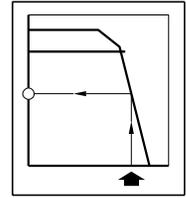
Ein kleines Propellerflugzeug (C172) wird nach CS-23 zugelassen für ein maximales positives Lastvielfaches von 3,8. Die Überziehgeschwindigkeit (Äquivalentgeschwindigkeit) beträgt 51 kt. Flug in Meereshöhe,  $U_E = 12,24 \text{ m/s}$ ,  $C_{L\alpha} = 2\pi$ ,  $m = 1089 \text{ kg}$ ,  $S = 16,2 \text{ m}^2$ .

- Berechnen Sie die Geschwindigkeit  $V_A$  (Manövergeschwindigkeit, maneuvering speed) aus dem Manöverlastdiagramm (in kt)!
- Berechnen Sie die Geschwindigkeit  $V_B$  (Böengeschwindigkeit, design speed for maximum gust intensity) aus dem Böenlastdiagramm (in kt)!



**EFFECTIVITY: EMBRAER 190 STD ACFT MODEL**  
 Payload x Range - ISA Conditions  
 Figure 3.1

**PAYLOAD VS RANGE**  
 CF34 -10E5A, -10E5A1, -10E6A, -10E6A1 & -10E7 ENGINES  
 FLIGHT LEVEL 370  
 ISA  
 RESERVE : 100 nm ALTERNATE + 45 min FLIGHT  
 MTOW = 47790 kg (105359 lb)



**NOTES:**  
 MAX TAKEOFF WEIGHT - - - - - 47790 kg (105359 lb)  
 MAX ZERO FUEL WEIGHT - - - - - 40800 kg (89948 lb)  
 BASIC OPERATING WEIGHT - - - - - 27900 kg (61509 lb)  
 MAX USABLE FUEL - - - - - 13100 kg (28880 lb)

EM170APM030030E.DGN