



## Lösung zur Klausur

### Flugmechanik mit Labor (FML) WS 12/13

Datum: 25.01.2013

#### 1. Klausurteil

(keine Hilfsmittel - 80 Minuten - 36 Punkte)

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

- |                              |                |
|------------------------------|----------------|
| 1. vorraussetzen             | to assume      |
| 2. V-Winkel                  | dihedral angle |
| 3. wahre Fluggeschwindigkeit | true airspeed  |
| 4. Wellenleistung            | shaft power    |
| 5. Wellenwiderstand          | wave drag      |
| 6. Wendezeiger               | turn indicator |
| 7. Widerstand                | drag           |
| 8. Widerstandsleistung       | drag power     |
| 9. Wirkungsgrad              | efficiency     |
| 10. Wölbung                  | camber         |
| 11. zunehmen                 | to increase    |
| 12. Zuspitzung               | taper          |

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

1. acceleration	Beschleunigung
2. advance ratio	Fortschrittsgrad
3. aerodynamic center	Neutralpunkt (des Profil)
4. aileron	Querruder
5. aircraft performance	Flugleistung
6. altitude	Höhe (über dem Meer)
7. ambient temperature	Umgebungstemperatur
8. angle of attack	Anstellwinkel
9. anhedral	negative V-Form
10. approach speed	Anfluggeschwindigkeit
11. artificial horizon	künstlicher Horizont
12. aspect ratio	Streckung

1.3) Um wie viel °C sinkt die Temperatur je 1000 ft Höhenzunahme (runder Wert)?

Die Temperatur sinkt um etwa 2°C je 1000 ft Höhenzunahme.

1.4) Welche Temperatur erwarten Sie an einem Flugplatz in 7500 ft Höhe unter Bedingungen der Standardatmosphäre?

$$T = 15^{\circ}\text{C} - 7.5 \cdot 2^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{C}$$

1.5) An einem Flugplatz in 7500 ft Höhe beträgt die Temperatur 0 °C. Das QNH ist 1013 hPa. Berechnen Sie die Druckhöhe, die Dichtehöhe und das Flight Level (FL)!

Druckhöhe: 7500 ft

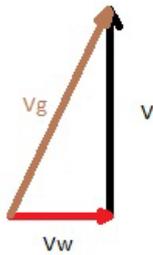
Dichtehöhe: 7500 ft

FL: 75

1.6) Ein Flugzeug fliegt 120 kt (TAS) und Kurs Nord (oder 0°). Der Wind kommt mit 50 kt aus West (oder 270°). Berechnen Sie die Geschwindigkeit über Grund. Das geht auch ohne Taschenrechner: Schriftlich oder zeichnerisch.

$$v_G = \sqrt{v^2 + v_w^2} = \sqrt{120^2 + 50^2} \text{ kt} = 130 \text{ kt}$$

Auch zeichnerisch lösbar, indem man die Geschwindigkeiten maßstäblich als Vektoren zeichnet:



- 1.7) Ökoeffizienz! Auto, Eisenbahn, Flugzeug: Was ist besser? Erstellen Sie ein Ranking aus einfachsten Überlegungen!
- Ein Landfahrzeug wird durch Straße oder Schiene vor dem absoluten Einsinken in die Erde bewahrt. Das ist nicht für umsonst zu haben – es kostet Rollwiderstand  $D_r$ .
  - Ein Flugzeug wird durch den Auftrieb in der Luft gehalten. Dies ist auch nicht für umsonst zu haben – es kostet induzierten Widerstand  $D_i$ .

Es stellt sich jetzt die Frage ob ein Landfahrzeug effizienter durch die Straße/Schiene gehalten wird oder ein Luftfahrzeug durch die Luft.

Mit dem induzierten Widerstand sind Sie vertraut. Der Rollwiderstand  $D_r$  kann vereinfacht durch einen Rollwiderstandskoeffizient  $c_r$  beschrieben werden.  $N$  ist die Normalkraft, die der Gewichtskraft  $m g$  entgegen wirkt und von unten auf das Rad drückt, um das Landfahrzeug vor dem absoluten Einsinken in die Erde zu bewahren.

$$D_r = c_r N \quad N = m g \quad D_r = c_r m g$$

Rad-Boden-Kombination	Rollwiderstandskoeffizient $c_r$
Eisenbahnrad, Schiene	0,001
PKW-Reifen, Asphalt	0,008
PKW-Reifen, Kopfsteinpflaster	0,025
PKW-Reifen, Erd- oder Sandweg	0,050

a) Wie ist die Gleitzahl definiert?

$$E = \frac{L}{D}$$

b) Bei welchem Widerstand ist die Gleitzahl maximal?

Die Gleitzahl ist maximal, wenn der Widerstand minimal ist.

- c) In welcher Beziehung stehen Nullwiderstand  $D_0$  und induzierter Widerstand  $D_i$  bei maximaler Gleitzahl  $E_{max}$ ?

$$D_0 = D_i$$

- d) In welcher Beziehung stehen Auftrieb und Gewicht im Reiseflug?

Im Reiseflug stehen Auftrieb und Gewicht im Gleichgewicht:  $L = m \cdot g$

- e) In welchem Zusammenhang stehen  $c_r$  und  $E_{max}$ ?

$$E_{max} = \frac{L}{D} = \frac{L}{D_0 + D_i}$$

mit

$$D_0 = D_i$$

$$D_i = D_r$$

$$L = N$$

folgt:

$$E_{max} = \frac{N}{2 \cdot D_i} = \frac{N}{2 \cdot D_r} = \frac{1}{2 \cdot c_r}$$

- f) Berechnen Sie die „äquivalente maximale Gleitzahl“ für das Eisenbahnrad auf der Schiene!

$$E_{max} = \frac{1}{2 \cdot c_r} = \frac{1}{2 \cdot 0,001} = 500$$

- g) Berechnen Sie die „äquivalente maximale Gleitzahl“ für den PKW-Reifen auf Asphalt!

$$E_{max} = \frac{1}{2 \cdot c_r} = \frac{1}{2 \cdot 0,008} = 62,5$$

- h) Welche Gleitzahl hat ein modernes Passagierflugzeug?

ca. 18

i) Berechnen Sie den „äquivalenten Rollwiderstandskoeffizient“ einer Cessna 172 ( $E_{max}=10$ )!

$$c_r = \frac{1}{2 \cdot E_{max}} = \frac{1}{2 \cdot 10} = 0,05$$

j) Erstellen ein Ranking der Verkehrsträger nach diesen einfachen Überlegungen!

1. Eisenbahn/Schiene ( $E_{max} = 500$ )
2. Auto/Asphalt ( $E_{max} = 62,5$ )
3. Passagierflugzeug ( $E_{max} = 18$ )

k) Welche Kritik könnte dieser einfachen Methode entgegengebracht werden?

Verschiedene Begründungen sind möglich - z.B.:

Für das Zurücklegen einer Wegstrecke mit Auto/Zug müssen Straßen/Schienen gebaut werden. Ohne diese würde das ein Auto auf einem Erd- bzw. Sandweg fahren und hätte bei einem Rollwiderstandskoeffizienten von 0,05 eine äquivalente maximale Gleitzahl von 10. Diese Gleitzahl wäre also genauso „schlecht“ wie bei der Cessna 172.

Die Eisenbahn hat zwar eine hohe Gleitzahl, aber ist dafür (pro Passagier) auch sehr schwer. Maßgeblich ist der Widerstand  $D = mg / E_{max}$ . Eine Bewertung darf daher nicht an der Gleitzahl enden.

1.8) Was versteht man beim Propeller unter „disk loading“?

Tafelbild 4-10: 
$$L = \frac{P_{TO}}{\sigma \cdot \rho_0 \cdot S_D}$$

Disk loading ist ein Maß für die Flächenbelastung der Propellerkreisfläche (Verhältnis von Triebwerksleistung zum Produkt aus Propellerkreisfläche und Dichte).

1.9) Sie fliegen mit einer Piper PA28 über Wasser – Motorausfall, aber da vorn ist der rettende Strand. Mit welcher Geschwindigkeit fliegen Sie:  $V_{mp}$ ,  $V_s$ ,  $V_{md}$ ,  $1,3 \cdot V_s$ ,  $1,2 \cdot V_s$  oder  $3^{1/4} \cdot V_{md}$  ?

Um möglichst weit zu kommen, fliegt man bei maximaler Gleitzahl und damit bei  $V_{md}$ .

1.10) Sie fliegen mit der Geschwindigkeit für maximale Reichweite. Wie viel Prozent der maximalen Gleitzahl erreichen Sie dabei?

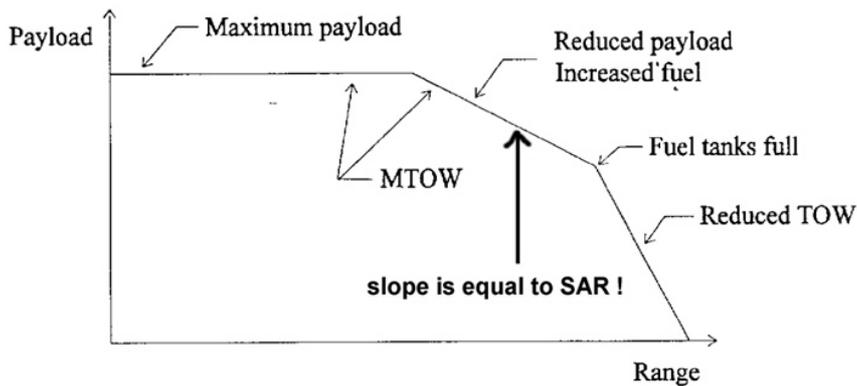
Beim Turbofan:  $V_{opt} = 3^{1/4} \cdot V_{md} \rightarrow$  Gleitzahl ca. 86.6% der max. Gleitzahl  
 Beim Turboprop:  $V_{opt} = V_{md} \rightarrow$  Flug bei maximaler Gleitzahl (100%)

## 1.11) Was ist die spezifische Reichweite (specific air range)?

Die spezifische Reichweite, ist ein Maß dafür, wie weit ein Flugzeug pro Treibstoffeinheit fliegen kann.

## 1.12) Wo im Nutzlast-Reichweitendiagramm kann man die spezifische Reichweite ablesen?

Die spezifische Reichweite entspricht der Steigung der Payload-Range-Kurve im Segment „Reduced payload, Increased fuel“ (siehe Abbildung):



## 1.13) Was versteht man unter Stabilitätsreserve (static margin)?

Abstand zwischen Schwerpunkt und Neutralpunkt.

## 1.14) Nennen Sie jeweils einen Vorteil, Nachteil und „Show Stopper“ eines Blended Wing Body!

Vorteil:

z.B.: hohe Gleitzahl

Nachteil:

z.B.: komplizierte Bodenabfertigung

Show Stopper:

z.B.: Notwasserung - normale Türen liegen unterhalb der Wasseroberfläche

**Fragen zum Vorlesungsteil "Flugbetrieb"**

## 1.15) Begründen Sie mit der Breguet'schen Reichweitengleichung, warum ein mit steigender Flugdauer immer größerer Teil mitgenommenen Zusatzkraftstoffs (extra fuel) am Zielort nicht mehr zur Verfügung steht.

Löst man die Breguet'schen Reichweitengleichung nach dem Verhältnis von Anfangsmasse zu Endmasse auf, sieht man, dass dieses Verhältnis mit zunehmender Reichweite überproportional steigt. D.h. eine höhere Reichweite führt zu einem überproportionalen Anstieg des benötigten Kraftstoffes. Der Zusatzkraftstoff muss zum Zielflugplatz getragen werden. Dafür ist wiederum Kraftstoff erforderlich. D.h. je höher die Flugdauer, desto höher der Teil des Zusatzkraftstoffes, der nur dazu benötigt wird, um den restlichen Zusatzkraftstoff zum Zielort zu tragen.

**Fragen zur Vortragsreihe**

1.16) Zu welcher Erkenntnis kam Hugo Junkers beim Vergleich von Doppeldecker und freitragendem einfachem dicken Flügel?

Der Doppeldecker hat durch die notwendigen Spanndrähte und Streben einen höheren Widerstand als ein dicker, freitragender Flügel gleicher Fläche.

1.17) Es ist durch viele Beispiele und Vorfälle bekannt, dass Triebwerksöldämpfe, die in das Cockpit und die Kabine gelangt sind, Langzeitgesundheitsschäden bei Besatzungsmitgliedern ausgelöst haben. Welches sind darüber hinaus die Flugsicherheitsrisiken (flight safety implications)?

Es muss unterschieden werden zwischen

- 1) Langzeitgesundheitsschäden durch sehr geringe, aber eben doch bedenkliche TCP Mengen,
- 2) größeren Mengen an Triebwerksöldämpfen und damit TCP, die kurzzeitig im Cockpit und in der Kabine vorhanden sind.

In dieser Frage geht es um 2).

Wenn es also im Fehlerfall im Triebwerk zur Freisetzung etwas größerer Mengen Öl kommt, so wird das möglicherweise von den Piloten erst dann bemerkt, wenn ihre Konzentrationsfähigkeit bereits beeinträchtigt ist. Öldämpfe sind zwar am „Geruch alter Socken“ zu erkennen, aber dieser Geruch kann von den Piloten nicht eindeutig auf das Öl zurück geführt werden. Es wäre ja auch möglich, dass die Gerüche tatsächlich aus Schuhen oder der Küche kommen. Wenn die Konzentrationsfähigkeit bereits vermindert ist, dann kann Sauerstoff aus dem Sauerstoffsystem im Cockpit den Piloten auch nur noch bedingt helfen<sup>1</sup>. Bei einer stark verminderten Konzentrationsfähigkeit der Piloten wäre eine sichere Landung dann nicht mehr garantiert, und es könnte zum Totalverlust des Flugzeugs kommen. Viele moderne Passagierflugzeuge besitzen zwar die Fähigkeit zur automatischen Landung, die Piloten sind aber bisher als unersetzlicher Bestandteil für die gesamte Flugdurchführung weiterhin erforderlich. Es sind daher auch Fälle bekannt, bei denen nicht mehr viel bis zum Verlust des Flugzeugs gefehlt hat und das Pilotenversagen auf Triebwerksöldämpfe zurück geführt werden konnte (Malmö 1999).

1.18) Welche Lösungsvorschläge gibt es für das Problem der teilweise auftretenden Öldämpfe im Cockpit und in der Kabine?

- 1) Beim heutigen Prinzip der Klimaanlage kann ein Kontakt zwischen Triebwerksöl und Passagieren bzw. Crew generell nicht ausgeschlossen werden. Das Problem könnte dann nur durch den totalen Verzicht gesundheitsschädlicher Additive im Triebwerksöl gelöst werden. (FLIGHT 26.04.12: Der französische Hersteller von Triebwerksöl, Nyco, hat bekannt gegeben, ein neues weniger gefährliches Triebwerksöl entwickelt zu haben, welches gleich gute Verschleißigenschaften für das Triebwerk aufweist.)

---

<sup>1</sup> Die Passagiere wären der Situation völlig hilflos ausgeliefert. Die Menge des Passagiersauerstoffs ist für einen Notabstieg dimensioniert und reicht für eine derartige Situation nicht aus.

- 2) Die Luft gelangt heute ungefiltert in das Flugzeug. Der Einsatz von Filtern ist technisch möglich (Pall Photocatalytic Regenerable Adsorption - PCRA - system).
- 3) Beim Auftreten von Öldämpfen im Cockpit müssten die Piloten gewarnt werden. Der Einsatz von Sensoren könnte aber auch zu Fehlalarm führen. Heute ist die Nase des Piloten gefordert. Bei einer Fehlentscheidung (unnötige Notlandung) kann heute der Pilot verantwortlich gemacht werden. Bei einem Sensor läge die Verantwortung bei der Technik. Daher wird ein Flugzeughersteller oder eine Fluggesellschaft den Einsatz von Sensoren kritisch überprüfen.
- 4) Das Prinzip der Klimaanlage könnte so geändert werden, dass die Luftversorgung nicht mehr über das Triebwerk erfolgt. Die Frischluft von außen würde dann durch separate Verdichter bereit gestellt werden. Bei der Auslegung der Lager dieser Verdichter muss natürlich auch darauf geachtet werden, dass es nicht zur Verunreinigung der Luft kommt.

1.19) Ein Reisender aus Hamburg möchte einen Geschäftstermin in Passau auf einer Eintagesdienstreise wahrnehmen. Welcher Vorteil bietet sich durch die Wahl eines Geschäftsreiseflugzeugs gegenüber einem größeren Flugzeug, welches typischerweise von einer Airline auf innerdeutschen Strecken eingesetzt wird?

Persönliche Definition der Abflugzeiten.  
Keine Warteschlangen und schnelleres Boarding.  
Lärmfreie, luxuriöse Kabine.  
Zeitersparnis gegenüber Flug mit Airline.

1.20) Nennen Sie mindestens jeweils einen Vor- und Nachteile dieser Flugzeugkonfigurationen:

Es gibt viele Antwortmöglichkeiten. Hier werden beispielhaft die Punkte aus dem Vortrag genannt.

a) Anordnung der Jettriebwerke über dem Flügel.

Vorteil:

- Bessere Lärmabschirmung
- Höhere Bodenfreiheit, sodass das Fahrwerk möglicherweise kürzer ausgeführt werden kann, was zu Gewichtersparnis führt.

Nachteil:

Aerodynamisch schlecht:

- drastische Verschlechterung der Tragflügel-Leistung
- gestörte Triebwerkeinlaufströmung

b) Flugzeug mit vorwärts gepfeiltem Flügel.

Vorteil:

- Günstigere Lastverteilung in Spannweitenrichtung
- Verbessertes Grenzschichtverhalten im Bereich der Flügelspitze
- Höhere Machzahl des Widerstandsanstiegs
- Größeres Potential für Laminarhaltung

Nachteil:

- Gefahr der statischen Divergenz der Flügelspitze
- Flügelwurzelbereich wird kritisch im Off-Design
- Fahrwerk kann nicht im Flügel gestaut werden

## c) Entenflugzeug.

Vorteil:

- Enten-Leitwerk liefert Auftrieb bei Start und Landung

Nachteil:

- Großes Rollmoment bei Schiebeflug
- Leitwerk benötigt Hochauftriebs-System weil hoher Maximal-Auftrieb gefordert
- Leitwerk besitzt große Streckung weil hoher Auftriebsgradient gefordert
- Begrenzt nutzbarer Schwerpunktbereich

**2. Klausurteil** (mit Hilfsmitteln - 100 Minuten - 39 Punkte)**Aufgabe 2.1** (16 Punkte)

Ein Flugplatz befindet sich auf 7600 ft. Die Temperatur beträgt 20 °C (Sommer). QNH: 993 hPa (Tief).

- Welche Temperatur erwarten Sie nach der Standardatmosphäre (ISA) in Flugplatzhöhe?  
Um welchen Betrag weicht die Temperatur am Platz (bzw. in Meereshöhe) von der Standardtemperatur ab?
- Welchen Druck erwarten Sie nach der Standardatmosphäre (ISA) in Flugplatzhöhe?  
Um welchen Betrag weicht der Druck in Meereshöhe vom Standarddruck in Meereshöhe ab?  
Welcher Druck herrscht am Platz?
- Welche Druckhöhe haben wir am Platz?
- Auf dem Platz steht eine A340 mit offenen Türen.  
Welche Kabinenhöhe haben wir im Flugzeug?
- Welche Luftdichte haben wir am Platz?
- Zur Berechnung der Startstrecke (Motorleistung) verlangt das Flughandbuch die Dichtehöhe.  
Welche Dichtehöhe haben wir am Platz?
- Auf welchem Flight Level (FL) liegt der Platz?

a)

T0	288.15	K
L	1.98E-03	K/ft
H	7600	ft
T_ISA = T0-L*H	273.09	K
T	293.15	K
DT = T-T_ISA	20.06	K

b)

p0	1013.15	hPa
Dp = QNH-p0	-20	hPa <<< Abweichung zum Standarddruck
ep	5.25588	
$p = p0 * (1 - L / (T0 + DT) * H)^{ep} + Dp$	758.65	hPa
p	75865	Pa <<< Druck am Platz
p	764.13	<<< Druck erwartet nach ISA

c)

ka	6.88E-06	1/ft
Hp	7789	ft

d)

Kabinenhöhe entspricht Druckhöhe am Platz (7789 ft)

e)

R	287.053	J/kg/K
$\rho = p/R/T$	0.9016	kg/m <sup>3</sup>

f)

$\rho_0$	1.225	kg/m <sup>3</sup>
$e_{\rho} = ep - 1$	4.25588	
$H_{\rho} = 1/ka * (1 - (\rho/\rho_0)^{1/e_{\rho}})$	10109	ft

g)

FL = Hp/100	78
-------------	----

**Aufgabe 2.2** (4 Punkte)

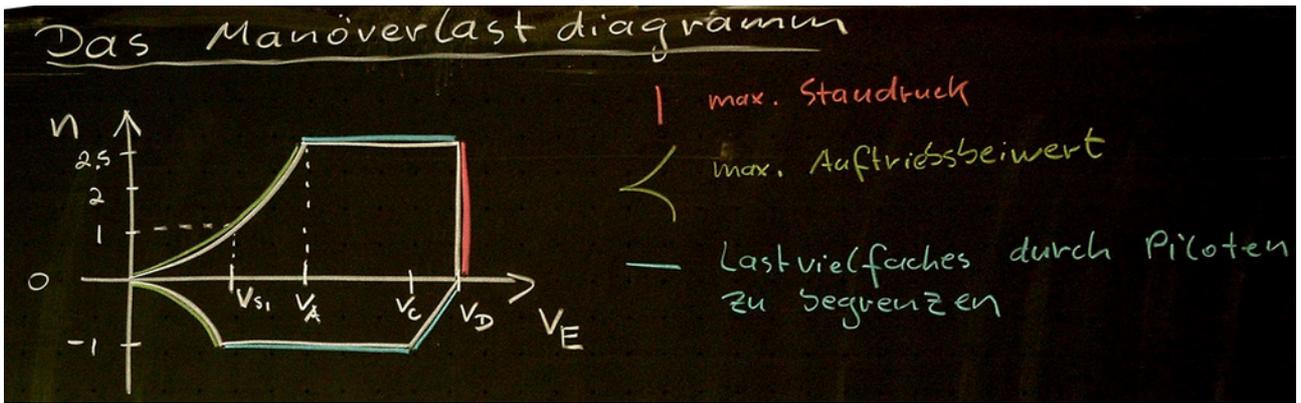
Es geht um Lasten am Flugzeug. Was ist  $V_A$  und was ist  $V_B$ ? Wie ergeben sich diese Geschwindigkeiten im Manöver- bzw. im Böendiagramm? Erklären Sie!

$V_A$  ist die Manövergeschwindigkeit.

$V_A$  ergibt sich aus dem Manöverlastdiagramm als Schnittpunkt der Begrenzungslinien für maximalen Auftriebsbeiwert und maximal zulässiges Lastvielfaches.

$$v_A = \sqrt{n_{\max}} \cdot v_{S_1} \quad .$$

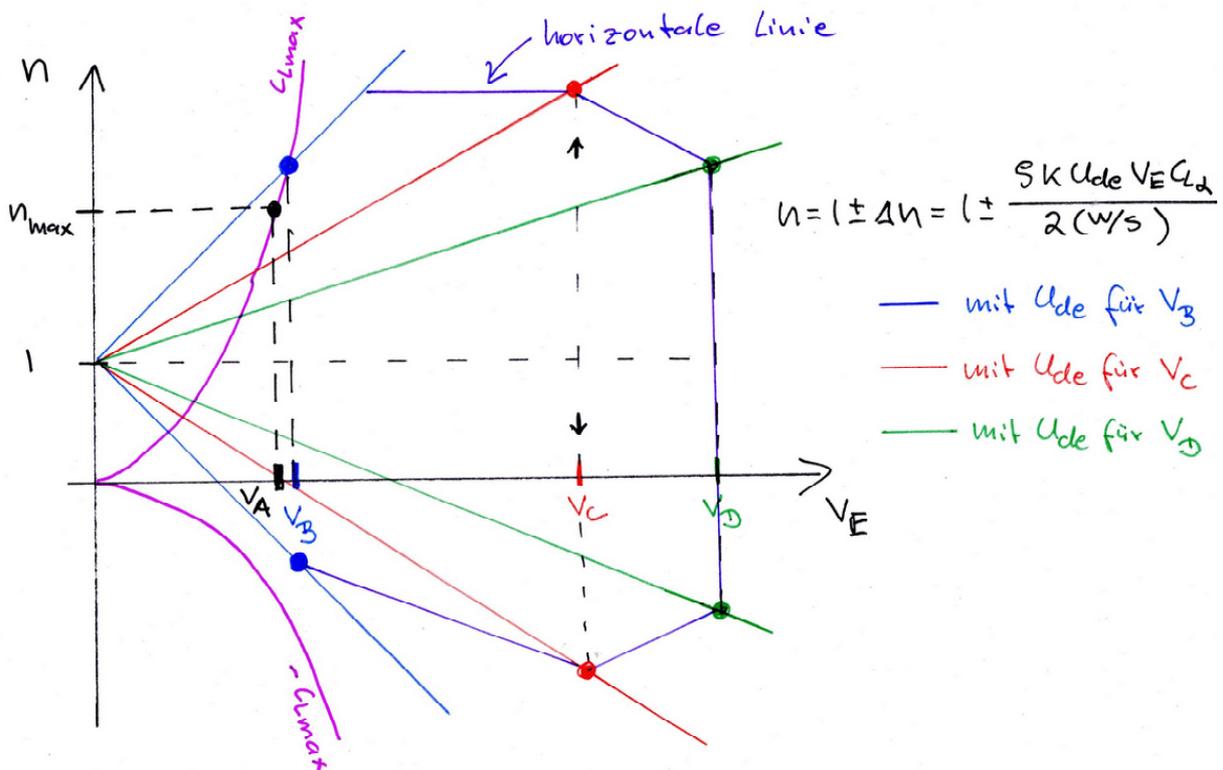
Bis zu einer Geschwindigkeit  $V_A$  dürfen volle Höhenruderausschläge kommandiert werden. Oberhalb dieser Geschwindigkeit, könnte das maximale Lastvielfache bei vollem Höhenruderausschlag überschritten werden.

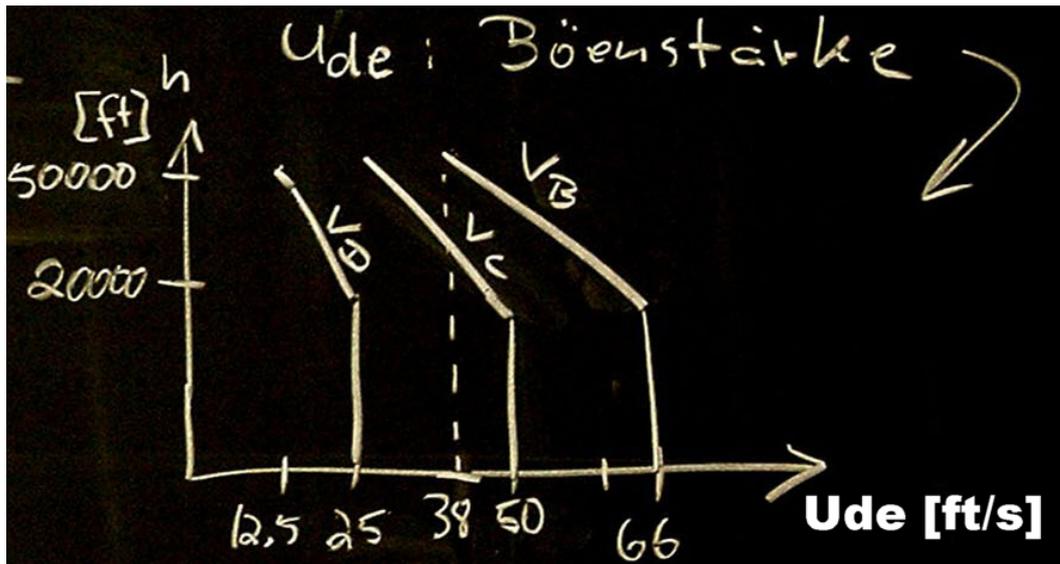


$V_B$  ist die maximale Geschwindigkeit in Turbulenzen.

$V_B$  ergibt sich aus dem Schnittpunkt der  $V_B$ -Linie und der  $C_{L,max}$ -Linie im Böenlastdiagramm. Die zu berücksichtigende Böengeschwindigkeit ergibt sich aus einem weiteren Diagramm (s. unten) als Funktion der Höhe. D.h.  $V_B$  ist diejenige Geschwindigkeit, die bei den durch CS und FAR festgelegten maximalen Böengeschwindigkeiten (66 ft/s unter 20000 ft, darüber linear abnehmend) maximal zulässig ist.

### Böenlastdiagramm gezeichnet mit Hilfslinien





**Aufgabe 2.3** (11 Punkte)

Ein Flugzeug fliegt in konstanter Höhe von 11 km mit konstanter Machzahl ( $M = 0,8$ ) und Geschwindigkeit eine Strecke von 1300 NM.

- a) Berechnen Sie die maximale Gleitzahl!
- b) Berechnen Sie die Fluggeschwindigkeit!
- c) Welche Kraftstoffmasse wird verbraucht?

Schallgeschwindigkeit in 11 km	$a_T$	295,07 m/s
Dichte in 11 km	$\rho_T$	0,3639 kg/m <sup>3</sup>
Flügelfläche	$S$	122,6 m <sup>2</sup>
Streckung	$A$	9,48
Spezifischer Kraftstoffverbrauch	$c$	$1,6 \cdot 10^{-5}$ kg/N/s
Nullwiderstandsbeiwert	$C_{D0}$	0,02
Oswaldfaktor	$e$	0,8
Abflugmasse	$m_1$	66000 kg

a)

S_W	122.6	m <sup>2</sup>
b	34.1	m
$A = b^2/S_W$	9.48	
c	1.60E-05	kg/N/s
C_D0	0.02	
e	0.8	
$E_{max} = 1/2 * WURZEL(PI()) * A * e / C_{D0}$	17.3	

b)

g	9.81	m/s <sup>2</sup>
M	0.8000	
H_S	36089	ft
a0	340.3	m/s
T_S	216.65	K
$a_S = a0 * WURZEL(T_S/T0)$	295.07	m/s
$\rho_S = \rho0 * (1 - ka * H_S)^{\rho}$	0.3639	kg/m <sup>3</sup>
$V = M * a_S$	236.1	m/s

c)

siehe Seite 166 im Skript von Mr. Young:

m_1	66000	kg
m_2	59845	kg
$B3 = C_{D0} * \rho_S^2 * S_W^2 * V^4 * PI() * A * e / (4 * g^2)$	7654908979	kg <sup>2</sup>
$R = 2 * E_{max} * V / c / g * ARCTAN(WURZEL(B_3) * (m_1 - m_2) / (B_3 + m_1 * m_2))$	2407600	m
$R = R / 1000 / 1.852$	1300	NM
$\Delta m = m_1 - m_2$	6155	kg

m\_2 kann mit dem Excel-Solver gefunden werden

**Aufgabe 2.4** (4 Punkte)

Die Phygoide wird (nach Flugpraktikum) beschrieben durch

$$y = y_0 + \frac{y_{max}}{2} e^{-\lambda t} \cos(\omega t) + \Delta y t$$

y steht dabei entweder für die Flughöhe h oder die Fluggeschwindigkeit V. Hier sind die Werte der Fluggeschwindigkeit V gegeben, bestimmt jeweils im Scheitelpunkt der Bewegung zusammen mit der Zeit t der jeweiligen Messung.

t [s]	V (IAS) [kt]
0	139
13,9	62
28,3	124
41,8	81
55,7	117
67,8	83
82,1	112
94,1	91
108,8	108
123,3	93
137,2	106
152,9	95

Bestimmen Sie (mit Hilfe der Unterlagen aus dem Flugpraktikum) die folgenden Parameter:

Anfangsamplitude  $y_{max} = 97,99$   
 Dämpfung  $\lambda = 0,015$   
 Kreisfrequenz  $\omega = 0,23$   
 Drift  $\Delta y = 0,02$

### Bestimmung von Frequenz und Dämpfung der Phygoide

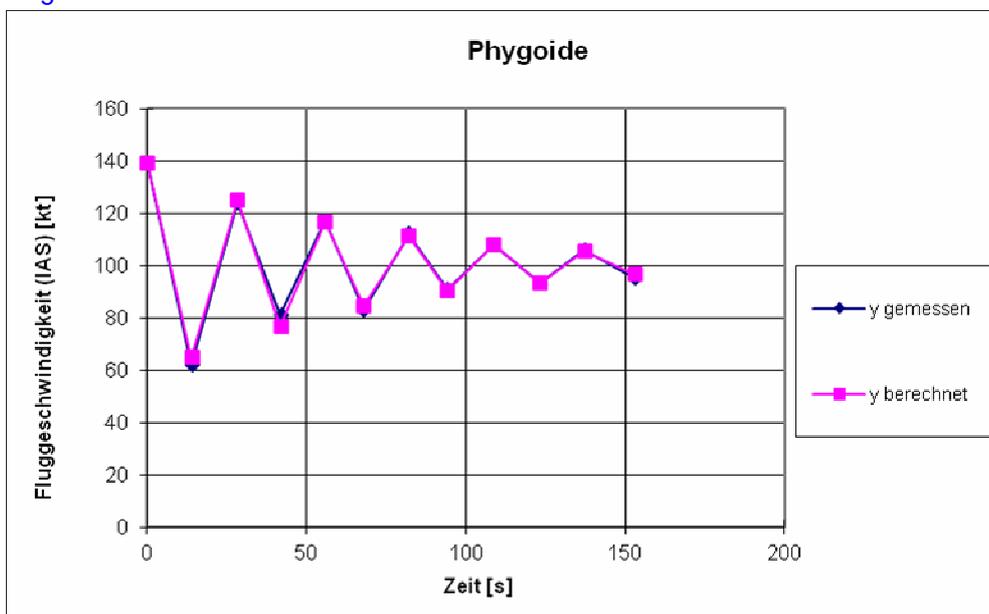
y\_0 97.99  
 y\_max 82.48  
**lambda** 0.015 Dämpfung [-]  
**omega** 0.23 Frequenz [1/rad]  
 delta\_y 0.02

e 2.7182818  
 pi 3.1415926

$$y = y_0 + \frac{y_{max}}{2} e^{-\lambda t} \cos(\omega t) + \Delta y t$$

t	y gemessen	y berechnet	Delta <sup>2</sup>
0	139	139.233	0.054
13.9	62	64.667	7.111
28.3	124	124.964	0.929
41.8	81	76.713	18.377
55.7	117	116.478	0.273
67.8	83	84.212	1.468
82.1	112	111.427	0.329
94.1	91	90.151	0.721
108.8	108	107.694	0.094
123.3	93	93.327	0.107
137.2	106	105.487	0.264
152.9	95	96.648	2.717
			<b>32.443</b>

Den Solver gegebenenfalls in Excel nachinstallieren und dann aufrufen über Extras->Solver  
**Dies ist die Zielzelle für den Solver. Dieser Wert muss ein Minimum werden**  
 Die blauen Zahlen stehen in den "veränderbaren Zellen" und erhalten nach dem Lauf des Solvers die Ergebnisse



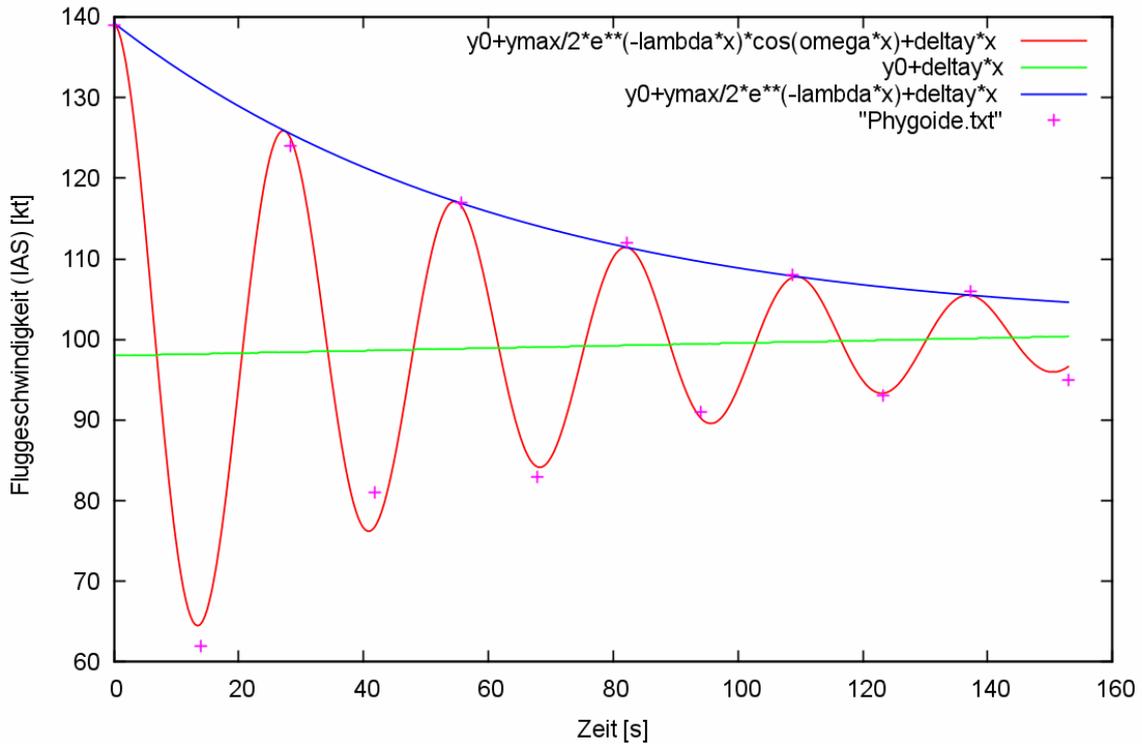
**Näherungsrechnungen zur Frequenz und Dämpfung**

$$\omega = \sqrt{2} \frac{g}{V}$$

Parameter	Einheit	Näherung	Exel	rel.Fehler
omega	rad/s		0.28	20%
lambda	--		0.059	295%

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} E}$$

Als Plot mit Gnuplot:



**Aufgabe 2.5** (4 Punkte)

Ein für Parabelflüge umgerüstetes Passagierflugzeug beginnt den Teil der Parabel in dem Schwerelosigkeit erreicht wird mit einem Nicklagewinkel von 45° und einer wahren Flugeschwindigkeit von 400 kt. Welche Dauer der Schwerelosigkeit ist in der Parabel zu erwarten?

V	400.0 kt
$V = V \cdot 1.852 / 3.6$	205.8 m/s
$V_v = V \cdot \sin(45^\circ)$	145.5 m/s
$t = 2 \cdot V_v / g$	29.7 s