

Masse & Schwerpunktberechnung

Josef Pfleger, August 2020

Agenda

- 1. Einheiten & Begriffe**
- 2. Mass & Balance Berechnung**
- 3. Beispiele**

Gewicht, Masse

- **Masse**

- Einheit: Kilogramm

- **Gewicht ist eine Kraft**

- Kraft die auf ein Objekt aufgrund von Gravitation wirkt
- Einheit: Newton

$$\text{Gewicht} = \text{Masse} * g$$

$$\text{Erdoberfläche } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

- **Objekt mit einer Masse von 1 kg:**

- Gewicht: Erdoberfläche 10 N, Mond 1.7 N, Jupiter 26 N

Einheiten 1

- **Masse (kg, lbs)**

- 1 Kilogramm (kg) = 2,2 Pfund (lbs)
- 1 Pfund (lbs) = 0,454 Kilogramm (kg)

- **Distanz (m, in)**

- 1 Meter (m) = 39,37 Inches (in)
- 1 Inch (in) = 0,0254 Meter (m)



FLUGHANDBUCH
AQUILA AT01-100B (N/VFR)

Abschnitt 1
ALLGEMEINES

1.12 UMRECHNUNGSFAKTOREN

1.12.1 Länge

1 ft	=	0,304 m
1 in	=	25,4 mm

1.12.2 Geschwindigkeit

1 kts	=	1,852 km/h
1 mph	=	1,609 km/h

1.12.3 Druck

1 hPa	=	100 N/m ²	=	1 mbar
1 in. Hg	=	33,865 hPa		
1 psi	=	68,97 mbar		

1.12.4 Masse

1 lbs	=	0,454 kg
-------	---	----------

1.12.5 Flüssigkeitsvolumen

1 US Gallon	=	3,78 l
1 Imperial Gallon	=	4,546 l

1.12.6 Temperatur

(t) °C (Celsius)	=	5/9 ((t) °F-32)
(t) °F (Fahrenheit)	=	9/5 (t) °C+32

Einheiten 2

- **Flüssigkeiten**

- 1 Liter (l) = 0,264 US Gallons
- 1 US Gallons (US gal) = 3,8 Liter (l)
- 1 Imperial Gallon = 4.54 Liter (l)

- **Masse von Treibstoff**

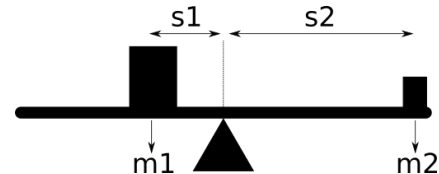
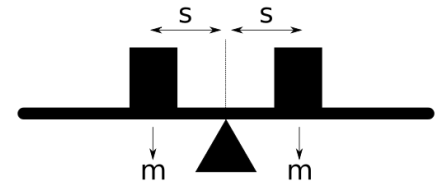
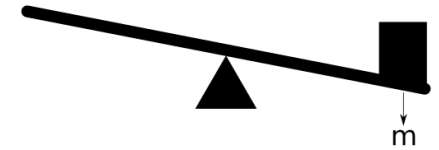
- AVGAS/MOGAS: 0,721 kg/l
- Jet Fuel: 0,750–0,845 kg/l
- Vergleich: Wasser 1kg/l

- → **Umrechnungsformeln & -diagramme im Flughandbuch**

Schwerpunkt

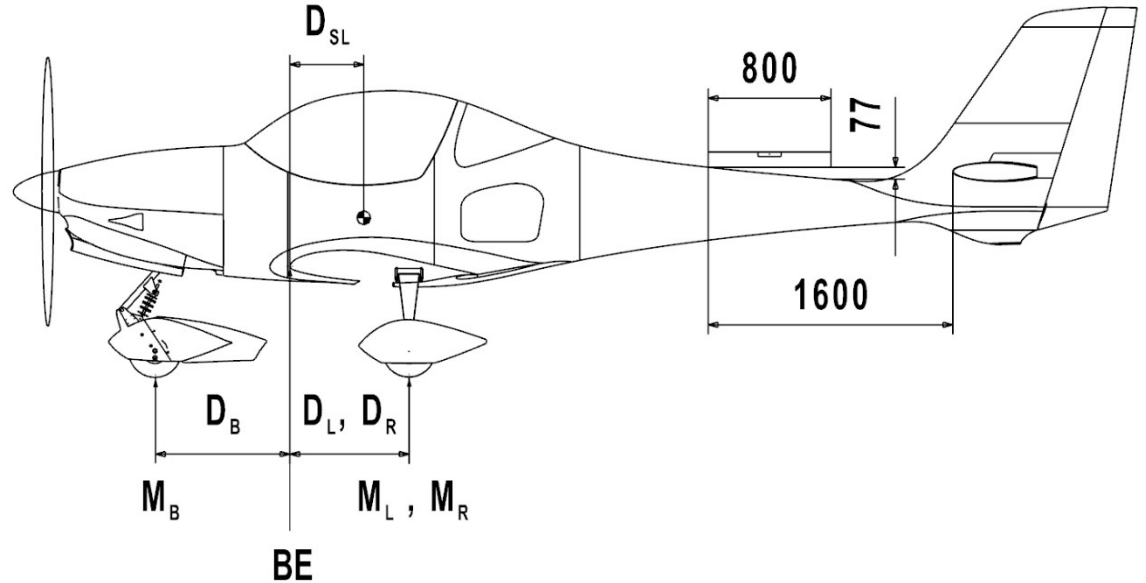
- **Center of Gravity (CG)**
- “alle Massen vereinigt”
- **CG kann auch ausserhalb liegen**
 - z.B. Ring
- **$M = m * s$**
 - M ... Moment (kgm)
 - m ... Masse (kg)
 - s ... Hebelarm (Meter, Distanz zum Schwerpunkt)
- **Schwerpunkt berechnen**

$$\text{Schwerpunktlage} = \frac{\text{Gesamtmoment}}{\text{Gesamtmasse}}$$



Bezugsebene

- “reference datum”
- festgelegte Ebene auf die sich alle Hebelarme beziehen
- z.B. Brandschott

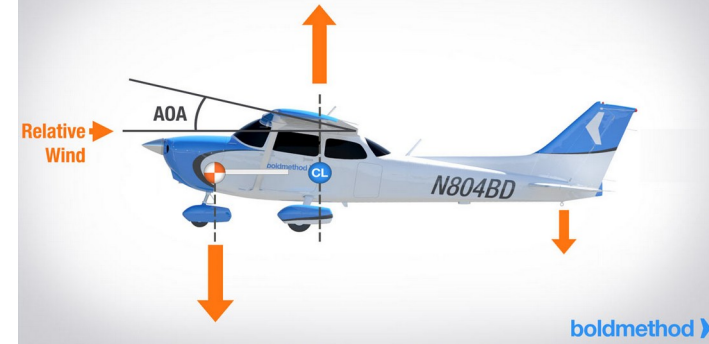


Mass & Balance

Warum?

- Auftriebskraft vs. Gewichtskraft
- Strukturlimits (Lastvielfache!)
- Flugleistungen
- nachgewiesenes Flugverhalten
- zulässiger Schwerpunktbereich
 - Schwerpunkt weiter vorne:
 - größere Längsstabilität / weniger Kontrollierbarkeit
 - erhöhter Treibstoffverbrauch
 - größere Strömungsabrissgeschwindigkeit
 - Schwerpunkt weiter hinten:
 - weniger Längsstabilität / mehr Kontrollierbarkeit

Forward CG Requires Higher AOA



relevante Massen für Privatflüge:

- Standardleermasse (basic empty weight)
- Nutzlast/Zuladung (useful load)
- Startmasse (takeoff mass)
- Landemassee (landing mass)

Standardleermasse (basic empty mass)

• Luftfahrzeug

- Zelle
- Triebwerke

• Flüssigkeiten

- Systemflüssigkeiten (z.B. Kühl-, Hydraulik-, etc.)
- nicht wechselbares Motoröl/Schmierstoff (→ Handbuch)
- nicht ausfliegbarer Treibstoff (z.B. A211: 5,2l pro Tank)

• Ausrüstung

- Standard- & Sonderausrüstung
- Instrumente & Bordanlagen

AQUILA		Ausrüstungsliste		Form No.:
		AQUILA AT01		AQF-10-01-i
				Seite: 1 von 1
Muster: AT01	Kennzeichen: OE-AKW		Werknummer: AT01-100B-314	
Benennung	Hersteller	Muster	Serien Nr.	Einbauort*)
Motor-Batterie	Sprinter	P12V600 12V	n.a.	Brandspant
Zündschloß	ACS Products	A510-2	ch.: 1402983	Instr.-Brett
Triebwerkstundenzähler	Bauser	Type 262	ch.: 1305459	Instr.-Brett
Voltmeter	VDO	332030001	ch.: 1212456	Instr.-Brett
Amperemeter	VDO	190037002	ch.: 1304280	Instr.-Brett
Drehzahlmesser	UMA	19-519-D2S	A5243	Instr.-Brett
Öldruck Anzeige	Rotax	10332	ch.: 1401887	Instr.-Brett
Öltemperatur Anzeige	VDO	310-030-003G	ch.: F002472	Instr.-Brett
Zylinderkopftemp. Anzeige	VDO	310-030-003G	ch.: G000555	Instr.-Brett
Ladedruck Anzeige	UMA	7-100-20	C3918	Instr.-Brett
Kraftstoffvorratsanzeige	UMA	AT01-2840-220-R00	A1270	Instr.-Brett
Vergasertemp. Anzeige	UMA	T12-218K-060C-020	A1286	Instr.-Brett
Vergaserfemp. Sensor	UMA	T3B16	A2217	Motor
Geschwindigkeitsanzeige 1	Garmin	GDC74A	20617258	Instr.-Brett
Geschwindigkeitsanzeige 2	Garmin	7 FMS 523	154682	Instr.-Brett
Höhenmesser 1	Garmin	GDC74A	20617258	Instr.-Brett
Variometer	Garmin	GDC74A	20617258	Instr.-Brett
Kompaß	Airpath	C-2400-L4-P	AA-2505	Instr.-Brett
Strömungsabriss-Warnung	Aquila	AT01-4020-028	n.a.	Flügel links
Trimmmanzeige	Aquila	AT01-2840-181	n.a.	Mittelkonsole
Wendeweisiger	Garmin	GRS77	42026062	Instr.-Brett
Kurskreisel	Garmin	GRS77	42026062	Instr.-Brett
Künstl. Horizont	Mid Continent	4200-11	A14-10095	Instr.-Brett
GPS / Moving Map	Garmin	GTN 650	128013621	Instr.-Brett
AHRS-Sensor	Garmin	GRS 77	42026062	Instr.-Brett
(Software Version: 3.00)				
Magnet Sensor	Garmin	GMU 44	47522713	Rumpföhre
(Software Version: 2.01)				
COMM 1	Garmin	GTN 650	128013621	Instr.-Brett
NAV 1	Garmin	GTN 650	128013621	Instr.-Brett
SSVOR/LOC Anzeige 1 (CDI)	Garmin	GDU620	165203374	Instr.-Brett
Primary Flight Display	Garmin	GDU 620	165203374	Instr.-Brett
(Software Version: 5.01)				
Marker Beacon Empfänger	Garmin	GMA 340	96294619	Instr.-Brett
Audio Kontroll Panel	Garmin	GMA 340	96294619	Instr.-Brett
Transponder	Garmin	GTX 328	13K015679	Instr.-Brett
Höhen Encoder / ADC	Garmin	GDC74A	20617258	Instr.-Brett
(Software Version: 3.06)				
ELT	Kannad	406 AF Compact	LX1100074104	Gepäckboden
Außentemperatur Fühler	Garmin	GTP 59	47926024	Rumpf
(Software Version: n.a.)				
Beheiztes Prandtl-Rohr	esa Systems	PRH-12 Aquila	08102013-006	Flügel links
Bauchgurte links	Schroth	1-10-510431	10/14	Cockpit, Sitz
Bauchgurte rechts	Schroth	1-10-515431	10/14	Cockpit, Sitz
Schultergurte links	Schroth	1-10-510431	10/14	Cockpit, Sitz
Schultergurte rechts	Schroth	1-10-515431	10/14	Cockpit, Sitz
Feuerlöscher	H3R	RTA 400	X-807360	Gepäckboden

*) Einbauort beschreiben oder Hebelarm in mm vom Bezugspunkt eintragen (Vorzeichen beachten)

Schönhausen, 17.04.2014
Ort/Datum



Unterschrift CS

Wägebericht

- Abwiegen durch Werft
- Leermasse & Leermassenschwerpunkt
- Flugzeugdokumente bzw. Flughandbuch
- neu bei Umbauten, Lackierung, etc.

GEWICHTS- UND SCHWERPUNKTNACHWEIS (MUSTER)
(Laufende Eintragung von Änderungen an Zelle und Ausrüstung mit Auswirkungen auf Gewicht und Schwerpunktlage)

Seite: 7-8
Ausgabe: 1
Änderung 1, Aug. 1978

Datum		Lfd. Nr.	Beschreibung des Artikels oder der Änderung	Gewichtsänderung						Jeweils neues Grundgewicht	
				hinzuzurechnen (+)			abzuziehen (-)				
Einge- baut	Ausge- baut			Gewicht kg	Hebelarm m	Moment mkg	Gewicht kg	Hebelarm m	Moment mkg	Gewicht kg	Moment mkg
			Flugzeug-Baumuster F152								
			Werk-Nr. F152-1719								
			Seite								
17.1.10			ORIG. WIEGUNG + Opt.							530	405
18.5.10			KT 76 A	118						531,8	405,9
28.9.10			WIEGUNG N. INSTANDSETZUNG	4						541	422,22
10.12.17			Wiesung							530	418,87
05.10.18			GNC 2.55 + VT-2000							527,2	417,80
10.10.17			KLW 94 + KA 92							529,03	418,64

Flugzeug-Baumuster **F152**

Werk-Nr. **F152-1719**

Seite **7-8**

Ausgabe **1**

Änderung **1**, Aug. **1978**

Flugzeug-Baumuster **F152**

Werk-Nr. **F152-1719**

Seite **7-8**

Ausgabe **1**

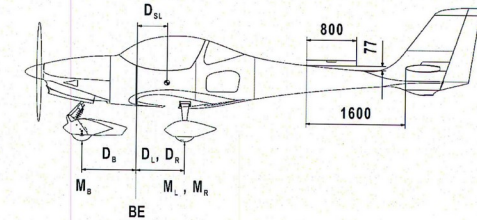
Änderung **1**, Aug. **1978**

 Aquila Aviation	Wägebericht		Form-No.: AQF-10-01-05-b
	AQILA AT01 Varianten A, B, C		Page: 1 von 1

Muster:	AT01	Werk-Nr.:	AT01-100B-314	Kennzeichen:	OE-AKW
Zugehöriges Ausrüstungsverzeichnis:			17.04.2014	Grund der Wägung:	Herstellung

Wägezustand nach Kennblatt, bzw. Flughandbuch:

Bezugsebene (BE):	Flügelvorderkante an der Wurzelrippe
Bezugspunkt (BP):	Flügelvorderkante an der Wurzelrippe
Bezugslinie horizontal (BL):	Keil 5,5° auf dem Röhrenrücken gemäß Skizze
Füllmengen, Bemerkungen:	incl. nicht ausfliegbarem Kraftstoff, Motoröl, Kühlflüssigkeit, Bremsflüssigkeit



Auflageort	Brutto (Kg)	Tara (Kg)	Netto (Kg)	Hebelarm (m)
Bugrad			$m_B = 105,8$	$D_B = -0,844$
Haupttrud links			$m_L = 199,9$	$D_L = + 0,770$
Haupttrud rechts			$m_R = 204,9$	$D_R = + 0,775$
Instrumente			$m_I = 0$	$D_I = + 0,000$
Leermasse $m_{Leer} = m_B + m_L + m_R + m_I =$				510,6 (Kg)
Leermassenmoment $MO_{Leer} = m_B \cdot D_B + m_L \cdot D_L + m_R \cdot D_R + m_I \cdot D_I =$				223,43 (Kgm)
Leermassenschwerpunkt $D_{SL} = MO_{Leer} / m_{Leer} =$				0,438 (m)
Max. Zuladung = MTOW - $m_{Leer} =$	750	-	510,6	239,4 (Kg)
Max. in den Sitzen 2 x 110 kg				

Der ermittelte Leermassenschwerpunkt liegt im zulässigen Bereich (zwischen 0,437 und 0,498).
Die ermittelten Wägedaten wurden in das Flughandbuch übertragen.

Trimmgewicht vorhanden? Ja Gesamtmasse der Trimmgewichte: 0,5 Kg

Schönhausen, am 09.05.2014
Ort / Datum



Unterschrift CS

Zuladung/Nutzlast (useful load)

- **Ausfliegbarer Kraftstoff**
- **Wechselbare Flüssigkeiten**
- **Besatzung und Passagiere**
- **Gepäck und Fracht**
- **Sonstige Gegenstände**
 - z.B. Fallschirm, Getränke, etc.
- **Beispiel maximale Zuladung OEAKW: 239,4 kg**

Auflageort	Brutto (Kg)	Tara (Kg)	Netto (Kg)	Hebelarm (m)
Bugrad			$m_B = 105,8$	$D_B = -0,844$
Hauptrad links			$m_L = 199,9$	$D_L = + 0,770$
Hauptrad rechts			$m_R = 204,9$	$D_R = + 0,775$
Instrumente			$m_I = 0$	$D_I = + 0,000$
Leermasse $m_{Leer} = m_B + m_L + m_R + m_I =$				510,6 (Kg)
Leermassenmoment $MO_{Leer} = m_B * D_B + m_L * D_L + m_R * D_R + m_I * D_I =$				223,43 (Kgm)
Leermassenschwerpunkt $D_{SL} = MO_{Leer} / m_{Leer} =$				0,438 (m)
Max. Zuladung = MTOW - $m_{Leer} =$		750	-	510,6
Max. in den Sitzen 2 x 110 kg				239,4 (Kg)



2.7 MASSEN

Höchstzulässige Startmasse	750	kg
Höchstzulässige Landemasse	750	kg
Höchstzulässige Masse im Gepäckraum	40	kg

- **Startmasse (takeoff mass)**

- Startmasse = Leermasse + Zuladung
- MTOW: Maximum Takeoff Weight

- **Landemasse (landing mass)**

- Landemasse = Startmasse – ausgeflogener Treibstoff
- MLW: Maximum Landing Weight
- Achtung: MLW nicht unbedingt gleich MTOW (z.B. DA40)!

Beladungsbeispiel

- **Flugzeug: Aquila 211, OEAKW**
- **Pilot: 55 kg (Sitz vorne)**
- **Passagier: 90 kg (Sitz hinten)**
- **Gepäck: 15 kg**
- **Betankung: 80 Liter**
- **Treibstoffverbrauch: 40 Liter**

1. Leermasse/moment aus Wiegebericht

2. Massen & Momente mit Diagramm bestimmen & eintragen

Diagramm "Massenmomente der Zuladung"

3. Massen & Momente addieren

4. Prüfen ob Ergebnis im zulässigen Bereich ist

Diagramm Zulässiger Flugmassen-Schwerpunktbereich

Auch Zusatzhinweise beachten (z.B. maximale Masse im Gepäckraum!)

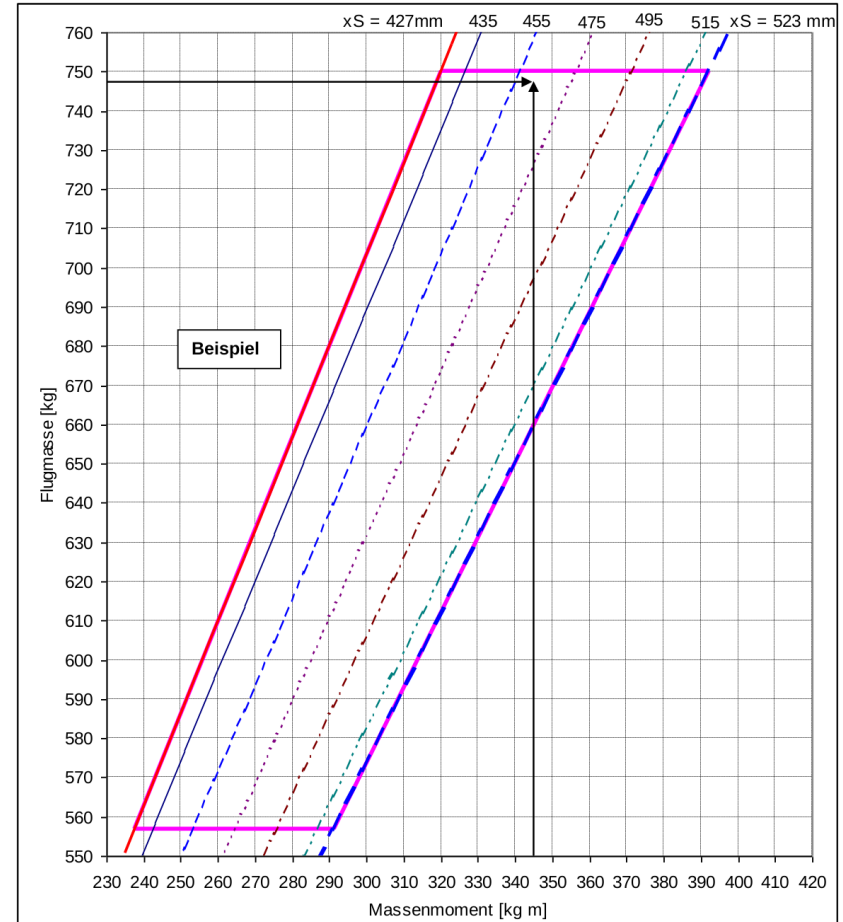
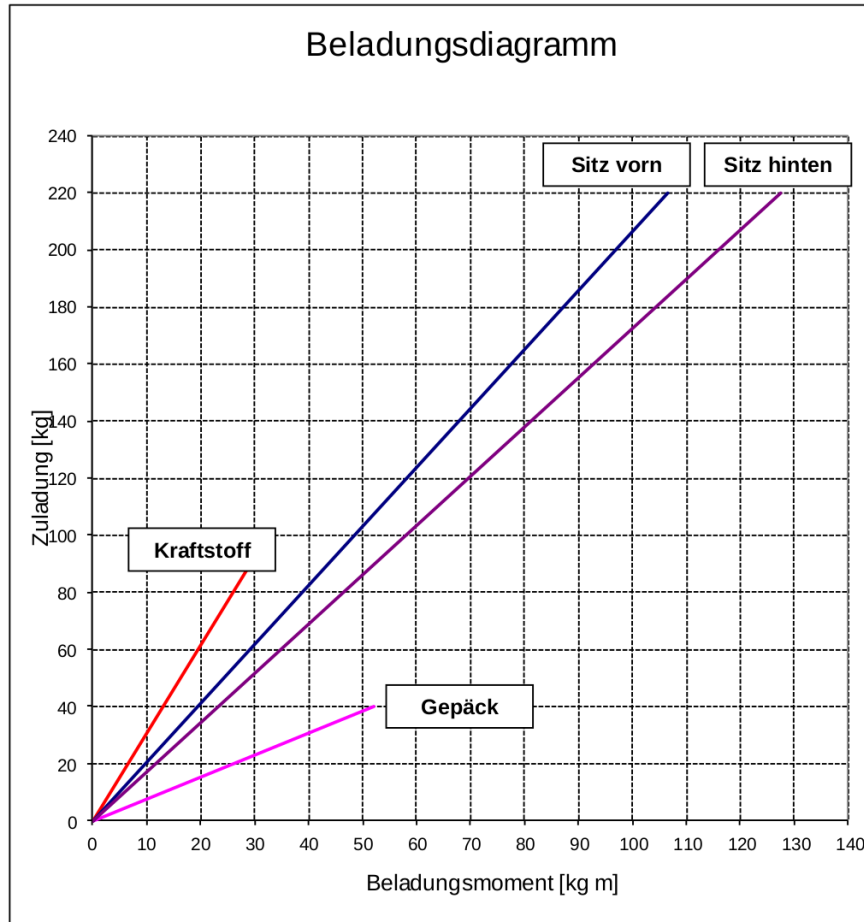
1.10 MASSEN

Maximale Startmasse (MTOW):	750	kg
Maximale Landmasse (MLW):	750	kg
Leermasse (MZFW):	siehe Abschnitt 6	
Maximale Masse im Gepäckraum:	40	kg
(Gepäckmasse muss mit Spannbändern, Netz etc. gesichert werden)		
Maximale Flächenbelastung:	71,4	kg/m ²
Minimale Flächenbelastung:	ca. 52,6	kg/m ²

Berechnung

Bezeichnung	Hebelarm	Masse (kg)	Moment (kgm)
Leermasse	0,438	510,6	223,43
Pilot	0,484	55,0	27,00
Passagier	0,580	90,0	52,20
Gepäck	1,300	15,0	20,00
Flugmasse & Gesamtmoment ohne Treibstoff		670,6	322,63
ausfliegbarer Treibstoff (80 Liter)	0,325	57,6	18,72
Gesamtmasse & -moment (Start)		728,2	341,35
- ausgeflogener Treibstoff (40 Liter)	0,325	-28,8	-9,36
Gesamtmasse & -moment (Landung)		699,4	331,99

Diagramme aus dem Flughandbuch



Beladungsbeispiel

- **Flugzeug: Aquila 211, OEAKW**
- **Pilot: 75 kg (Sitz hinten)**
- **Passagier: keiner**
- **Gepäck: 5 kg**
- **Betankung: 60 Liter**
- **Treibstoffverbrauch: 20 Liter**

Berechnung

Bezeichnung	Hebelarm	Masse (kg)	Moment (kgm)
Leermasse	0,438	510,6	223,43
Pilot	0,580	75,0	43,5
Passagier	0,000	0,0	0,00
Gepäck	1,300	5,0	6,50
Flugmasse & Gesamtmoment ohne Treibstoff		590,6	273,43
ausfliegbarer Treibstoff (60 Liter)	0,325	43,3	14,07
Gesamtmasse & -moment (Start)		633,9	287,50
- ausgeflogener Treibstoff (20 Liter)	0,325	-14,4	-4,68
Gesamtmasse & -moment (Landung)		619,5	282,82

Prüfungsfrage

25 Folgende Werte sind gegeben:

Abflugmasse: 2.300 lbs.

Schwerpunktlage: 95,75 in.

Kraftstoffverbrauch: 170 lbs auf Station 87,00 in.

Wo befindet sich der Schwerpunkt nach der Landung? (1,00 P.)

- ☐ 96,45 in.
- ☐ 96,57 in.
- ☐ 97,39 in.
- ☐ 94,11 in.

Prüfungsfrage

28 Die Position des Schwerpunktes (inklusive Kraftstoff) beträgt:

Siehe Bild (PFP-053) (1,00 P.)

- ☐ 37,1 cm.
- ☐ 37,3 cm.
- ☐ 0,401 m.
- ☐ 0,403 m.

PFP-053

Position	Beladung	Hebelarm
Betriebsleermasse	560 kg	0,35 m
Pilot & Passagier	150 kg	0,4 m
Gepäck	15 kg	0,65 m
Kraftstoff	60 l	0,45 m

Cessna 172

CESSNA
MODEL 172S NAV III
GFC 700 AFCS

SECTION 6
WEIGHT AND BALANCE/
EQUIPMENT LIST

CENTER OF GRAVITY MOMENT ENVELOPE

B4077

