

Tragfähigkeitsberechnung

Das Ziel der Tragfähigkeitsberechnung ist die Planung der möglichen Zuladung in Abhängigkeit der Betriebsgrenzen und der gewünschten Leistung hinsichtlich der Steiggeschwindigkeit und der erreichbaren Fahrhöhe.

Formular Tragfähigkeitsberechnung Heissluftballon

Auftrieb

Archimedischer Auftrieb

[Der archimedische Auftrieb](#)[Der archimedische Auftrieb](#)

Aerostatischer Auftrieb

Mit dem Dasymeter wies Otto von Guericke nach, dass das Archimedische Prinzip auch in der Luft funktioniert. Mit dem Dasymeter wies Otto von Guericke nach, dass das Archimedische Prinzip auch in der Luft funktioniert.

Der aerostatische Auftrieb¹⁾, entspricht der Gewichtskraft der durch den Ballon verdrängten Luft. Er berechnet sich wie folgt:

Luftdichte x Volumen = statischer Auftrieb des Ballons

[Die Formel für den aerostatischen Auftrieb](#)[Die Formel für den aerostatischen Auftrieb](#)

Luftdichte

Die Dichte ρ ist definiert als Masse durch Volumen. Die Formel für Dichte lautet $\rho = \frac{m}{V}$

Die Luftdichte bei einem Druck von 1013,25hPa und einer Temperatur von 273K²⁾, ist 1,3kg/m³ oder $\frac{1,3kg}{m^3}$

Abhängigkeit von der Temperatur

Die Luftdichte hängt auch von der Temperatur ab. Der Einfluss der Temperatur wird mit folgender Formel berechnet:

Luftdichte x (Temperatur Normzustand von Gasen (273K) / (Tatsächliche Temperatur in Kelvin))

$$\rho = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{273 \text{ K} \pm T}$$

Die Diagramme für die Tragfähigkeitsberechnung gehen von einer Temperaturabnahme von 0,65K pro 100 Meter Höhengewinn aus. Dieser Temperaturgradient wird auch in der Internationalen Standard Atmosphäre (ISA) verwendet. Näher an der Realität ist es meistens, hier die Werte eines Sondenaufstiegs zu verwenden. Meistens steht nur ein Prognose-Temp zur Verfügung, der für das Fahrtvorhaben repräsentativ ist.

Beispiel

Die Außentemperatur beträgt 15°C, in Kelvin sind das 273K + 15K = 288K.

$$\rho = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{288 \text{ K}} = 1,23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Abhängigkeit vom Druck

Die Luftdichte hängt auch vom Druck ab. Die folgende Formel berücksichtigt die Abweichung vom Normaldruck auf Meereshöhe:

$$\rho = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{QFE}{1013,25 \text{ hPa}}$$

Das QFE, den tatsächlichen Luftdruck auf einer bestimmten Höhe, kann man entweder ermitteln indem man den Höhenmesser auf 0 stellt, dann zeigt die Nebenskala den aktuellen Luftdruck an. Oder man nimmt das QNH, den auf Meereshöhe reduzierten Luftdruck, und zieht pro 8 Meter Höhe 1hPa ab. Diese Methode ist bis etwa 2000 Meter hinreichend genau.

Beispiel

Das Beispiel berücksichtigt nicht eine von den Normbedingungen abweichende Temperatur.

$$QFE = 850 \text{ hPa}$$

$$\rho = 1,3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{850 \text{ hPa}}{1013 \text{ hPa}} = 1,09 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Abhängigkeit von Temperatur und Druck

In der folgenden Formel werden sowohl die Abweichung der Temperatur als auch des Drucks vom Normzustand der Gase berücksichtigt:

$$\rho = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{273 \text{ K} \pm T} \times \frac{QFE}{1013,25 \text{ hPa}}$$

Beispiel

$$\rho = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{263 \text{ K}} \times \frac{700 \text{ hPa}}{1013 \text{ hPa}} = 0,932 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Volumen

Um mit der Dichte den Auftrieb zu berechnen benötigt man das Volumen. Die Formel lautet Auftrieb = Dichte x Volumen:

$$A = \rho \times V$$

Beispiel

Ein Ballon von 3000m³ hat bei einer Temperatur von -10°C und einem Druck von 700hPa einen Auftrieb von

$$A = 0,932 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 3000 \text{ m}^3 = 2796 \text{ kg}$$

Und so sieht die Formel mit allen Eingaben aus:

$$\text{Auftrieb} = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{263 \text{ K}} \times \frac{700 \text{ hPa}}{1013 \text{ hPa}} \times 3000 \text{ m}^3 = 2796 \text{ kg}$$

Tragkraft

Die Tragkraft ist definiert als Auftrieb minus (Gewichtskraft der Traggasmasse). Die Gewichtskraft der Traggasmasse berechnet sich für heiße Luft wie der Auftrieb, nur dass die Temperaturabweichung vom Normzustand der gewünschten durchschnittlichen Lufttemperatur der Luft in der Ballonhülle entspricht.

$$\text{Gewichtskraft der Traggasmasse} = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{\text{Temperatur Heissluft}} \times \frac{QFE}{1013,25 \text{ hPa}} \times \text{Volumen}$$

Beispiel

$$\text{Gewichtskraft der Traggasmasse} = \frac{1,3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{273 \text{ K}}{363 \text{ K}} \times \frac{700 \text{ hPa}}{1013 \text{ hPa}} \times 3000 \text{ m}^3 = 2027 \text{ kg}$$

Die Tragkraft beträgt jetzt Auftrieb 2796kg minus Gewichtskraft der Traggasmasse 2067kg gleich 729kg.

Tragkraftberechnung	
Auftrieb	2796kg
- Gewichtskraft der Traggasmasse	- 2067kg

Tragkraftberechnung	
= Tragkraft	= 729kg

Berechnung der Leermasse

Von der Tragkraft muss die Leermasse abgezogen werden. Zur Leermasse gehören Hülle, Brenner mit Rahmen, Korb mit Stützen, Mindestausrüstung und Instrumente.

Leermasse
Ballonhülle
+ Brenner mit Rahmen
+ Korb mit Stützen
+ Mindestausrüstung
= Gewichtskraft Leermasse gesamt

Beispiel

Leermasse	
Ballonhülle	136kg
+ Brenner mit Rahmen	26kg
+ Korb mit Stützen	95kg
+ Mindestausrüstung	7kg
= Gewichtskraft Leermasse gesamt:	264kg

Berechnung der Zuladung

Zuladung
Gesamtgewicht der Brennstoffbehälter einschließlich Propangas
+ Gesamtgewicht der Insassen
+ Sonstiges
= Zuladung gesamt

Beispiel

Zuladung		
Gesamtgewicht der Brennstoffbehälter einschließlich Propangas	4x40kg	160kg
+ Gesamtgewicht der Insassen	70kg+85kg+105kg	+ 260kg
+ Sonstiges	10kg	+ 10kg
= Zuladung gesamt:		= 430kg

Berechnung der möglichen Steigkraft

Tragkraft - (Leermasse+Zuladung) = mögliche Steigkraft

mögliche Steigkraft
Tragkraft
- Leermasse
- Zuladung
= Steigkraft

Beispiel

mögliche Steigkraft	
Tragkraft	729kg
- Leermasse	- 264kg
- Zuladung	- 430kg
= Steigkraft	= 35kg

Hinweis

Die Tragfähigkeitsberechnung berechnet die maximale physikalische Tragfähigkeit des Ballons. Daneben ist die maximale Startmasse (MTOM)³⁾ des Ballons zu berücksichtigen. Oder auch das reduzierte Startgewicht (RMTOM) sofern für den jeweiligen Ballon festgelegt. Als Begrenzung gilt der niedrigste Wert.

Und auch Beschränkungen der Zuladung des verwendeten Korbes.

Weiter ist die Mindestlandemasse zu beachten.

In den Flughandbüchern befinden sich meistens Diagramme mit denen die Tragfähigkeitsberechnung grafisch gelöst werden kann. Diese Diagramme gehen von einem Temperaturverlauf nach ISA⁴⁾ aus, berücksichtigen beispielsweise keine Inversionen.

Programme zur Tragfähigkeitsberechnung

Es gibt verschiedene Programme zur Tragfähigkeitsberechnung. Bevor man diese verwendet, sollte man jedoch stichprobenartig ein paar Kontrollberechnungen nach oben geschilderter Methode machen. Und auch diese Programme berücksichtigen meistens keine Temperaturabweichungen vom Temperaturverlauf mit der Höhe der Standardatmosphäre, sondern gehen von einer Temperaturabnahme von 0,65K pro 100 Meter aus.

BOP.ADD.600 Punkt g: Die Massenberechnung auf der Grundlage elektronischer Berechnungen muss vom verantwortlichen Piloten nachvollzogen werden können.

AMC1 BOP.ADD.600(a)(6) System zur Bestimmung der Masse Punkt e: Werden die Massenunterlagen von einem computergestützten Massensystem erstellt, sollte der Betreiber die Integrität der ausgegebenen Daten in Abständen von höchstens sechs Monaten überprüfen.

Online-Programme

<https://ballonpruefung.de/tragkraftberechnung/>

1)
Das Prinzip des **statischen Auftriebs** wurde von Archimedes erstmals von über 2000 Jahren als Sachverhalt formuliert, deswegen spricht man auch vom **archimedischen Prinzip**. Dass das archimedische Prinzip auch in Gasen oder Gasmischen wie der Luft gilt, wies 1650 Otto von Guericke mit seinem **Dasymeter** nach.

2)
Kelvin Einheitenzeichen K gibt die Temperatur entsprechend der Kelvinskala an

3)
Zum Teil wird in den Flughandbüchern (AFM) statt des Begriffes Masse der Begriff Gewicht verwendet, und das betrifft dann auch die Abkürzungen. Der nach EASA-Definition korrekte Begriff ist jedoch Masse.

4)
Internationale Standard Atmosphäre

From: <https://www.balloonwiki.org/ausbildung/> - Ballaeron - wie geht das?

Permanent link: https://www.balloonwiki.org/ausbildung/doku.php/z_7_theorie_heissluftballon/tragfaehigkeitsberechnung?rev=1710856942

Last update: **2024/03/19 14:02**

