

Ballonrechner

Zur Berechnung von Ballonhüllen

Von Steffen Porsch, Matrikelnr.: 3835553

Beschreibung:

Dieses Pythonscript dient der Berechnung von Ballonhüllen und deren Tragfähigkeit. Es können lediglich nicht elastische Materialien berechnet werden. Für die Berechnung von elastischen Materialien wie Gummi oder Latex als Hüllenmaterial eignet es sich nicht.

Es kann aus den gegebenen Parametern:

- Nutzlast
- Maximale Flughöhe
- Ballonhüllenmaterial
- Ballonhüllendicke

Das nötige Ballonvolumen, dessen Oberfläche und Durchmesser berechnen.

Es kann auch umgekehrt mit den gegebenen Parametern:

- Ballonvolumen
- Maximale Flughöhe
- Ballonhüllenmaterial
- Ballonhüllendicke

Die maximale Nutzlast berechnen.

Des Weiteren werden Daten zur Atmosphäre benötigt, um die Bedingungen in der gewünschten Flughöhe zu berechnen. Eine Tabelle der US-Standardatmosphäre von 1976 ist enthalten, kann aber auch durch andere Tabellen im .CSV Format ersetzt werden. Weiteres dazu unter „Installation“ und „Ausführung“.

Die US-Standardatmosphäre von 1976 bildet ein vereinfachtes Model der Atmosphäre dar. Sie basiert auf gemittelten Messwerten rund um den Globus. Um genauere Daten für eine bestimmte Region zu erhalten, muss eine entsprechende Tabelle eingesetzt werden.

Es ist möglich einen kugelförmigen oder zylinderförmigen Ballon zu berechnen. Eine Kugel hat das Ideale Verhältnis von Oberfläche zu Volumen. Eine annähernd Zylinderförmige Form kann jedoch aus Kostengründen günstiger in der Herstellung sein. Für näheres siehe „Technische Entscheidungen“

Mit den berechneten Daten kann eine Aufwands- und Kostenabschätzung gemacht werden.

Installation:

Python installieren:

Es wird Python V3.12.6 oder aufwärts benötigt.

Unter Windows:

<https://www.python.org/downloads/> herunterladen und installieren.

Unter Linux:

Python ist vorinstalliert. Ggf. updaten.

Atmosphärendaten hinzufügen:

Zur Berechnung werden Daten zur Atmosphäre benötigt. Diese müssen als .CSV Datei (Comma Separated Values) hinterlegt werden. Die Spalten müssen folgende Daten in folgender Reihenfolge enthalten: Höhe, Temperatur, Druck, Luftdichte. Die Werte müssen durch ein Semikolon getrennt sein. Im Paket ist die US-Standardatmosphäre von 1976 bis zu einer Höhe von 40km und die aktuelle internationale Standardatmosphäre bis 30km Höhe enthalten. Sie sind im Ordner AtmosphereData des Paketes zu finden.

Ausführen des Scripts

Das Script kann nur im CLI ausgeführt werden. Hierzu im CLI BalloonCalc.py mit dem Dateipfad der .CSV Datei ausführen.

Beispiel:

```
BalloonCalc.py ../../AtmosphereData/AtmosphereDataStandardAtmosphere1976RawData.CSV
```

Technische Hintergründe

Neben der Bemannten Ballonfahrt werden unbemannte Ballone für forschungs-, wetterbeobachtungs-, spionage- und militärische Zwecke eingesetzt. Sie könne dabei in Höhen über 40km vordringen und lassen dabei 99% der Atmosphärenmasse hinter sich. Somit stellen sie eine günstige Alternative zu Satelliten da. Obgleich sie eine Randtechnologie sind, werden Stratosphärenballone stetig weiterentwickelt und genutzt.

Es gibt verschiedene Ballonarten, dieses Programm eignet sich zum Berechnen von „Zero pressure balloons“ bei denen der Innendruck stets dem Außendruck entspricht. Für die Berechnung von „Superpressure balloons“ oder klassischen Wetter Ballonen aus Latex eignet es sich (noch) nicht, da sich hier ein Innendruck aufbaut.

Als Grundlage zur Berechnung wird hier das Archimedische Prinzip herangezogen. Die Kugel hat das günstigste Oberflächen zu Volumen Verhältnis und wird daher in der Regel bevorzugt als Hüllenform verwendet. Da die Materialien zur Herstellung der Hülle aber oft als Meterware vorliegen (z.B. PE Folie) kann beim Bau einer kugelförmigen

Ballonhülle sehr viel Verschnitt anfallen. Eine günstigere Alternative könnte daher eine Schlauchform sein, deren Enden verschlossen werden. Die sich ergebende wurstartige Form wird durch einen Zylinder angenähert.

Herleitungen

Im Folgenden sind die Herleitungen zur Berechnung. Die Formelzeichen wurden im Quellcode übernommen, um unnötig lange Variabel Namen zu vermeiden.

Berechnungen Ballonhülle

$$F_{\text{nutz}} = F_A - G_{\text{Hülle}} - G_{\text{Gas}}$$

$$F_{\text{nutz}} = m_{\text{nutz}} \cdot g \triangleq \text{nützbarer Auftriebskraft}$$

$$F_A = V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot g \triangleq \text{Auftriebskraft} \quad | V_{\text{Bal}} \triangleq \text{Volumen Ballon}$$

$$G_{\text{Hülle}} = m_{\text{Hülle}} \cdot g \triangleq \text{Gewichtskraft der Ballonhülle}$$

$$G_{\text{Gas}} = V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Gas}} \cdot g \triangleq \text{Gewichtskraft des Traggases}$$

Allgemeine Formel:

$$\Rightarrow m_{\text{nutz}} \cdot g = V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot g - m_{\text{Hülle}} \cdot g - V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Gas}} \cdot g$$

ρ_{Luft} und ρ_{Gas} sind abhängig von Druck und Temperatur
und somit von der Höhe

$m_{\text{Hülle}}$ ist abhängig von der Form der Hülle

Berechnung für Kugelform

Eine Kugel hat das ideale Oberflächen/Volumen Verhältnis

Masse der Hülle berechnen:

$$m_{\text{Hülle}} = V_{\text{Hülle}} \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| \begin{array}{l} V_{\text{Hülle}} \hat{=} \text{Das Volumen des Materials der Hülle} \\ \rho_{\text{Hülle}} \hat{=} \text{Dichte des Materials der Hülle} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = A_0 \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| \begin{array}{l} A_0 = 4\pi r^2 \hat{=} \text{Oberfläche des Ballons} \\ d \hat{=} \text{Dicke der Ballonhülle} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = 4\pi r^2 \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| r = \sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} V} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = 4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{V_{\text{Bal}}}{\pi}} \right)^2 \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}}$$

In allgemeine Formel einsetzen:

$$m_{\text{nutz}} \cdot g = V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Luft}} \cdot g - m_{\text{Hülle}} \cdot g - V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Gas}} \cdot g$$

$$\Rightarrow m_{\text{nutz}} = \underbrace{V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Luft}}}_{\text{verdrängte Luft}} - \underbrace{4\pi \left(\sqrt[3]{\frac{3}{4\pi} \frac{V_{\text{Bal}}}{\pi}} \right)^2 \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}}}_{m_{\text{Hülle}}} - \underbrace{V_{\text{Bal}} \cdot \rho_{\text{Gas}}}_{\text{Masse Traggas}}$$

Berechnung für Zylinder
Masse der Hülle berechnen:

$$m_{\text{Hülle}} = V_{\text{Hülle}} \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| \begin{array}{l} V_{\text{Hülle}} \triangleq \text{Das Volumen des Materials der Hülle} \\ \rho_{\text{Hülle}} \triangleq \text{Dichte des Materials der Hülle} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = A_0 \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| \begin{array}{l} A_0 = 2\pi r^2 + 2\pi r h \\ d \triangleq \text{Dicke der Ballonhülle} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = (2\pi r^2 + 2\pi r h) d \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| \begin{array}{l} \text{Für ideales Oberflächen/Volumen Verhältnis:} \\ h = 2r \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = (2\pi r^2 + 4\pi r^2) d \cdot \rho_{\text{Hülle}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = 6\pi r^2 \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}} \quad \left| \quad r = \sqrt[3]{\frac{V_{\text{Bal}}}{2\pi}} \right.$$

$$\Rightarrow m_{\text{Hülle}} = 6\pi \left(\frac{V_{\text{Bal}}}{2\pi} \right)^{2/3} \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}}$$

In allgemeine Formel einsetzen:

$$m_{\text{Wasser}} = \underbrace{V_{\text{Bal}} \rho_{\text{Luft}}}_{\text{Verdrängte Luft}} - \underbrace{6\pi \left(\frac{V_{\text{Bal}}}{2\pi} \right)^{2/3} \cdot d \cdot \rho_{\text{Hülle}}}_{m_{\text{Hülle}}} - \underbrace{V_{\text{Bal}} \rho_{\text{Gas}}}_{\text{Masse Traggas}}$$

Implementierung Formeln

Beide Terme enthalten einen linearen und einen nicht linearen Anteil. Ist das Ballonvolumen (V_{bal}) gesucht ist eine Analytische Lösung nicht möglich. Es muss numerisch gelöst werden. Hierzu wird ein einfaches iteratives Approximationsverfahren angewendet. Für die erste Annäherung wird V_{bal} auf 0 gesetzt und die Schrittweite zur Annäherung auf 1. Nach jedem rechen Durchgang wird die Schrittweite verdoppelt und zu V_{bal} hinzu addiert, bis der Wert der gesuchten Nutzlast überschritten wird. Wurde eine Überschreitung festgestellt wird die Schrittweite halbiert und von V_{bal} subtrahiert bis wiederum eine Überschreitung des gesuchten Wertes festgestellt wurde. Die Schrittweite wird abermals halbiert und zu V_{bal} addiert. Auf diese Weise nähert sich das Ergebnis bei jedem Schritt an den gesuchten Wert. Sobald der angenäherte Wert in einer akzeptablen Toleranz liegt wird der Vorgang abgebrochen und die berechneten Werte ausgegeben.

Geplante Features

- Die Möglichkeit zum Anlegen einer Materialdatenbank durch den Nutzer
- NRLMSISE-00 Modell implementieren für ein besseres ortsabhängiges Atmosphärenmodell (<https://pypi.org/project/nrlmsise00/> zurzeit in Beta Phase)
- Kostenberechnung
- GUI