

Zeitschrift: Allgemeine schweizerische Militärzeitung = Journal militaire suisse =
Gazetta militare svizzera

Band: 84=104 (1938)

Heft: 7

Artikel: Ueber die Steiggeschwindigkeit der Pilotballone

Autor: Preiswerk, Ernst

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-15404>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Die Gesamtzeit aller sechs Kurse umfasst 25 Stunden Theorie und 43 Stunden praktische Ausbildung. Das gleiche Arbeitsprogramm könnte in einem technischen Kurs in 9 Arbeitstagen unterrichtet werden. Damit die Kursteilnehmer für den Dienstgebrauch auf das Gelernte zurückgreifen können, wird für jeden Kurs ein Merkblatt mit Skizzen ausgearbeitet.

Alle diese Uebungen haben erst dann den gewünschten Erfolg, wenn die Regimentskommandanten in den Wiederholungskursen ihren Kompaniekommandanten und Zugführern Gelegenheit geben, im Rahmen von Truppenübungen das Gelernte mit der eigenen Truppe anzuwenden. Es sei an dieser Stelle mit Befriedigung anerkannt, dass dieser Wunsch bereits mehrfach erfüllt wurde.

Ueber die Steiggeschwindigkeit der Pilotballone

Von *Dr. Ernst Preiswerk, Dipl. Ing.*

1. Einleitung.

Oft ist es nötig, oder doch nützlich, die Windgeschwindigkeit nach Grösse und Richtung in verschiedenen Höhen über dem Boden zu kennen. Zur Messung der Windgeschwindigkeit lässt man einen kleinen Ballon (Pilotballon) steigen und verfolgt diesen mit Theodoliten. Wenn man ihn mit zwei Instrumenten verschiedenen Standortes verfolgt und in beliebigen Zeitabständen, z. B. alle Minuten, gleichzeitig mit beiden Theodoliten Azimut und Elevation des Pilotballons misst, so bestimmen diese seine räumliche Lage in den betreffenden Zeitpunkten. Je zwei Punkte (Abstand) und der zugehörige Zeitunterschied geben die mittlere Geschwindigkeit, mit der sich der Ballon zwischen den beiden Punkten im Raum bewegt hat. Bei vorwiegend horizontaler Luftbewegung gibt die Horizontalkomponente dieser Geschwindigkeit die gesuchte Windgeschwindigkeit, währenddem die Vertikal-komponente die Ballonsteiggeschwindigkeit ist. Die gleichzeitige Beobachtung von zwei verschiedenen Standorten aus ist umständlich und schwierig durchzuführen.

Nun lässt sich aber die Steiggeschwindigkeit aus Ballondurchmesser, Steigkraft, Barometerstand und Temperatur der Luft berechnen. — Als Steigkraft sei die Kraft bezeichnet, mit der der Ballon an seiner Befestigung ziehen würde, wenn er angebunden wäre. Sie lässt sich direkt wägen. Sie ist gleich dem Auftrieb (physikalisch gesprochen) vermindert um das Gewicht der Ballonhülle und der Gasfüllung. — Kennt man die Steiggeschwindigkeit im vornherein, so braucht man zur Bestimmung der Bahn des Pilotballons nur die Messung von Azimut und Ele-

vation von einem einzigen Standort aus. Gewöhnlich wird angenommen, die Steiggeschwindigkeit sei während des Steigens *unverändert*, d. h. der Ballon steige in jeder Minute um gleichviel (z. B. 120 m) höher, unabhängig davon, wie hoch über Boden er selber schon ist.

Es soll hier untersucht werden, ob man zu dieser Annahme berechtigt ist, und wie gross der dadurch begangene Fehler wird.

2. Steiggeschwindigkeit am Boden.

Zuerst wollen wir eine kleine Betrachtung über die Steiggeschwindigkeit des Ballons am Boden durchführen.

Der Pilotballon werde als Kugel vom Durchmesser D (m) mit dem Widerstandsbeiwert c_w betrachtet. Der Beiwert c_w kann in dem in Betracht fallenden Gebiet konstant $c_w = 0,47$ gesetzt werden¹⁾. Steigt diese Kugel in der Luft von der Dichte ρ (kg. sec $2/m^4$) mit der Geschwindigkeit c (m/sec), so berechnet sich der Luftwiderstand W (kg) nach der Formel

$$W = c_w \cdot \frac{\rho}{2} c^2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Wenn sich der Ballon mit konstanter Geschwindigkeit bewegt, sind keine Beschleunigungskräfte vorhanden. Er steigt dann so rasch, dass sein Widerstand gleich der Steigkraft S (kg) wird:

$$W = S \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Aus den Gleichungen (1) und (2) erhält man für c :

$$c = \sqrt{\frac{8 S}{c_w \pi D^2 \rho}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Die Steiggeschwindigkeit ist ausser von der Steigkraft und dem Durchmesser auch noch von der Luftdichte, also vom Barometerstand und der Temperatur abhängig. Für Barometerstand $b = 735,5$ mm Hg und Temperatur $t = 10^\circ \text{C}$ ($T = 283^\circ \text{abs.}$) ist sie in Abb. 1 dargestellt. Drückt man in Gleichung 3 ρ durch Druck und Temperatur nach der Gasgleichung aus, so sieht man, dass für einen andern Barometerstand b_1 und andere absolute Temperatur T_1

$$c_1 = c \cdot \sqrt{\frac{T_1/T}{p_1/p}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

wird.

1) «Hütte», 1. Bd., 1931, 26. Aufl., S. 389.

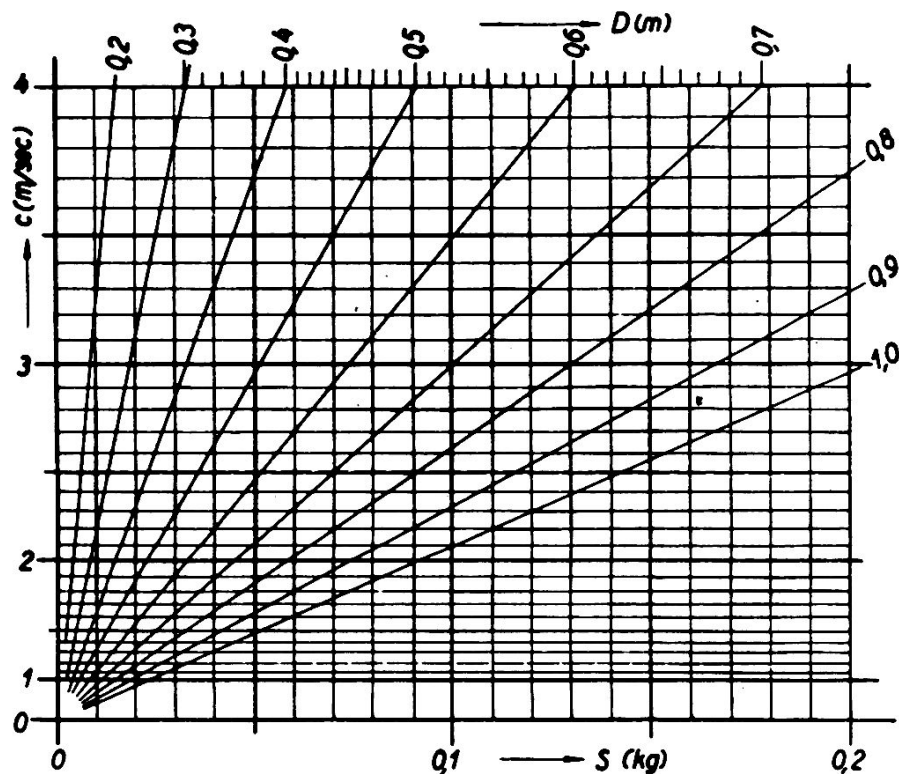


Abb. 1. Steiggeschwindigkeit, abhängig von Steigkraft und Ballondurchmesser für $b = 735,5$ mm Hg und $T = 283^\circ$ abs. (10° C).

3. Verhalten der Steiggeschwindigkeit während des Steigens.

Wir wollen nun feststellen, wie schnell der Ballon steigt, im Augenblick, wo er sich in H km Höhe über Boden befindet.

Im folgenden bedeute:

γ_{H_2} das spezifische Gewicht der Ballonfüllung (normalerweise Wasserstoff),

γ_L das spezifische Gewicht der Luft in der Höhe H über Boden.

G_1 das Gewicht der Ballonfüllung und

G_2 das Gewicht der Ballonhülle²⁾.

Der Zeiger 0 beziehe sich auf die betreffenden Werte bei $H = 0$ km; so bedeute beispielsweise γ_{L_0} das spezifische Gewicht der Luft am Boden.

Das Gewicht G_1 der Füllung ist während des Steigens konstant, und kann also insbesondere ausgedrückt werden durch

$$G_1 = \frac{\pi D_0^3}{6} \gamma_{H_2_0}$$

²⁾ Eine Pilotballonsorte, die in den letzten Jahren bei den Ballontruppen gebraucht wurde, hatte $G_2 = 0,022$ kg.

Ebenso ist das Ballongewicht *samt* Füllungsgewicht:

$G_0 = G_1 + G_2$ beim Steigen konstant. Da der Auftrieb A (kg) in einer beliebigen Höhe H

$A = \gamma_L \cdot \frac{\pi D^3}{6}$ ist, so wird dort die Steigkraft

$$S = \gamma_L \cdot \frac{\pi D^3}{6} - G_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

S hängt von der Höhe H über Boden ab, indem sich das spezifische Gewicht der Luft und der Ballondurchmesser beim Steigen verändern.

Die Steiggeschwindigkeit ändert sich, wie das Ergebnis unserer Betrachtung zeigen wird, sehr langsam. Die Beschleunigungskraft kann man gegenüber Widerstand und Steigkraft vernachlässigen, und deshalb gilt auch jetzt ständig:

$$W = S$$

Setzt man darin den Widerstand W aus Gleichung (1) und die Steigkraft S aus Gleichung (5) ein, so wird

$$c_W \cdot \frac{\rho_L}{2} c^2 \cdot \frac{\pi D^2}{4} = \gamma_L \cdot \frac{\pi D^3}{6} - G_0$$

Daraus erhält man das Quadrat der Steiggeschwindigkeit zu

$$c^2 = \left(D - \frac{6 G_0}{\pi \gamma_L \cdot D^2} \right) \cdot \frac{4 g}{3 c_W}$$

Insbesondere gilt für $H = 0$ km

$$c_0^2 = \left(D_0 - \frac{6 G_0}{\pi \gamma_{L_0} \cdot D_0^2} \right) \cdot \frac{4 g}{3 c_W}$$

Durch Division der beiden letzten Gleichungen bekommt man:

$$(c/c_0)^2 = \frac{(D/D_0) - \frac{6 G_0}{\pi D_0^3 \cdot \gamma_{L_0}} \cdot \frac{1}{(\gamma_L/\gamma_{L_0})(D/D_0)^2}}{1 - \frac{6 G_0}{\pi D_0^3 \cdot \gamma_{L_0}}} \quad . \quad . \quad (6)$$

Damit haben wir einen Ausdruck für die Steiggeschwindigkeit in beliebiger Höhe H , wenn man dort das spezifische Gewicht der Luft und den Ballondurchmesser kennt. Der Druck, die Temperatur und damit auch das spez. Gewicht γ_L der Luft sind in Abhängigkeit von der Höhe bekannt und durch die sogenannte «Normalatmosphäre» gegeben³⁾. Diese Werte sind in Tabelle I für den

³⁾ Siehe etwa «H ü t t e», 1. Bd., 1931, 26. Aufl., S. 411, oder H. G l a u e r t, die Grundlagen der Tragflügel- und Luftschraubentheorie. Springer, Berlin 1929, S. 8.

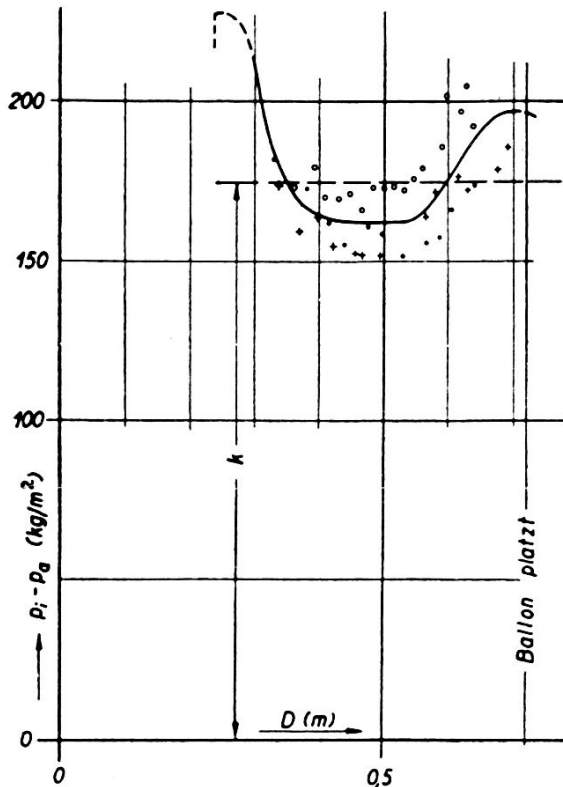


Abb. 2. Zusammenhang zwischen Durchmesser D und Ueberdruck im Balloninnern ($p_i - p_a$).

Barometerstand 735,5 mm und die Temperatur 10°C zusammen-
gestellt.

Wir müssen nun noch den *Ballondurchmesser D in Funktion der Höhe* ermitteln.

Die schon eingeführten Bezeichnungen sollen durch die folgenden ergänzt werden:

- p_a (kg/m^2) der Druck der Luft,
- T ($^\circ\text{abs}$) die absolute Temperatur der Luft,
- p_i der Druck des Wasserstoffes im Balloninnern und
- R die Gaskonstante des Wasserstoffes.

Für den im Ballon eingeschlossenen Wasserstoff gilt die Gasgleichung

$$p_i \cdot V = G_1 R T \quad (V = D^3 \cdot \pi/6).$$

Dabei ist angenommen, der Ballon steige so langsam, dass die Temperatur der Füllung ständig gleich der Lufttemperatur sei. Insbesondere ist für $H = 0 \text{ km}$

$$p_{i_0} \cdot V_0 = G_1 R T_0.$$

Weil das eingeschlossene Gewicht G_1 auf jeder Höhe dasselbe ist, folgt aus diesen beiden Gleichungen durch Division

$$p_i \cdot (D/D_0)^3 = p_{i_0} \cdot (T/T_0). \quad (7)$$

Mit drei Exemplaren der schon erwähnten Ballonsorte wurde durch Aufblasen mit Luft der von der Druckdifferenz $p_i - p_a$ abhängige Ballondurchmesser gemessen. Das Versuchsergebnis ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Rechnung vereinfacht sich nun wesentlich, wenn man $p_i - p_a$ als vom Ballondurchmesser unabhängige Konstante k setzt, also

$$p_i - p_a = k$$

Entnehmen wir daraus p_i und setzen dies in Gleichung (7) ein, so wird

$$(D/D_0)^3 = \frac{(k + p_{a_0}) \cdot T/T_0}{k + p_a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Jetzt kann man leicht einsehen, dass der durch konstantsetzen von $p_i - p_a$ begangene Fehler auf den Durchmesser äusserst gering ist. Wie man aus Abb. 2 sieht, ist der Fehler etwa $\pm 10\%$ von k . Nun ist aber in 12 km Höhe p_a immer noch etwa 10mal grösser als k selber. Somit ist der Fehler, den wir im Nenner von Gleichung (8) gemacht haben, in dieser grossen Höhe (kleines p_a) erst 1% . Der Fehler im Zähler ist noch bedeutend kleiner und wirkt sich ausserdem noch entgegengesetzt aus.

Mit Gleichung 8 haben wir den Ballondurchmesser in Abhängigkeit von H . Die danach berechneten Werte D/D_0 sind in Tabelle I eingetragen und in Abb. 3 dargestellt. Der Ballondurchmesser nimmt mit der Höhe zu. Aussen- und Innendruck nehmen beide ab.

Jetzt sind wir auch in der Lage, die Steiggeschwindigkeit als Funktion der Höhe zu berechnen. Wir müssen nur die nach Gleichung (8) gefundenen Durchmesser in der Gleichung (6) einsetzen. Die so gefundenen Steiggeschwindigkeiten c bezogen auf den Anfangswert c_0 sind ebenfalls in Tabelle I eingeschrieben und in Abb. 3 dargestellt⁴⁾.

4. Zusammenfassung.

Es wurde untersucht, wie sich die Steiggeschwindigkeit eines Pilotballons während des Steigens ändert. Wie das in Abb. 3 aufgetragene Ergebnis zeigt, nimmt sie mit der Höhe, in der sich der Ballon befindet, zu. Sie ist ungefähr um 17% ihres Anfangswertes gewachsen, wenn der Ballon 10 km hoch ist. In dem meist gebrauchten Bereich von $H = 0$ bis $H = 3$ km ist die Annahme konstanter Steiggeschwindigkeit zulässig. Nur für Messungen, die in grosse Höhen gehen, sollte unter Umständen die Zunahme berücksichtigt werden.

4) Das gerechnete Zahlenbeispiel gilt für $D_0 = 0,45$ m, $t_0 = + 100^\circ \text{C}$, $p_{a_0} = 10\,000$ kg/m² (735,5 mm Hg), Wasserstofffüllung, Hüllengewicht $G_2 = 0,022$ kg, $G_0 = 0,026$ kg; $k = 175$ kg/m²; $\frac{6 G_0}{\pi D_0^3 \cdot \gamma_{L_0}} = 0,451$.

Tabelle I

H km	p_a kg/m ²	t °C	T °abs	T/T_0 —	γ_L/γ_{L_0} —	D/D_0 —	c/c_0 —
0	10000	+10	283	1,0	1,0	1,0	1,0
1	8900	+ 5	278	0,982	0,906	1,035	1,016
2	7840	0	273	0,965	0,812	1,070	1,031
3	6950	- 5	268	0,947	0,733	1,107	1,047
4	6100	-10	263	0,929	0,657	1,148	1,064
5	5330	-15	258	0,912	0,585	1,188	1,081
6	4650	-20	253	0,894	0,520	1,233	1,099
7	4060	-25	248	0,876	0,463	1,280	1,116
8	3540	-30	243	0,859	0,412	1,328	1,133
9	3060	-35	238	0,841	0,364	1,378	1,150
10	2670	-40	233	0,823	0,324	1,428	1,165

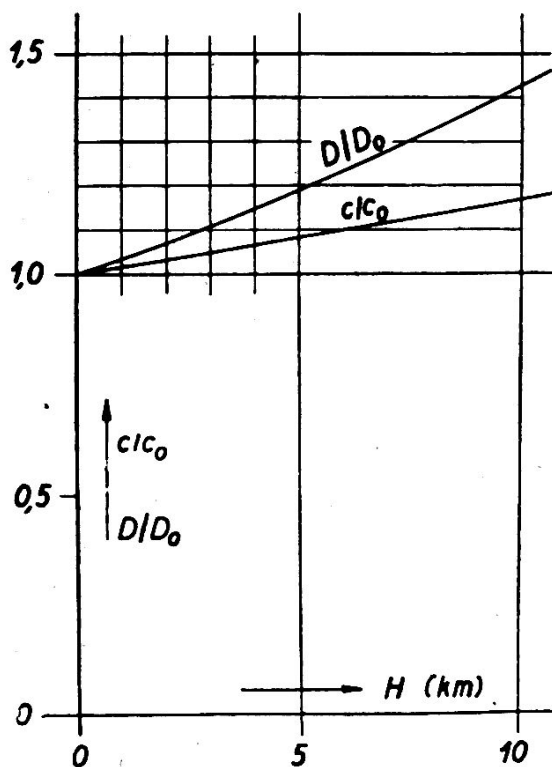


Abb. 3. Ballondurchmesser D und Steiggeschwindigkeit c in Abhängigkeit von der Höhe H .