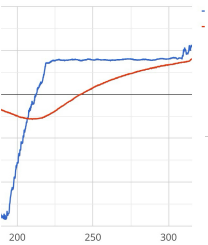
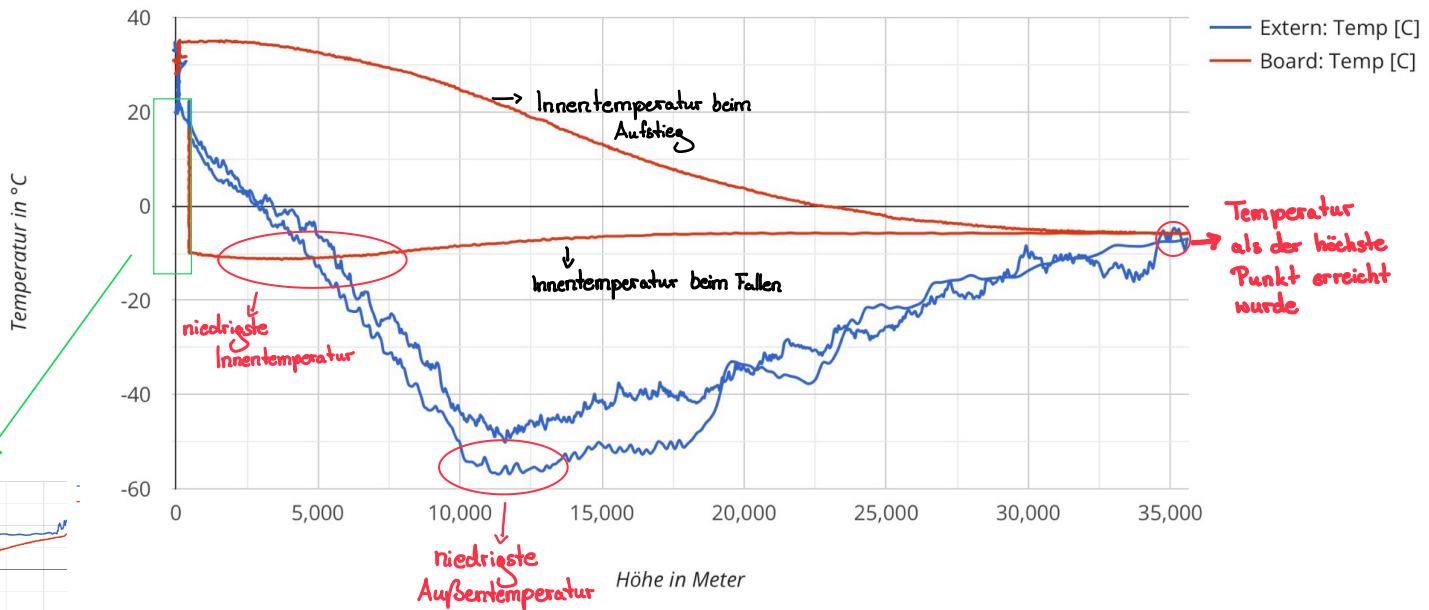
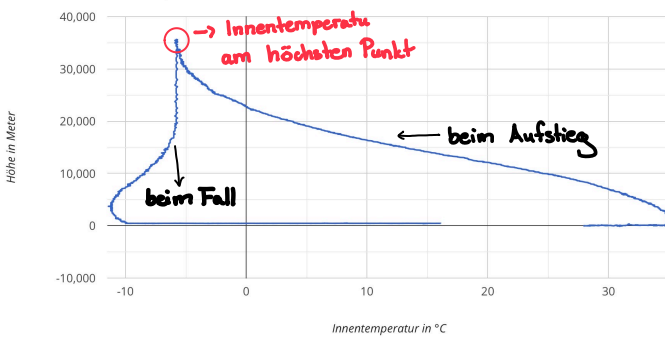


Temperatur:

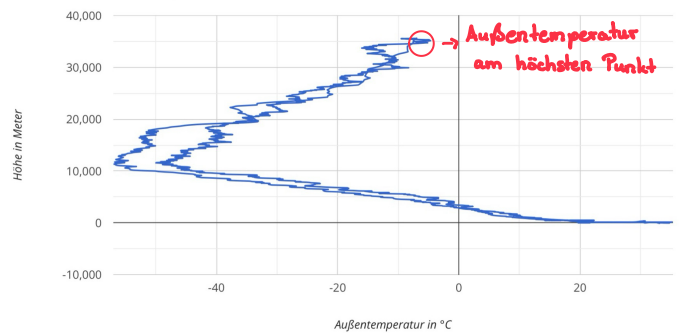
Höhe / Außen- und Innentemperatur



Innentemperatur / Höhe



Außentemperatur / Höhe



Beobachtungen:

- max. Innentemperatur: 35.1 °C
- min. Innentemperatur: -11.4 °C
- max. Außentemperatur: 35.2 °C
- min. Außentemperatur: -56.9 °C

-> die maximale Außentemperatur wurde beim Start und am Ende erreicht, von dort aus sind die Temperaturen gesunken bis die minimale Temperatur bei einer Höhe von ca. 12000 m erreicht wurde, bei einer maximalen Höhe von 35618 m lag die Außentemperatur bei ca. -8 °C.

-> die maximale Innentemperatur war beim Start mit ca. 35 °C, daraufhin ist die Innentemperatur stetig gefallen, bis die Temperatur am höchsten Punkt bei ca. -6 °C lag, auch beim Fall ist die Temperatur weiter gefallen bis auf -11,4 °C und erst als die Sonde gelandet ist, ist die Innentemperatur wieder sehr schnell auf ca. 18°C gestiegen.

Deutungen:

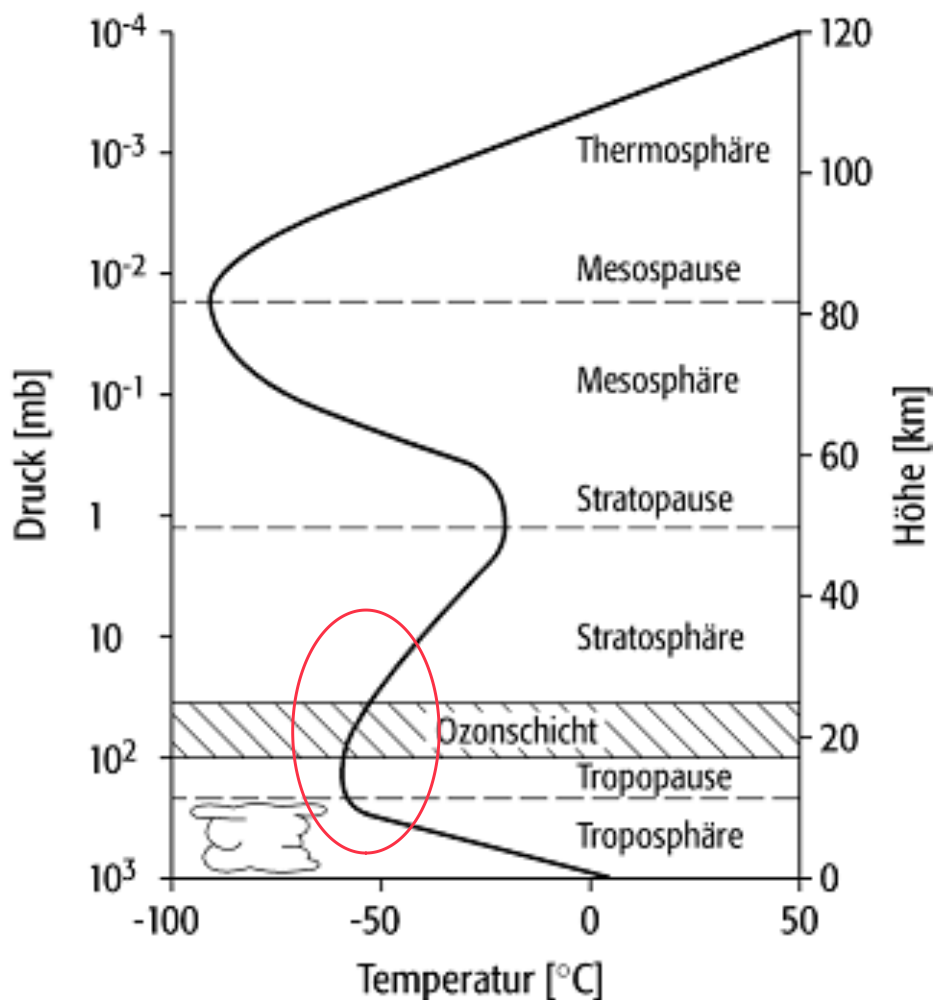
In der Tropopause (der Grenze der Troposphärenschicht) wurden die niedrigsten Temperaturen erreicht). Dies liegt daran, dass es dort kühler ist, als in der Stratosphärenschicht. Die Troposphäre ist die Schicht, die am nächsten zur Erde liegt. Hier wird nur noch kurzwellige Sonnenstrahlung durchgelassen, die vom Erdboden als Infrarotstrahlen reflektiert wird und die Luft in der Troposphäre erwärmt. Deswegen ist die Luft, die näher am Erdboden liegt wärmer und je höher man mit dem Wetterballon aufsteigt, desto kälter wird es.

Andererseits befindet sich in der Stratosphäre die Ozonschicht. Dadurch wird energiereiche ultraviolette Strahlung der Sonne absorbiert und in Wärme umgewandelt. Je näher man also der Sonne kommt, desto mehr UV-Strahlung wird absorbiert und desto wärmer wird es.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass zwischen den beiden Phasen (Troposphäre und Stratosphäre) deswegen die niedrigste Temperatur vorliegen musste, was sich durch unsere Ergebnisse bestätigt hat.

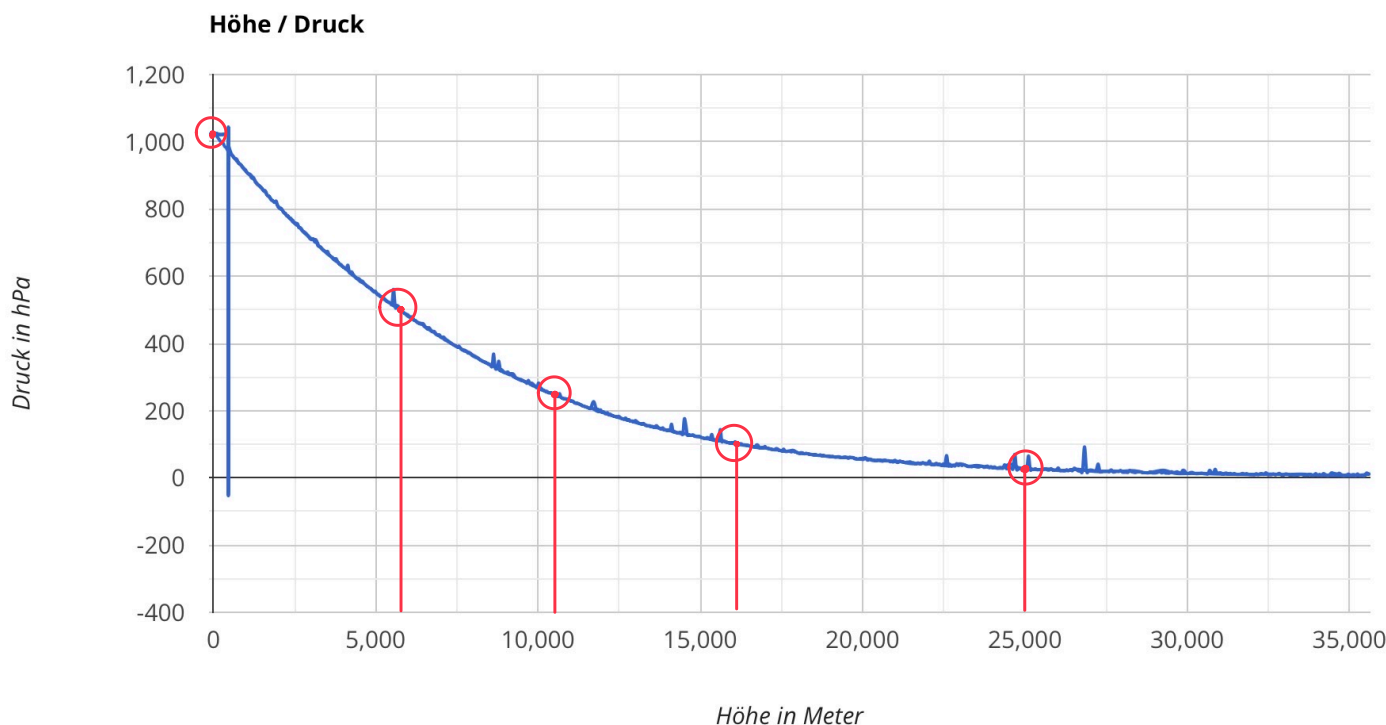
Normaler Verlauf der Temperatur

-> entspricht unser Ergebnis der Grafik zur Außentemperatur während des Fluges



Quelle: http://www.techniklexikon.net/d/die_atmosph%C3%A4re/die_atmosph%C3%A4re.htm

Druck:



Der Graph zeigt den Luftdruck in hPa während des Fluges in Abhängigkeit von der Höhe in Metern. Info: Pa (Pascal) ist die offizielle Einheit des Drucks. hPa (Hektopascal) entspricht 100 Pascal (10^2 Pascal).

Beobachtungen:

- Anfangswert bei einer Höhe von 0 m (beim Start): etwas über 1000 hPa
- Entspricht dem Standardwert eines Luftdrucks von 1013,25 hPa auf Meereshöhe
- Allgemeine Tendenz: Mit steigender Höhe nimmt der Luftdruck ab.
- Kleine Zacken zwischendurch an manchen Stellen
- Weitere markante bzw. nennenswerte Punkte während des Fluges:
 - Höhe von ca. 5600 m: Abfall auf die Hälfte des Anfangswertes (500 hPa)
 - Nächste Halbierung des Drucks: in einer Höhe von ca. 10 625 m bei einem Druck von 250 hPa
 - Erstmalige Unterschreitung der Marke von 100 hPa bei einer Höhe von 16 250 m
 - Ab einer Höhe von 25 000 m nähert sich der Druckwert immer weiter der Null an (bei 25 000 m beträgt der Druck nur noch ca. 10 hPa); die Abnahme wird dabei immer geringer.
- Gesamte Entwicklung der Kurve: Sie fällt zu Beginn sehr steil ab und flacht mit zunehmender Höhe immer weiter ab.

Deutungen:

Der Luftdruck verändert sich mit zunehmender Höhe nicht konstant linear, sondern nimmt exponentiell ab. Das bedeutet, dass der Druck immer proportional zu seinem aktuellen Wert sinkt. Die visuelle Darstellung entspricht damit der barometrischen Höhenformel. Außerdem lässt sich eine Atmosphärgrenze erkennen, da der Luftdruck ab einer Höhe von etwa 20 000 bis 25 000 m nur noch sehr gering abnimmt. Dies deutet darauf hin, dass die Luftschichten in diesen Höhen bereits sehr dünn sind. Die kleinen Zacken in der Messkurve sind höchstwahrscheinlich auf Erschütterungen oder kurzzeitige Instabilitäten des Sensors während des Fluges zurückzuführen.

Exkurs: Barometrische Höhenformel

Die barometrische Höhenformel beschreibt, wie der Luftdruck mit zunehmender Höhe exponentiell abnimmt, und wird deshalb häufig in der Meteorologie und Physik verwendet.

Sie basiert auf den Arbeiten von Evangelista Torricelli sowie späteren Forschungen von Blaise Pascal (nach dem die Einheit Pascal benannt ist) im 17. Jahrhundert.

Die Formel lautet: $p(h) = p_0 \cdot e^{-\frac{Mgh}{RT}}$

p_0 = Luftdruck auf Meereshöhe

M = Molare Masse der Luft

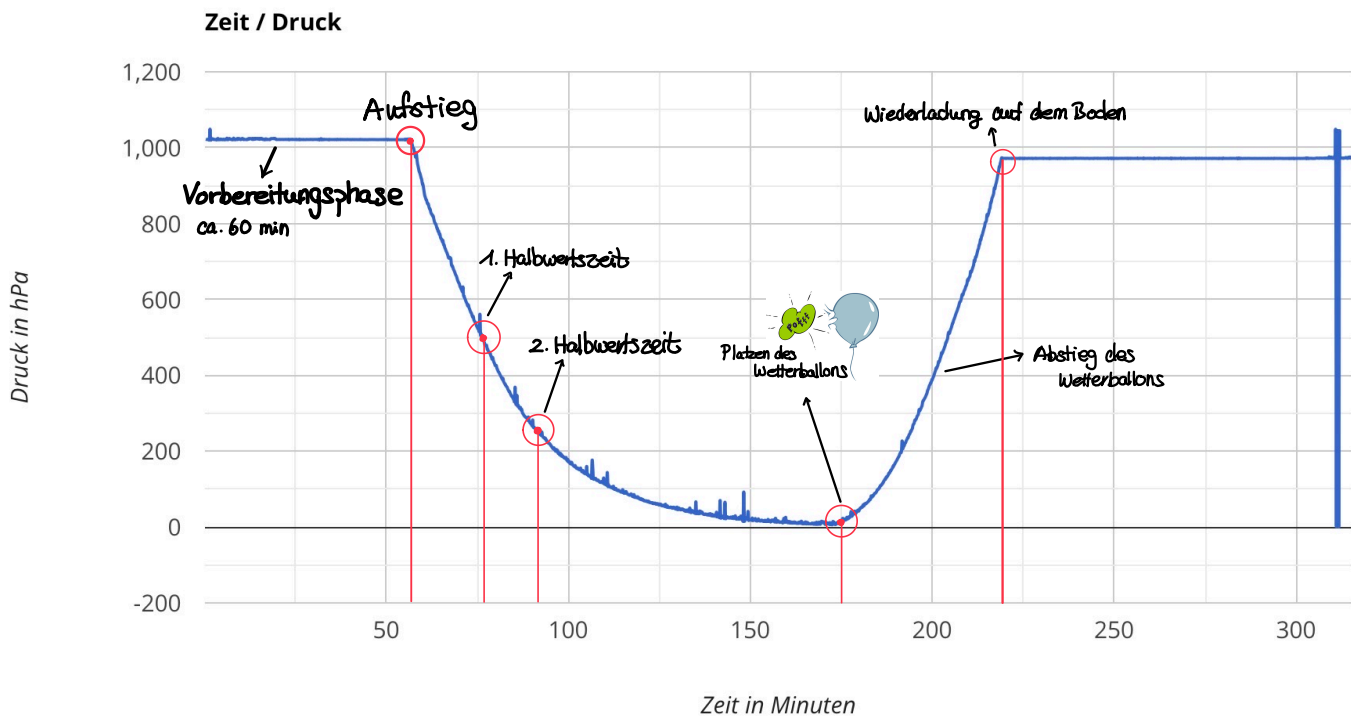
g = Erdbeschleunigung

h = Höhe

R = Universelle Gaskonstante

T = Temperatur in Kelvin

Heute wird sie beispielsweise zur Berechnung der Flughöhe von Flugzeugen, in Wettermodellen und bei der Bestimmung der Höhe von Bergen verwendet.



Die Grafik zeigt den Luftdruck in hPa während des Fluges in Abhängigkeit von der Zeit in Minuten (ab dem Anschalten des Messgeräts).

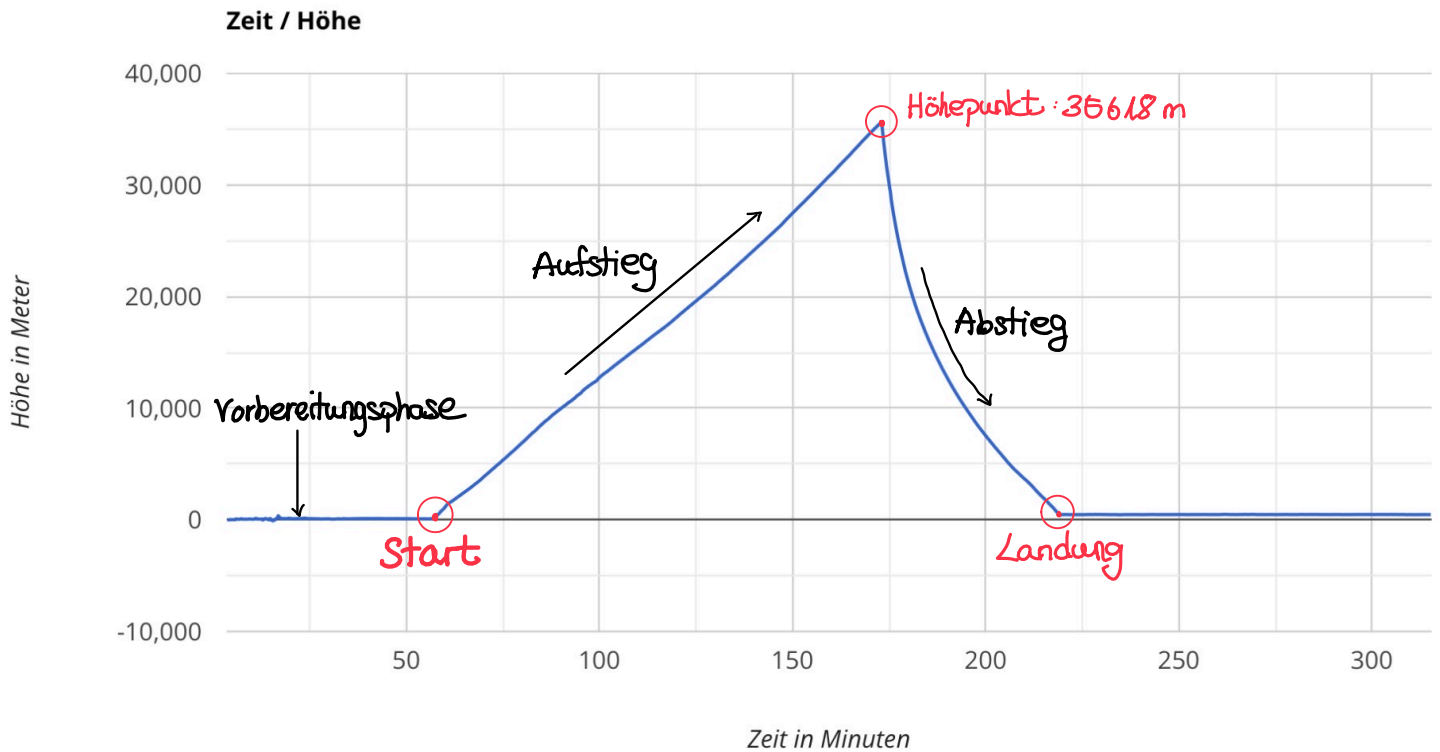
Beobachtungen:

- Plateau zu Beginn: konstanter Luftdruck in den ersten ca. 55 Minuten bei etwa 1020 hPa (Anfangswert) → Vorbereitungsphase für den Aufstieg
- Kontinuierlicher Druckabfall nach ca. 55 Minuten, also **direkt nach dem Start des Wetterballons**
- Markante bzw. nennenswerte Punkte während des Druckabfalls:
 - 1. Halbwertszeit bei Minute 75 (**20 Minuten nach dem Aufstieg**) mit einem Luftdruck von 500 hPa (Halbierung des Anfangswertes)
 - 2. Halbwertszeit bei Minute 86 (**31 Minuten nach dem Start**) mit einem Luftdruck von ca. 250 hPa
 - Tiefpunkt: nahezu 0 hPa nach etwa 175 Minuten (**120 Minuten nach dem Start**)
- Minimumphase: Zwischen Minute 150 und ca. Minute 175 (**95–120 Minuten nach dem Start**) verharrt der Druck auf einem extrem niedrigen Niveau nahe dem Nullpunkt.
- Steiler Druckanstieg ab Minute 175 (**120 Minuten nach dem Aufstieg**)
- Erreichen des ursprünglichen Niveaus von ca. 1000 hPa bei etwa Minute 220 (**165 Minuten nach dem Aufstieg**) → Landung
- Abschlussplateau: Von Minute 220 bis ca. Minute 310 (**165 bis 255 Minuten nach dem Start**) bleibt der Druck wieder weitgehend stabil.
- Über den gesamten Kurvenverlauf sind kleine Zacken (Rauschen) zu erkennen.

Deutungen:

Der sinkende Luftdruck zwischen etwa 55 und 150 Minuten nach Messbeginn beziehungsweise **direkt nach dem Start bis ungefähr 95 Minuten danach** deutet auf den Aufstieg der Sonde in immer größere Höhen hin. Die Form der Kurve spiegelt dabei die **barometrische Höhenformel** wider und steht somit im Einklang mit unserer Grafik zu Druck in Abhängigkeit von der Höhe. Die Phase am Tiefpunkt des „Tals“ zwischen etwa 150 und 175 Minuten (**95 bis 120 Minuten nach dem Start**) zeigt den Aufenthalt der Sonde in den obersten Atmosphärenschichten mit dem geringsten Luftdruck. Anschließend platzt vermutlich der Ballon nach 175 Minuten (**120 Minuten nach dem Start**). Der darauffolgende Anstieg des Luftdrucks zwischen etwa 175 und 220 Minuten (**120 bis 165 Minuten nach dem Start**) markiert den Rückflug der Sonde zur Erde. Da dieser Anstieg steiler verläuft als der vorherige Druckabfall, lässt sich darauf schließen, dass der Abstieg am Fallschirm schneller erfolgte als der Aufstieg.

Höhe



Die Grafik zeigt die Höhe des Wetterballons in Metern während des Fluges in Abhängigkeit von der Zeit in Minuten.

Beobachtungen:

- Stillstand am Anfang von Minute 0 bis etwa Minute 58: Höhe konstant auf der Nulllinie (**Vorbereitungsphase**)
- Anstieg der Höhe ab Minute 55
- Danach kontinuierlicher und nahezu konstanter Anstieg bis Minute 175, also **direkt ab dem Start bis etwa 120 Minuten danach**
- Maximalwert von 35618 Metern nach 174 Minuten (**119 Minuten nach dem Start**)
- Abnahme der Höhe ab Minute 175 (**120 Minuten nach dem Aufstieg**) mit einer gewissen Krümmung Erreichen der Nulllinie bei Minute 220
- Vergleich der benötigten Zeit für Auf- und Abstieg:
 - Aufstieg: ca. 114 Minuten
 - Abstieg: etwa 48 Minuten

Deutungen:

Die Steigung des Graphen vom Start bis zum Höhepunkt verläuft nahezu linear, was auf eine annähernd konstante Aufstiegs-geschwindigkeit hinweist. Durch Berechnungen ergibt sich dabei eine Geschwindigkeit von etwa 18 km/h. Der Höhepunkt bei 35618 Metern markiert die maximale Flughöhe und gleichzeitig die Plathöhe des Ballons. Der anschließende Abstieg ähnelt dagegen eher der Kurve eines freien Falls und weist daher, im Gegensatz zum Aufstieg, keine konstante Geschwindigkeit auf. Die Krümmung der Kurve während des Falls entsteht durch den zunehmenden Luftwiderstand in den dichteren, tieferen Luftschichten, wodurch die Fallgeschwindigkeit zunehmend abgebremst wird. Trotzdem wurde eine maximale Geschwindigkeit von 118 km/h gemessen.

Nach ungefähr 165 Minuten beziehungsweise etwa 2 Stunden und 45 Minuten nach dem Start ist die Sonde schließlich gelandet und wartet auf ihre Bergung.

Wetterballon-Auswertung

Stratosphärenflug vom 29. April 2026

1. Flugübersicht

Der Wetterballon wurde am 29. April 2026 gestartet und stieg innerhalb von **169,5 Minuten** auf eine Maximalhöhe von **35.618 m** über dem Meeresspiegel auf — das entspricht mehr als dem dreifachen des Mount Everest und liegt bereits in der Stratosphäre. Nach dem Platzen des Ballons sank die Sonde mit Fallschirm in **142,3 Minuten** wieder zur Erde

2. Steiggeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

Was ist Steiggeschwindigkeit?

Die Steiggeschwindigkeit (auch: Vertikalgeschwindigkeit) gibt an, wie viele Meter der Ballon pro Sekunde an Höhe gewinnt oder verliert. Sie wird aus der zeitlichen Änderung der GPS-Höhe berechnet:

$$V(z) = \Delta h / \Delta t \text{ [m/s]}$$

Ein positiver Wert bedeutet Aufstieg, ein negativer Wert Abstieg.

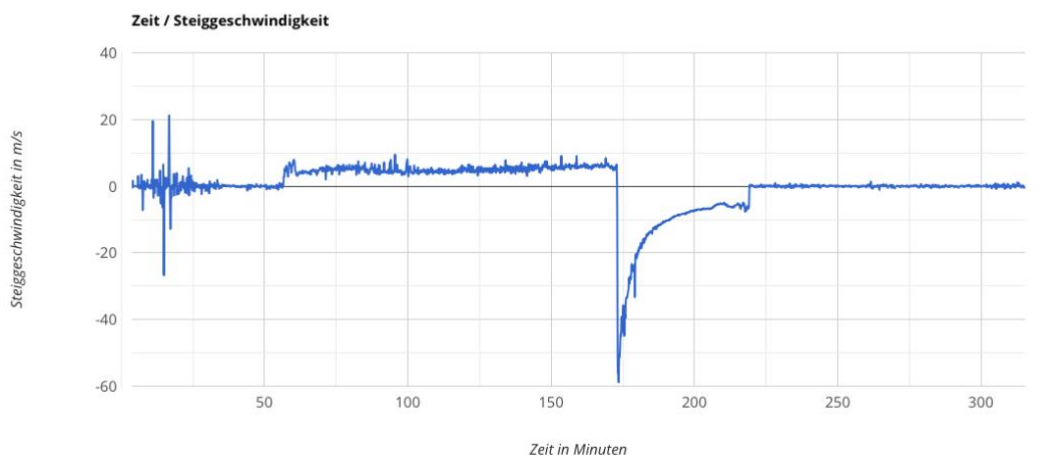


Abb. 1: Steiggeschwindigkeit in m/s über die gesamte Flugzeit

Verlauf und Interpretation

Zu Beginn (0–55 min) zeigen die GPS-Daten noch unregelmäßige Ausschläge. Ab Minute 60 steigt die Steiggeschwindigkeit im **stabilen Aufstieg** kontinuierlich von ca. **+4 m/s** auf bis zu **+6,4 m/s** an.

Die Zunahme erklärt sich physikalisch: Mit steigender Höhe nimmt die Luftdichte ab, der Luftwiderstand sinkt — bei konstantem Auftrieb durch das Helium beschleunigt der Ballon nach oben.

Bei Minute **~170** platzte der Ballon in ca. 35.000 m Höhe. Die Steiggeschwindigkeit springt schlagartig auf **-60 m/s** (freier Fall), bevor der Fallschirm aufgeht und die Sinkrate auf ca. **-5 bis -10 m/s** abbremst. Ab Minute 220 ist die Sonde gelandet — die Steiggeschwindigkeit geht auf Null zurück.

3. Bodengeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Zeit

Was ist Bodengeschwindigkeit?

Die Bodengeschwindigkeit ist die horizontale Geschwindigkeit der Sonde über dem Erdboden, gemessen vom GPS-Empfänger. Sie zeigt, wie stark der Ballon durch den Wind seitlich bewegt wird — unabhängig von seiner Aufwärtsbewegung.

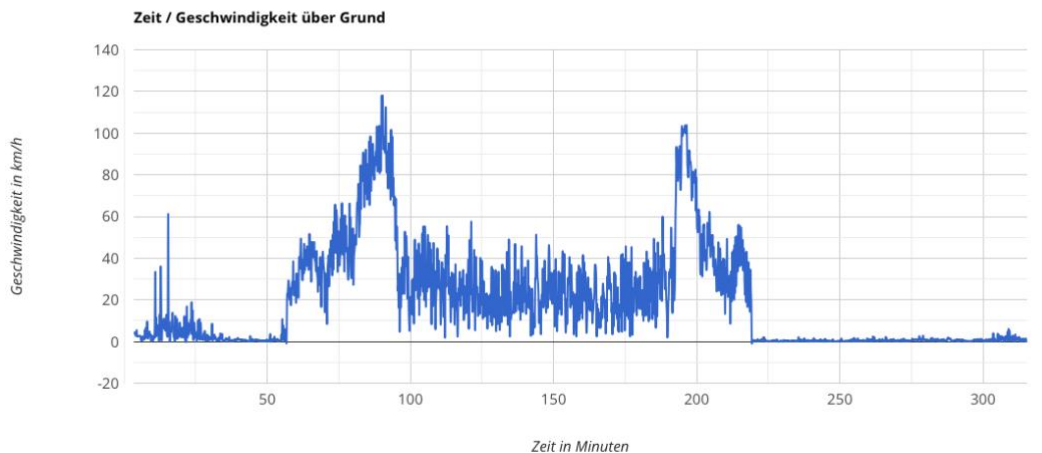


Abb. 2: Bodengeschwindigkeit (Geschwindigkeit über Grund) in km/h über die gesamte Flugzeit

Verlauf und Interpretation

In Bodennähe (0–55 min) war die Bodengeschwindigkeit sehr gering (0–5 km/h): kaum Wind, ruhige Startbedingungen.

Zwischen Minute 60 und 100 (Höhe ca. 6.000–12.000 m) stieg die Bodengeschwindigkeit stark an und erreichte ihr **Maximum von 118 km/h** bei ca. 10.000 m Höhe. Dies ist der Bereich der **Jetstreams** — hochenergetischer Windströmungen in der oberen Troposphäre, die Flugzeuge häufig nutzen oder meiden.

In der Stratosphäre (über 20.000 m, Minute 110–170) ließ der Wind deutlich nach (5–35 km/h). Beim **Abstieg durch dieselben Höhenschichten** (Minute 180–210) ist erneut ein deutlicher Geschwindigkeitshochpunkt bis 105 km/h sichtbar — der Ballon durchquert denselben Jetstream-Bereich auf dem Weg zurück.

Nach der Landung (ab Minute 220) liegt die Bodengeschwindigkeit bei Null — die Sonde steht still.

4. Zusammenhang beider Größen

Auf den ersten Blick wirken Steiggeschwindigkeit und Bodengeschwindigkeit völlig unabhängig — und physikalisch beschreiben sie tatsächlich zwei orthogonale Vektoren: einen **vertikalen** (Auf-/Abstieg) und einen **horizontalen** (Wind). Doch beide werden von derselben Größe beeinflusst: der **Luftdichte**.

- **Luftdichte → Steiggeschwindigkeit:** Je höher, desto dünner die Luft, desto geringer der Luftwiderstand → der Ballon steigt schneller. Sichtbar im Graphen: gleichmäßige Zunahme von +4 auf +6,4 m/s.

- **Luftdichte → Bodengeschwindigkeit:** Der Wind folgt atmosphärischen Druckgradienten. Die Jetstreams in 8.000–12.000 m entstehen an der Grenze von Troposphäre und Stratosphäre — erkennbar als Geschwindigkeitsspitzen in beiden Flugphasen (Auf- und Abstieg).
- **Platzzeitpunkt als Marker:** Bei Minute 170 wechseln beide Graphen gleichzeitig ihr Verhalten: Die Steiggeschwindigkeit stürzt ins Negative, die Bodengeschwindigkeit verändert sich durch den nun unkontrollierten Abstieg der Sonde. Dieses gemeinsame Muster die eindeutige Identifikation des Platzens.

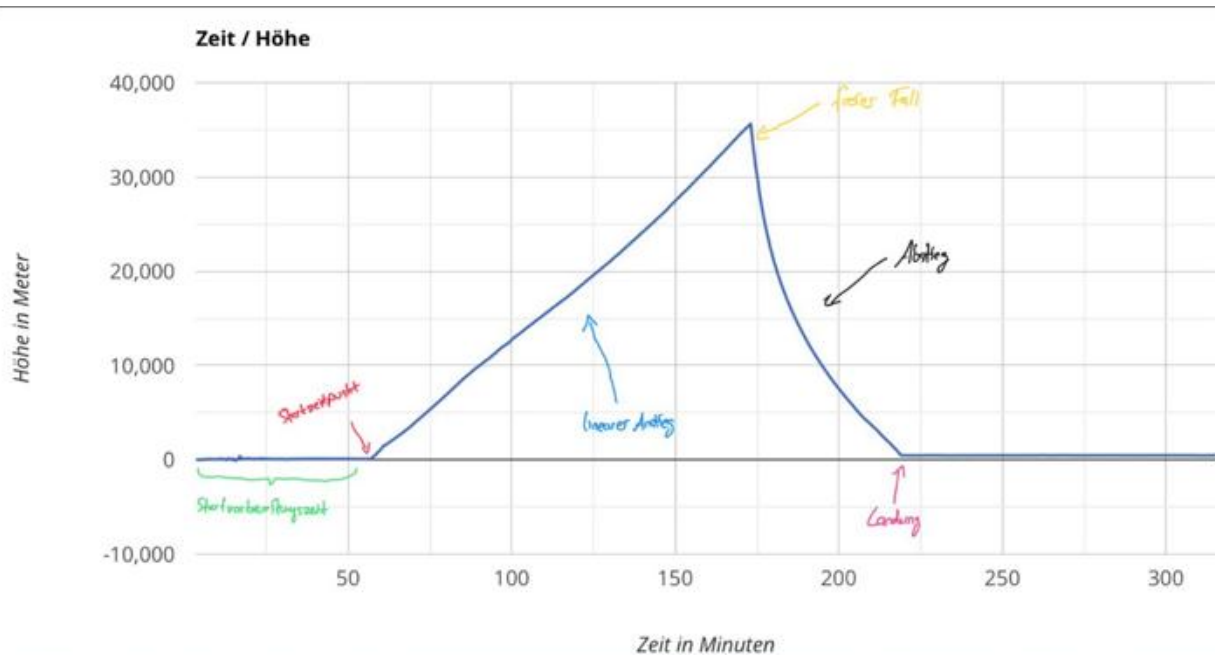
Zusammenfassend lässt sich sagen: **Beide Graphen zusammen** erzählen die vollständige Geschichte des Fluges — vom ruhigen Aufstieg über den Jetstream bis zum Platzen und der sanften Landung. Sie ergänzen sich zu einem **vollständigen Bild der atmosphärischen Bedingungen** auf dem Weg in die Stratosphäre.

5. Messtabelle (10-Minuten-Intervalle)

Ausgewählte Messwerte aus dem GPS-Datensatz **Rot:** Zeitpunkt des Ballonplatzens. **Grün:** Landung.

Zeit [min]	Höhe [m]	Steiggeschw. [m/s]	Bodengeschw. [km/h]	Phase
0	56	+0.7	4.3	Aufstieg
10	-11	+2.9	3.4	Aufstieg
20	97	+0.1	1.4	Aufstieg
30	92	+0.2	0.5	Aufstieg
40	106	+0.2	1.5	Aufstieg
50	83	+0.2	3.5	Aufstieg
60	2.664	+4.1	45.4	Aufstieg
70	5.591	+5.6	44.3	Aufstieg
80	8.780	+4.9	93.6	Aufstieg
90	11.602	+5.2	12.3	Aufstieg
100	14.323	+4.1	21.4	Aufstieg
110	16.980	+4.3	35.4	Aufstieg
120	19.836	+4.7	9.8	Aufstieg
130	22.832	+5.1	12.2	Aufstieg
140	26.014	+5.2	5.3	Aufstieg
150	29.494	+5.9	29.7	Aufstieg
160	33.082	+6.4	13.5	Aufstieg
170	28.052	-37.5	42.3	Abstieg
180	15.645	-12.8	31.2	Abstieg
190	9.495	-8.3	102.8	Abstieg
200	5.109	-6.7	44.7	Abstieg
210	1.670	-5.8	41.8	Abstieg
220	465	+0.2	1.6	Abstieg

Steiggeschwindigkeit berechnet aus $v(z) = \Delta h / \Delta t$. Bodengeschwindigkeit direkt vom GPS-Empfänger.

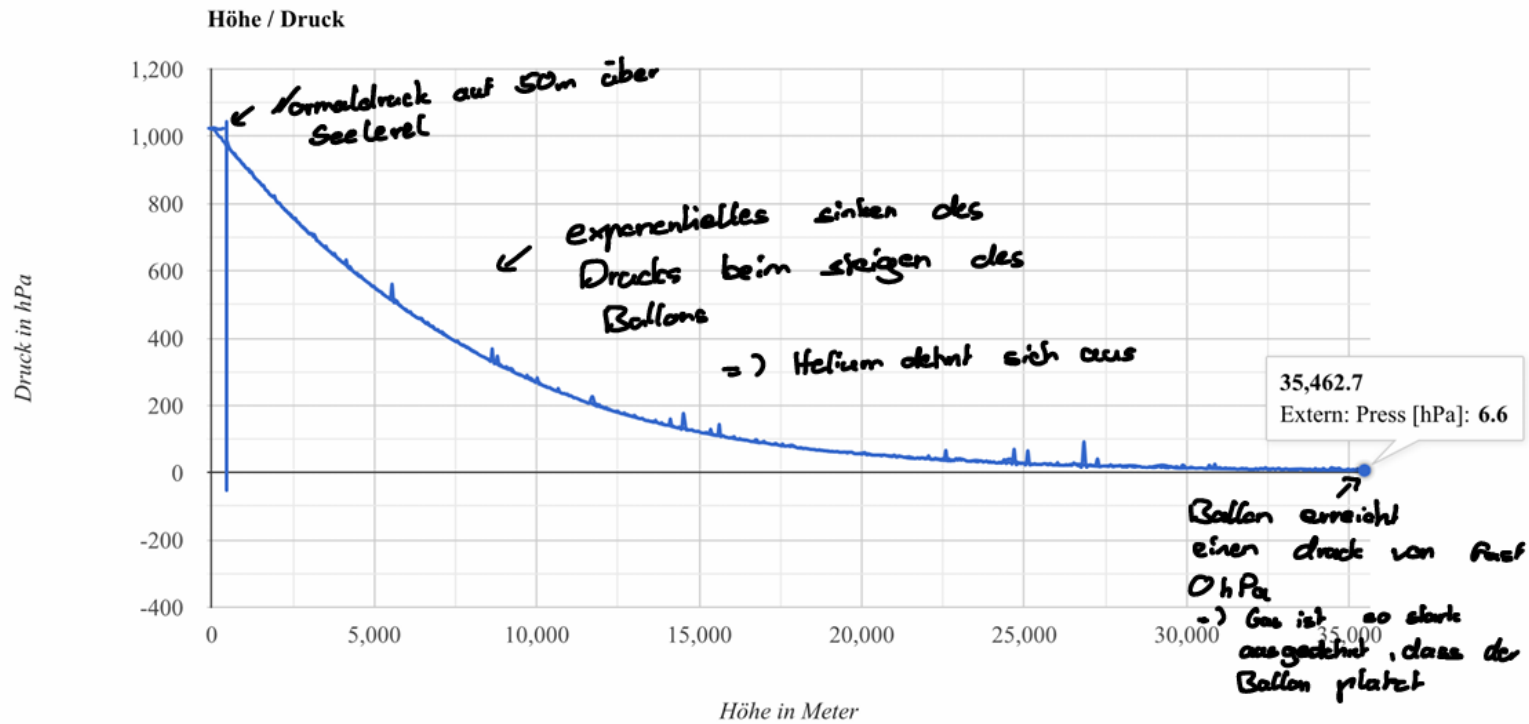


Beobachtung

Der Ballon startete bei $t = 0$ min auf einer Höhe von 0 m. Bis ca. $t = 55$ min blieb die Höhe konstant bei 0 m. Anschließend stieg der Ballon gleichmäßig linear an und erreichte bei $t \approx 175$ min seine maximale Höhe von 35.618 m. Direkt danach fiel die Höhe extrem steil ab – innerhalb weniger Minuten um mehrere tausend Meter. Ab ca. $t \approx 185$ min verlangsamte sich der Abstieg und die Höhe sank gleichmäßig linear bis auf 0 m bei $t \approx 220$ min. Danach blieb die Höhe bis $t = 315$ min konstant bei 0 m.

Deutung

Der flache Bereich zu Beginn entspricht der Startvorbereitungszeit am Boden. Der lineare Anstieg über ~120 Minuten mit ca. 296 m/min zeigt einen konstanten Heliumauftrieb. Der kurze, sehr steile Abfall direkt nach dem Maximum entspricht dem freien Fall nach dem Platzen des Ballons – hier war die Geschwindigkeit mit bis zu 118 km/h am höchsten. Ab $t \approx 185$ min hat der Fallschirm gegriffen und den Abstieg auf ca. 789 m/min gebremst, was dem gleichmäßig linearen Abschnitt entspricht. Der erneut konstante Bereich am Ende markiert die Landung.



Regression

Spalte y_1

Regressionsmodell
Exponentiell

Formel
 $y = a \cdot e^{b \cdot x}$

Parameter
 $a = 1074.6918793629725$
 $b = -0.0001442278588$

Bestimmtheitsmaß
 $R^2 = 0.9985982475936$