



(FLUG-) HÖHEN

Nr. 18, April 2015

HÖHENMESSER SIND AUF DIE STANDARDATMOSPHERE GEEICHT

Der Höhenmesser (Engl. Altimeter) ist neben dem Fahrtmesser mit das wichtigste Anzeigeelement im Cockpit. Er misst den Druck in der Flughöhe und zeigt diesen als Höhe an. Dabei muss die angezeigte Höhe nicht unbedingt der wahren Höhe entsprechen. Anzeigefehler, Temperaturschwankungen, vor allem aber der auf der Druckkorrekturskala des Höhenmessers eingestellte Bezugsdruck bestimmen, welche Höhe wirklich angezeigt wird. Aus all diesem ergeben sich verschiedene Höhenbegriffe, die vom Piloten beherrscht und in der Praxis angewandt werden müssen.

Auch wenn man davon ausgehen kann, dass Piloten immer den korrekten Druckwert am Höhenmesser einstellen und in der richtigen Flughöhe fliegen, so ist vielleicht nicht allen mehr bewusst, wie die verschiedenen Höhenbegriffe festgelegt sind und was die unterschiedlichen Druckeinstellungen genau bewirken. Dieser AOPA Safety Letter soll helfen, einige Begrifflichkeiten zur Druckeinstellung und zur Höhenanzeige am Höhenmesser wieder aufzufrischen.

Höhenmesser messen den aktuell herrschenden Luftdruck in der Höhe und zeigen diesen als Höhe bzw. Flughöhe an. Damit das möglich wird, ist der Höhenmesser mit seinen Druckdosen und der Anzeigemechanik auf die international festgelegte Standardatmosphäre (Engl. International Standard Atmosphere, ISA) geeicht.

Werte der Internationalen Standardatmosphäre (ISA)

Höhe (ft)	Luftdruck (hPa)	Temperatur (°C)
12.000	644	-9
11.000	670	-7
10.000	697	-5
9.000	724	-3
8.000	752	-1
7.000	782	1
6.000	812	3
5.000	843	5
4.000	875	7
3.000	908	9
2.000	942	11
1.000	977	13
MSL	1.013	15

Nach der Standardatmosphäre herrscht im mittleren Meeresspiegelniveau (Engl. Mean Sea Level, MSL) ein Luftdruck von 1.013,25 hPa und eine Temperatur von 15 °C. Mit zunehmender Höhe geht man von einer bestimmten durchschnittlichen Abnahme des Luftdrucks und der Temperatur aus. Verringert sich der Luftdruck

um genau den Druckwert 1hPa, so nennt man den dazugehörigen Höhenunterschied „barometrische Höhenstufe“. In niedriger Höhe (bis etwa 6.000 ft) beträgt die barometrische Höhenstufe rund 30 ft. In größeren Höhen wird die Stufe größer, da der Luftdruck dort langsamer abnimmt. Anders ausgedrückt, zwei Druckflächen mit einem Druckunterschied von 1 hPa haben in größeren Höhen einen größeren Abstand als 30 ft.

Luftdruck wird in der Einheit Pascal (Abk. Pa) gemessen.

1 Pa entspricht der Kraft von 1 Newton pro Quadratmeter (N/m²).

Auf Meeresspiegelniveau (MSL) herrscht im Durchschnitt ein Luftdruck von 101.325 Pa.

Zur vereinfachten Schreibweise wird der Luftdruck in Hektopascal (hPa) angegeben.

101.325 Pa = 1.013,25 hPa.

Nur selten weist die Atmosphäre den Druck- und Temperaturverlauf der Standardatmosphäre auf, und sehr selten herrscht in MSL exakt der Luftdruck 1013 hPa. Bei einem Tiefdruckgebiet liegt der aktuelle Luftdruck weit unter dem Standardwert, und im Winter ist es sehr viel kälter als von der Standardatmosphäre angenommen, zumindest in Deutschland und Teilen Europas. Während die Abweichung von der Standardtemperatur einen (relativ) geringen Anzeigefehler verursacht, führt die Druckabweichung zu großen Höhenfehlern, die auf keinen Fall vernachlässigt werden können. Herrscht z. B. ein aktueller Luftdruck von nur 995 hPa, dann beträgt die Differenz zur Standardatmosphäre 18 hPa entsprechend 540 ft (18 x 30 ft). Um diese „Falschanzeige“

zu verhindern, verfügt ein Höhenmesser über eine Druckkorrekturskala, auf der ein Bezugsdruck eingestellt werden kann, z. B. der aktuell herrschende Luftdruck in MSL. Am Prinzip der Höhenmessung und der Eichung auf die Werte der Standardatmosphäre ändert sich dadurch nichts.

Der Höhenmesser zeigt immer die Höhe über der Druckfläche an, deren Wert auf der Druckkorrekturskala eingestellt ist.

DIE ZWEI HÖHENMESSEREINSTELLUNGEN

In der internationalen Luftfahrt sind die zu verwendenden Höhenmessereinstellungen (Engl. Altimeter Setting) genormt. Die einzustellenden Druckwerte für die Höhenmessung werden nach Q-Gruppen bezeichnet. Weltweit kommen die Einstellungen QNH (Höhe über Meeresspiegel) und QNE (Flugfläche) zur Anwendung; örtlich wird im Einzelfall auch die Einstellung QFE (Höhe über Grund) verwendet.

QNH-EINSTELLUNG

Das QNH ist der auf Meeresspiegel bezogene Luftdruck an einem Flugplatz. Um den QNH-Wert zu ermitteln, wird zuerst der am Flugplatz in Flugplatzhöhe herrschende Luftdruck (in der Q-Gruppe mit QFE bezeichnet) gemessen und dieser dann anhand der Werte der Standardatmosphäre auf Meeresspiegelniveau umgerechnet. Man nimmt bei der Umrechnung an, dass zwischen

HÖHENMESSEREINSTELLUNG

Bei VFR-Flügen in Deutschland bis zu einer Höhe von 5.000 ft MSL oder bis zu einer Höhe von 2.000 ft AGL, sofern diese Flughöhe 5.000 ft MSL überschreitet, ist der Höhenmesser auf den Luftdruck, bezogen auf Meereshöhe (QNH-Wert), des zur Flugstrecke nächstgelegenen Flugplatzes mit Flugverkehrskontrollstelle einzustellen. Oberhalb dieser Höhen ist der Höhenmesser auf 1.013 hPa einzustellen (Standard-Höhenmessereinstellung).

HALBKREISFLUGHÖHEN

Bei VFR-Flügen nach Standard-Höhenmessereinstellung sind die Halbkreisflughöhen einzuhalten.

MINDESTHÖHEN

Außer soweit es bei Start oder Landung notwendig ist oder sofern es durch die zuständige Behörde zugelassen ist, dürfen Luftfahrzeuge über Städten, anderen dicht besiedelten Gebieten und Menschenansammlungen im Freien nur in einer Höhe geflogen werden, die im Fall einer Notlage eine Landung ohne ungebührende Gefährdung von Personen oder Sachen am Boden erlaubt, mindestens jedoch:

1.000 ft über dem höchsten Hindernis in einem Umkreis von 600 m um das Luftfahrzeug über Städten, anderen dicht besiedelten Gebieten und Menschenansammlungen im Freien;

500 ft über Grund oder Wasser über dem höchsten Hindernis in einem Umkreis von 150 m um das Luftfahrzeug in allen anderen Fällen.

Flugplatzhöhe und Meeresspiegel Druck und Temperatur entsprechend der Standardatmosphäre (ISA) zunehmen. Da der Höhenmesser nach diesen ISA-Werten geeicht ist, wird immer dann die Flugplatzhöhe angezeigt, wenn der aktuelle QNH-Wert am Flugplatz auf der Druckkorrekturskala eingestellt ist. Im Flug oberhalb des Flugplatzes zeigt der Höhenmesser bei QNH-Einstellung immer die Höhe über Meeresspiegel an.

STANDARD-EINSTELLUNG

Unter der Standard-Höhenmessereinstellung (Engl. Standard Altimeter Setting) versteht man die Einstellung des Höhenmessers auf den Druckwert 1.013 hPa (in der Q-Gruppe mit QNE bezeichnet), unabhängig davon, welcher Luftdruck gerade aktuell herrscht. Die am Höhenmesser angezeigte Höhe nennt man in diesem Fall Druckhöhe (Engl. Pressure Altitude) bzw. für die fliegerische Anwendung Flugfläche (Engl. Flight Level, FL).

HÖHENMESSER KÖNNEN FALSCH ANZEIGEN

FEHLER DURCH TEMPERATURABWEICHUNGEN

Ein Höhenmesser ist auf den Druckverlauf der Standardatmosphäre geeicht. In geringer Höhe entspricht die Druckdifferenz von 1 hPa rund 30 ft Höhenunterschied. Misst der Höhenmesser im Steigflug eine Druckabnahme von z. B. 10 hPa, dann zeigt er dementsprechend ein Steigen um 300 ft an. Das gilt allerdings nur, wenn sich der Verlauf der Druckabnahme in der aktuellen Atmosphäre exakt dem in der Standardatmosphäre entspricht. Das ist selten der Fall. Weicht die Temperatur von der Standardtemperatur ab, so ändert sich der Abstand der Druckflächen zueinander und damit der Druckverlauf.

In wärmerer Luft (höhere Temperatur als in der Standardatmosphäre) liegen die Druckflächen weiter auseinander und der Luftdruck nimmt daher mit zunehmender Höhe langsamer ab. In kälterer Luft (tiefere Temperatur als in der Standardatmosphäre) liegen die Druckflächen dagegen enger zusammen und der Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe schneller ab. Dies bedeutet,

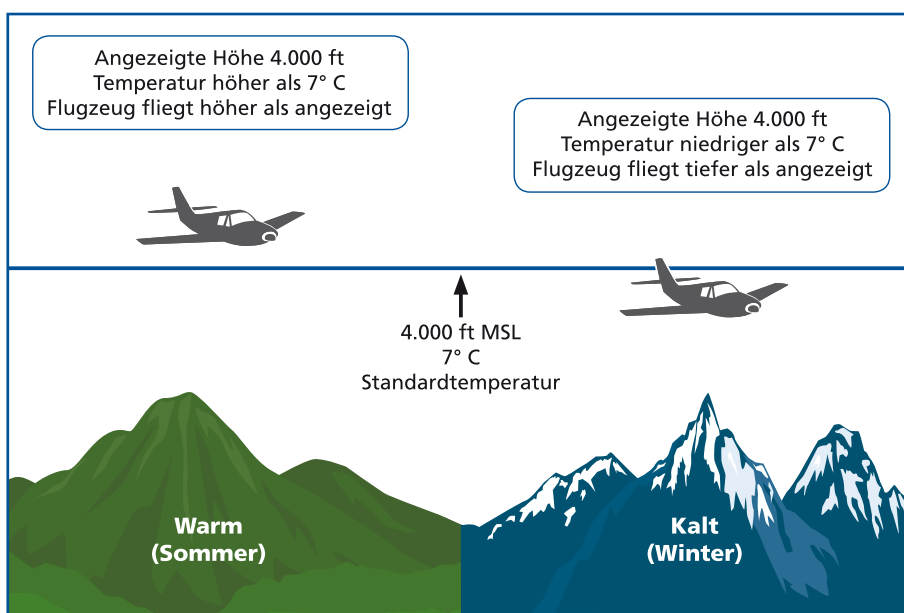
dass Luftfahrzeuge im Sommer meist etwas höher als vom Höhenmesser angezeigt (Anzeige ist zu tief), im Winter etwas tiefer (Anzeige ist zu hoch) fliegen.

Die durch die Temperaturabweichung bedingten Anzeigefehler sind also vor allem im Winter wegen der dann unter Umständen geringeren Flughöhe zu beachten. Hierzu gibt es den bekannten Merkspruch

„Im Winter sind die Berge höher!“

Der temperaturbedingte Anzeigefehler beträgt rund 0,4% pro 1 °C (2% pro 5 °C) Temperaturabweichung von der Standardatmosphäre. Ist z. B. in 4.000 ft die aktuelle Temperatur um 5 °C geringer als die entsprechende Standardtemperatur, dann zeigt der Höhenmesser in dieser Höhe um etwa 80 ft (2% von 4.000 ft) zu hoch an, d.h., die tatsächliche Höhe beträgt etwa 3.920 ft (ohne Fehler durch Druckabweichungen). Da sich der Anzeigefehler aus einem prozentualen Anteil der Höhe ergibt, ist er in geringen Höhen im Allgemeinen relativ klein. In großen Höhen, insbesondere bei großen Temperaturabweichungen, können dagegen erhebliche Anzeigefehler auftreten.

Da im gleichen Luftraum alle Luftfahrzeuge dem gleichen temperaturbedingten Anzeigefehler unterliegen, spielt die falsche Höhenanzeige in Bezug auf die Einhaltung von Flughöhen keine Rolle und muss vom Piloten nicht weiter beachtet werden. Für die Bestimmung der wahren Flughöhe ist die Berücksichtigung der Temperaturabweichung allerdings unerlässlich.



Temperaturabweichungen von der Standardtemperatur verursachen einen Anzeigefehler am Höhenmesser

FEHLER DURCH STRÖMUNGSEFFEKTE

Anzeigefehler können auch durch Turbulenzen in der Atmosphäre und durch besondere Strömungseffekte im Gebirge auftreten.

INSTRUMENTENFEHLER

Jedes Messinstrument hat einen durch die eigene Mechanik und Konstruktion verursachten systembedingten Messfehler. Dieser wird natürlich so minimal wie möglich gehalten, um die gesamte Messung nicht zu verfälschen. Auch beim Höhenmesser ist dieser Messfehler vernachlässigbar klein, vorausgesetzt, das Gerät funktioniert einwandfrei.

Die Größe des Instrumentenfehlers lässt sich bestimmen, indem an einem festgelegten Referenzpunkt am Flugplatz (im Allgemeinen der höchste Punkt der Landefläche) der dort gemessene QNH-Wert am Höhenmesser eingestellt und die veröffentlichte Flugplatzhöhe über MSL mit der Höhenmesseranzeige verglichen wird. Arbeitet der Höhenmesser fehlerfrei, dann müssen angezeigte und veröffentlichte Höhe übereinstimmen. Meist wird jedoch die angezeigte Höhe um einen geringen Betrag abweichen. Ist der Anzeigefehler sehr groß, muss der Höhenmesser in einer Werkstatt neu kalibriert werden.

HÖHEN UND FLUGHÖHEN

HÖHE ÜBER MEERESSPIEGEL

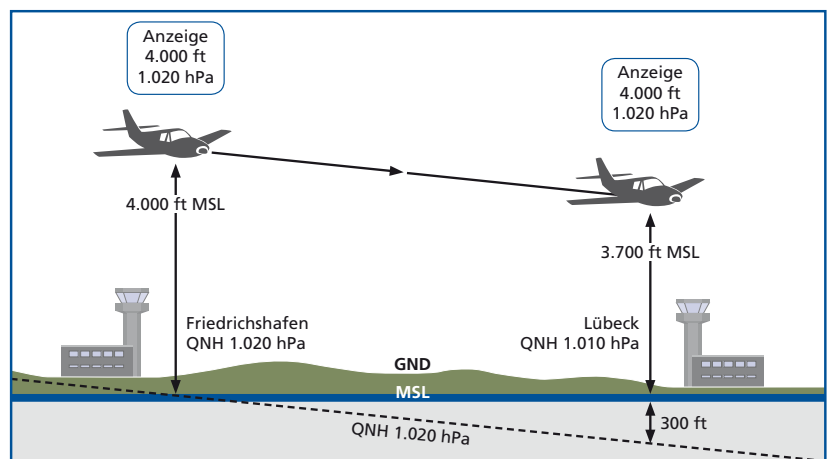
Bei VFR-Flügen bis zu einer Höhe von 5.000 ft MSL oder 2.000 ft AGL (der höhere Wert ist maßgebend) ist der Höhenmesser auf den QNH-Wert des nächstgelegenen Flugplatzes mit Flugverkehrskontrolle einzustellen. Fliegt das Luftfahrzeug genau über dem Flugplatz, an dem das am Höhenmesser eingestellte QNH gemessen wurde, dann zeigt der Höhenmesser die Höhe über Meeresspiegel (Engl. Altitude) exakt an (bei Vernachlässigung der möglichen Temperaturfehler). Je weiter man sich mit dem Luftfahrzeug nun von diesem Flugplatz entfernt, um so ungewisser wird die am Höhenmesser angezeigte Höhe über MSL, da nicht bekannt ist, wie sich der aktuelle QNH-Wert mit der Entfernung vom Flugplatz verändert. Soll der Höhenmesser weiterhin die richtige Flughöhe über MSL anzeigen, so muss er immer wieder auf den aktuellen QNH-Wert ein-

gestellt und damit den veränderten Luftdruckwerten angepasst werden.

Nehmen wir an, ein Pilot fliegt vom Flugplatz Friedrichshafen (Flugplatzhöhe 1.368 ft MSL) zum Flugplatz Lübeck-Blankensee (Flugplatzhöhe 55 ft). Das QNH in Friedrichshafen beträgt zur Startzeit 1.020 hPa (Hochdruck), das QNH in Lübeck zur Landezeit jedoch nur 1.010 hPa (Tiefdruck). Der Pilot stellt in Friedrichshafen das aktuelle QNH 1.020 hPa am Höhenmesser ein und steigt nach dem Start auf die Reiseflughöhe von 4.000 ft. Fliegt er mit dieser Höhenmessereinstellung nach Lübeck und vergisst dabei, den Höhenmesser den veränderten Druckverhältnissen anzupassen, dann sinkt das Flugzeug entsprechend der absinkenden Bezugsdruckfläche 1.020 hPa ganz allmählich immer tiefer. Der Höhenmesser zeigt weiterhin 4.000 ft an, und der Pilot glaubt daher, weiterhin in einer Flughöhe von 4.000 ft MSL zu fliegen.

Befindet sich das Flugzeug nun mit der angezeigten Höhe von 4.000 ft über Lübeck, dann fliegt es auf Grund der falschen Druckeinstellung von 1.020 hPa (10 hPa zu hoch) bereits etwa 300 ft tiefer (10 x 30 ft). Die Landung in Lübeck müsste bei einer angezeigten Höhe von 55 ft MSL erfolgen. Da die Höhenmessereinstellung seit dem Start in Friedrichshafen nicht verändert wurde, glaubt der Pilot beim Ablesen der Höhe von 355 ft, noch ca. 300 ft über dem Flugplatz zu sein. In Wirklichkeit hätte er jetzt bereits Bodenberührung, da der Höhenmesser um 300 ft zu hoch anzeigt.

Dieses etwas theoretische Beispiel macht deutlich, dass ein zu hoch eingestellter Druckwert eine zu große Höhenanzeige zur Folge hat. Anders ausgedrückt: Das Flugzeug fliegt tiefer als die angezeigte Höhe. In ge-



Anzeigefehler am Höhenmesser durch zu hoch eingestellten QNH-Wert; die angezeigte Höhe ist zu groß

ringere Flughöhe kann es dadurch zu kritischen Situationen kommen (zu geringer Abstand zu Hindernissen, zu geringe Sicherheitsmindesthöhe), insbesondere bei schlechten Sichtverhältnissen. Deshalb sollte man sich als Warnung merken:

„Vom Hoch ins Tief geht's schief!“

Fliegt ein Luftfahrzeug von einem Gebiet geringeren Drucks in ein Gebiet höheren Drucks, in unserem Beispiel von Lübeck nach Friedrichshafen, und vergisst man dabei, Druckkorrekturen am Höhenmesser vorzunehmen, tritt der umgekehrte Fall ein. Das Flugzeug wird allmählich steigen und über Friedrichshafen höher als geplant ankommen.

Grundsätzlich führen zu tief oder zu hoch eingestellte Druckwerte zu falschen Höhenanzeigen. Der Anzeigefehler beträgt bei einem um 1 hPa falsch eingestellten Druckwert rund 30 ft (in geringen Höhen). Falsche Höhenmesseranzeigen durch Druckänderungen können leicht vermieden werden bzw. auf ein Minimum reduziert werden, indem man entsprechend der Regeln zur Höhenmessereinstellung an der Druckkorrekturskala den jeweils aktuellen QNH-Wert auf der Flugstrecke einstellt.

An unkontrollierten Flugplätzen steht kein amtliches QNH zur Verfügung. Aber auch dort lässt sich der QNH-

Wert bestimmen, in dem vor dem Start der Höhenmesser auf die veröffentlichte Flugplatzhöhe (Lande- fläche) über MSL eingestellt wird. Die Druckkorrektur- skala zeigt dann den aktuellen QNH-Wert für diesen Platz an.

HÖHE ÜBER GRUND

Die Höhe über Grund (Engl. Height), wichtig für die Ein- haltung der Sicherheitsmindesthöhe, wird vom Höhen- messer nicht unmittelbar angezeigt. Sie wird anhand der auf den Luftfahrtkarten veröffentlichten Höhenan- gaben zu Gelände und Hindernissen in eine Höhe über MSL umgerechnet. Hierbei helfen die auf der Luftfahrt- karte ICAO 1:500.000 angegebenen „Minimum Eleva- tion Figures“.

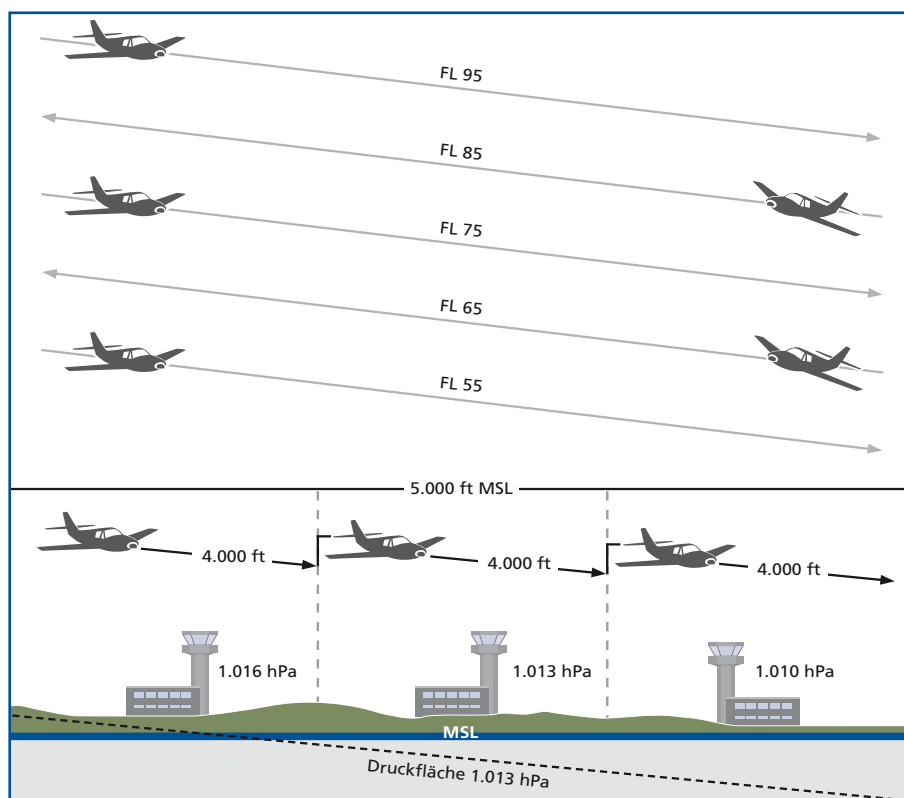
Stellt man an einem Flugplatz den Höhenmesser auf die Höhe 0 ft ein, dann wird in der Druckkorrekturskala der am Flugplatz herrschende Luftdruck angezeigt, in der Q-Gruppe mit QFE bezeichnet. Belässt man diese Ein- stellung auch im Abflug, dann wird einem je nach Ge- ländestructur mehr oder weniger die Höhe über Grund (besser: die Höhe über Flugplatz) angezeigt.

FLUGFLÄCHE

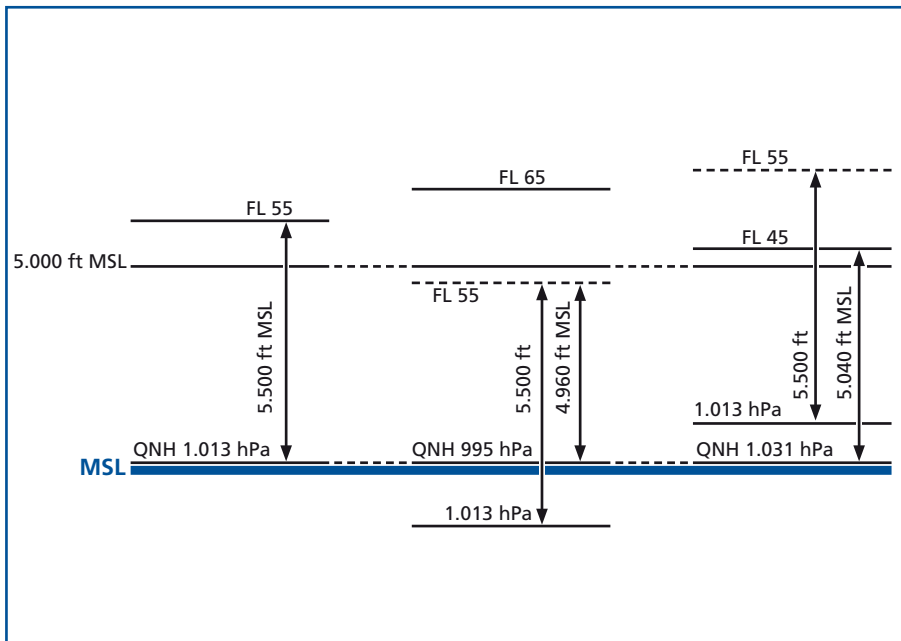
Oberhalb von 5.000 ft MSL bzw. von 2.000 ft AGL (der höhere Wert ist maßgebend) muss der Höhenmesser auf 1.013 hPa eingestellt und auf Flugflächen geflogen werden.

Der Vorteil dieser Stan- dard-Höhenmessereinstellung liegt darin, dass die Höhenmes- sereinstellung unverändert bleibt und nicht wie bei der QNH-Einstel- lung immer wieder korrigiert wer- den muss. Die Höhenstaffelung zwischen Luftfahrzeugen lässt sich viel leichter und genauer her- stellen. Der Nachteil ist jedoch, dass diese Einstellung keine ge- naue Höhenangabe in Bezug auf MSL (und auf GND) liefert. Des- halb darf die Standardeinstellung nur in größeren Höhen, weit ober- halb der Sicherheitsmindesthöhe, angewendet werden.

Wird auf Flugflächen geflogen, so muss die Halbkreis-Flug- höhenregel angewandt wer- den. Die erste oberhalb von 5.000 ft MSL für VFR-Flüge be-



Fliegen nach QNH und 1.013 hPa



Niedrigste benutzbare Flugfläche für VFR-Flüge in Abhängigkeit vom aktuellen QNH-Wert

nutzbare Flugfläche ist im allgemeinen FL 55. Beträgt das aktuelle QNH 1.013 hPa, dann befindet sich die FL 55 genau in 5.500 ft MSL. Ist das aktuelle QNH kleiner als 1.013 hPa, liegt die FL 55 tiefer als 5.500 ft MSL, ist das QNH größer als 1.103 hPa, liegt sie höher als 5.500 ft MSL.

Stellen wir uns vor, der Unterschied zwischen dem aktuellen QNH und 1.013 hPa beträgt 18 hPa. Das entspricht einer Höhenabweichung von etwa 540 ft (18 x 30 ft). Es herrscht Tiefdruck, und das aktuelle QNH beträgt 995 hPa. Der Höhenmesser ist auf diesen Wert eingestellt. Ein Pilot möchte nun auf eine Reiseflughöhe von FL 55 steigen. Beim Passieren von 5.000 ft MSL stellt er daher vorschriftsmäßig den Höhenmesser von 995 hPa auf 1.103 hPa um und hat eine Höhenanzeige von 5.540 ft. Offenbar hat er bereits die FL 55 durchflogen und müsste nun sogar noch um 40 ft sinken, um FL 55 zu erreichen. Damit würde sich das Flugzeug allerdings wieder unter 5.000 ft MSL befinden, in einem Bereich, für den QNH-Einstellung vorgeschrieben ist. Die FL 55 ist also in diesem Fall nicht nutzbar und der Pilot muss daher auf die nächsthöhere Flugfläche FL 65 bzw. FL 75, abhängig von der Flugrichtung, steigen.

Ist das aktuelle QNH sehr viel größer als 1.013 hPa, z. B. 1.031 hPa, dann tritt der umgekehrte Fall ein. Beim Passieren von 5.000 ft MSL und Umstellung von 1.031 hPa auf 1.013 hPa zeigt der Höhenmesser einen Wert von nur 4.460 ft an. Die erste benutzbare Flugfläche ist hier bereits FL 45.

WAHRE HÖHE

Unter der wahren Höhe (Engl. True Altitude) versteht man die genaue Höhe über Meeresspiegel (MSL). Auf Grund der genannten Anzeigefehler zeigt ein Höhenmesser nie exakt die wahre Höhe an. Die bei Flugflächen (Einstellung 1.013 hPa) angezeigte Höhe kann im Extremfall mehrere 1.000 ft von der wahren Höhe abweichen. Nur die Einstellung auf das jeweilige QNH garantiert eine annähernd genaue Anzeige der wahren Höhe. Allerdings entspricht auch die QNH-Höhe nur dann der wahren Höhe, wenn der Temperaturverlauf in den verschiedenen Höhen genau mit den

Werten der Standardatmosphäre übereinstimmt. Da der Anzeigefehler durch Temperaturabweichungen bekannt ist, lässt sich die wahre Höhe aus der QNH-Höhe leicht berechnen.

Betrachten wir hierzu einen Flug in FL 120. Das aktuelle QNH beträgt 1.000 hPa und die Temperatur in dieser Flughöhe -20°C . Da der aktuelle Luftdruck um 13 hPa (rund 400 ft) vom Standarddruck abweicht, befindet sich das Flugzeug in einer QNH-Höhe von etwa 11.600 ft. Die Temperatur müsste nach den Werten der Standardatmosphäre in FL 120 – 9°C betragen (Temperaturabnahme mit der Höhe um 2°C pro 1.000 ft). Es herrscht jedoch in der Flughöhe eine Temperatur von -20°C . Die aktuelle Temperatur ist also um 11°C geringer (kälter) als Standard. Daraus ergibt sich ein Anzeigefehler von etwa 4,4% (0,4% pro 1°C Temperaturabweichung) entsprechend etwa 530 ft (4,4 % von 12.000 ft). Die wahre Höhe beträgt nach dieser Rechnung ca. 11.070 ft MSL (11.600 ft – 530 ft), das Flugzeug befindet sich rund 1.000 ft tiefer als vom Höhenmesser angezeigt.

Bei einem Flug über flachem Gelände spielt der Unterschied zwischen Flugfläche und wahrer Höhe keine große Rolle. Anders wenn es über Gebirge geht, z. B. über die Alpen. Hier könnte einem eine „Falschanzeige“ von 1.000 ft, wie im Beispiel dargestellt, schon in Bedrängnis bringen. Zumindest würde man sich wundern, dass man trotz offenbar ausreichender Flughöhe (gemäß Höhenmesseranzeige) den Bergen so nahe kommt. Allerdings kommt dieser Fall in der Praxis nur selten vor, zumindest nicht, wenn man die Vorschriften einhält.

DICHTEHÖHE

Die Dichtehöhe (Engl. Density Altitude) ist die Höhe in der Standardatmosphäre, die der in Flughöhe des Flugzeuges herrschenden Luftdichte entspricht. Sie ist maßgebend für die Leistung des Flugzeuges, denn die Luftdichte beeinflusst sowohl seine Aerodynamik als auch die Leistung des Triebwerks.

Generell gilt:

Größere Flughöhe = geringere Luftdichte = geringere Leistung

Höhere Temperatur = geringere Luftdichte = geringere Leistung

Es kann also durchaus vorkommen, dass das Flugzeug in einer wahren Höhe von z. B. 8.000 ft fliegt, in dieser Höhe aber eine Luftdichte entsprechend einer Höhe von 10.000 ft der Standardatmosphäre herrscht. Die Dichtehöhe beträgt in diesem Fall 10.000 ft. Eine große Dichtehöhe bedeutet unter anderem:

- Längere Startstrecke
- Längere Landestrecke
- Geringere Steigrate
- Geringere Dienstgipfelhöhe

Die Dichtehöhe lässt sich berechnen, in dem man die Druckhöhe um die Abweichung der aktuellen Temperatur von der Temperatur in der Standardatmosphäre korrigiert. Die Druckhöhe wiederum ist die Höhe, die auf dem Höhenmesser angezeigt wird, wenn dieser auf 1.013 hPa eingestellt ist (Anzeige der Flugfläche).

Hierzu ein Beispiel:

Flugplatz Frankfurt-Egelsbach: Flugplatzhöhe 385 ft MSL, Tiefdruckwetterlage mit QNH 1.002 hPa, Temperatur über der Piste 30 °C.

Hat der Pilot am Höhenmesser 1.002 hPa eingestellt, so liest er in Egelsbach die Flugplatzhöhe mit 385 ft MSL ab. Dreht er nun die Druckkorrekturskala am Höhenmesser auf den Standarddruck 1.013 hPa, so wird ihm die aktuelle Druckhöhe von ca. 715 ft angezeigt.

Der Pilot hätte sich die Druckhöhe aber auch ausrechnen können, denn 1 hPa Druckdifferenz entspricht rund 30 ft (barometrische Höhenstufe). Der aktuelle Luftdruck ist um 11 hPa tiefer als der Standardluftdruck, d.h. die Druckhöhe ist um $11 \times 30 \text{ ft} = 330 \text{ ft}$ höher als die Flugplatzhöhe.

Um nun die Dichtehöhe zu ermitteln, wird die Druckhöhe um die Abweichung der aktuellen Temperatur von der ISA-Temperatur korrigiert. Nach ISA würde in 715 ft eine Temperatur von etwa 14 °C herrschen (in MSL 15 °C, 2 °C Temperaturabnahme pro 1.000 ft.), die aktuelle Temperatur von 30 °C liegt also um 16 °C über ISA-Temperatur. Die Dichtehöhe ändert sich um ca. 120 ft pro 1 °C Temperaturabweichung. Ist die Temperatur höher als der Standardwert, so ist die Dichtehöhe größer als die Druckhöhe. Ist die Temperatur geringer als der Standardwert, so ist die Dichtehöhe geringer als die Druckhöhe. In diesem Beispiel liegt die Dichtehöhe um $16 \times 120 = 1.920 \text{ ft}$ über der Druckhöhe und beträgt somit ca. 2.635 ft (!).

Aus dem Flughandbuch müssen also die Leistungsdaten für die Dichtehöhe von 2.635 ft und nicht etwa für die Flugplatzhöhe von 385 ft entnommen werden. Bei Flugplätzen im Gebirge können die Verhältnisse weitaus ungünstiger liegen, da allein schon die Flugplatzhöhe einige tausend Fuß betragen kann.

DIENSTGIPFELHÖHE

Unter Dienstgipfelhöhe (Engl. Service Ceiling) bezeichnet man die Höhe, in der die maximale Steiggeschwindigkeit eines Luftfahrzeugs bei maximaler Dauerleistung des Motors und maximal zulässiger Gesamtmasse noch 0,5 m/s (100 ft/min) beträgt. Allerdings ist die Dienstgipfelhöhe auf die Werte der Standardatmosphäre bezogen. Herrscht Tiefdruck und ist die Temperatur in der Höhe geringer als die ISA-Temperatur, dann wird man die angegebene Dienstgipfelhöhe nicht erreichen. Wer über die Alpen fliegen möchte, sollte die Dienstgipfelhöhe seines Luftfahrzeuges kennen und aktuell berechnen können.

Hierzu ein Beispiel:

Die Dienstgipfelhöhe der Piper Cadet (maximale Abflugmasse) wird mit 11.600 ft angegeben, vorausgesetzt, es herrschen Standardbedingungen (ISA). Ein Pilot möchte nun ein Gebirge von 9.000 ft Höhe mit 2.000 ft Überhöhung, also in 11.000 ft MSL überfliegen. Offenbar ist das kein Problem bei der angegebenen Dienstgipfelhöhe. Am Tage des Fluges herrschen aber nicht die Standardbedingungen, sondern ein QNH von 995 hPa und eine Temperatur in Flughöhe von 2 °C. Daraus ergibt sich, dass der wahren Höhe von 11.000 ft eine aktuelle Dichtehöhe von 12.260 ft entspricht: Das Flugzeug wird also die geplante Überflughöhe nicht erreichen.

Natürlich können die Verhältnisse auch anders liegen. Es herrscht ein hoher Luftdruck und die Temperatur ist sehr viel niedriger. Dann wird die Überflughöhe ohne weiteres erreichbar sein. Ganz abgesehen davon wird sich die maximal erreichbare Flughöhe noch vergrößern, wenn der Flug nicht mit maximaler Abflugmasse durchgeführt wird.

ZUSAMMENFASSUNG

- **Der Höhenmesser zeigt immer die Höhe über der Druckfläche an, deren Wert auf der Druckkorrekturskala eingestellt ist.**
- **Der Höhenmesser zeigt dann die Höhe Null an, wenn er sich in der Höhe der Druckfläche befindet, deren Wert auf der Druckkorrekturskala eingestellt ist.**
- **Es ist gefährlicher, einen zu hohen als einen zu tiefen Druck auf der Druckkorrekturskala einzustellen.**
- **Kältere Luft verursacht, dass der Höhenmesser etwas zu hoch anzeigt und dadurch zu tief geflogen wird. Achtung: „Im Winter sind die Berge höher!“**
- **QNH bezeichnet den an einem Flugplatz gemessenen Luftdruck, umgerechnet auf MSL. Ein auf das aktuelle QNH eingestellter Höhenmesser zeigt die Höhe über MSL an.**
- **Wird das QNH während des Fluges nicht aktualisiert, kommt es zu falscher Höhenanzeige. Achtung: „Vom Hoch ins Tief geht’s schief!“**
- **Bei Standard-Höhenmessereinstellung 1.013 hPa wird die Höhe über der Druckfläche 1.013 hPa als Flugfläche angezeigt. Achtung: Die Flugfläche entspricht nicht der wahren Flughöhe.**
- **Die wahre Höhe berechnet sich aus der temperaturkorrigierten QNH-Höhe.**
- **Dichtehöhe ist die Höhe in der Standardatmosphäre, die der in der Flughöhe herrschenden Luftdichte entspricht. Die Dichtehöhe berechnet sich aus der temperaturkorrigierten Druckhöhe (1.013 hPa).**
- **Dienstgipfelhöhe ist die Höhe, in der die maximale Steiggeschwindigkeit eines Luftfahrzeuges bei maximaler Motordauerleistung und maximaler Gesamtmasse noch 0,5 m/s beträgt.**
- **Für VFR- und IFR-Flüge sind Mindesthöhen festgelegt. Achtung: Grundsätzlich muss so hoch geflogen werden, dass im Fall einer Notlage eine Landung ohne ungebührende Gefährdung von Personen oder Sachen am Boden möglich ist.**
- **(Auch) VFR-Piloten müssen sich, wenn immer möglich, strikt an die Halbkreisflughöhen halten. Das dient der eigenen Sicherheit und der Sicherheit anderer Luftfahrer.**

Autor:

Jürgen Mies, „Flugtechnik“
Privatpilotenbibliothek, Band 5, Motorbuch Verlag, Stuttgart, 1996

Jürgen Mies, „Gefahrenhandbuch für Piloten“
Motorbuch Verlag, Stuttgart, 2013

Einzelne Textpassagen und Abbildungen sind
an die hier genannten Bücher angelehnt.

Haftungsausschluss:

Die Informationen und Daten in diesem AOPA Safety Letter sind vom Autor und der AOPA-Germany sorgfältig erwogen und geprüft. Dennoch kann eine Garantie für Richtigkeit und Vollständigkeit nicht übernommen werden. Eine Haftung des Autors bzw. von AOPA-Germany und seiner Beauftragten für Personen-, Sach- und Vermögensschäden ist ausgeschlossen.

HERAUSGEBER

AOPA-Germany e.V.
Außerhalb 27 / Flugplatz
63329 Egelsbach

www.aopa.de