

Toleranzen

Definitionen – Barometrische Höhe

QFE

QFE (Question Field Elevation) ist der gemessene Luftdruck am Boden bezogen auf die Ortshöhe.

Wird das QFE im Altimeter eingestellt, so erhält man den auf Flugplatzhöhe bezogenen barometrischen Luftdruck. Auf dem Flugplatz zeigt der Höhenmesser dann eine Höhe von 0 m oder 0 ft an.

Merksatz: Das QFE ist die Höhe der Kufe (Ku-F-E) auf dem Platz (0 m oder 0 ft)

QNH

Die Abkürzung **QNH (Question Normal Height)** steht für den nach Standardatmosphäre auf Meeressniveau reduzierten Luftdruck an der Messstation.

Im Gegensatz zum QFF wird als Temperaturwert nicht die aktuelle Messung, sondern die zur Ortshöhe korrespondierende ISA Temperatur verwendet.

Wird der Altimeter auf den QNH-Wert eingestellt, so erhält man die (um den Temperatureinfluss verfälschte) Flughöhe über MSL oder Meeresspiegel angezeigt. Am Boden zeigt der Höhenmesser daher die Ortshöhe an. In der Luft wird die Flughöhe (*Altitude*) angezeigt.

Der QNH-Wert ist abhängig vom lokalen, aktuellen Luftdruck (QFE), was zur Folge hat, dass dieser umso niedriger ist, je näher man an einem Tiefdruckgebiet ist. Luftdruckbedingte Abweichungen des Höhenmessers können beträchtlich sein, daher muss ein Flugzeug unter der sog. Transition Altitude (in D: 5000ft) immer den aktuellen Wert des zum Flugweg nächsten Verkehrsflughafens eingestellt haben. Zur Landung wird das lokale Flugplatz-QNH eingestellt, soweit dieser berechtigt ist, es auszugeben. Üblicherweise holt sich der Motorflieger das QNH vom nächstgelegenen Verkehrsflughafen.

QFF

Als **QFF** bezeichnet man den aktuellen Luftdruck in Hektopascal (hPa), reduziert auf Meereshöhe unter Annahme einer isothermen Atmosphäre.

QNE

QNE ist **QFE**, aber ausgedrückt als Höhenwert entsprechend der ICAO-Standardatmosphäre (ISA). Die Maßeinheit ist Fuß (ft).

GPS Genauigkeit

Die meisten Handheld GPS Hersteller spezifizieren eine horizontal Genauigkeit von ca. 15 Meter mit 95% Wahrscheinlichkeit vor. Vertikale GPS Genauigkeit wird generell mit ein Faktor von 1,5 der Horizontale Genauigkeit angegeben: ca. 23 Meter.

GPS Höhenangaben werden folgendermaßen berechnet:

- 1) die Empfänger Entfernung zu 4 oder mehr Satelliten wird kalkuliert und ergibt ein Abstand zum Erdmitte.
- 2) ein Modell der Erdoberfläche wird dann verwendet um die Höhe des Empfängers über mittlere Meereshöhe zu berechnen.

Da der Erdoberfläche sich nicht in eine einfache mathematische Modell beschreiben lässt, kommen weitere Ungenauigkeiten durch diesen Berechnungen, was zur eine Empfänger Genauigkeit von ca. 40 Meter führt.

Zusätzliche Ungenauigkeiten treten typischerweise bei Handheld GPS Geräten auf, hauptsächlich durch folgende Quellen:

- 1) durch schlechte (nicht Synchronisierten) Satelliten Signalen. Geräten diese Gruppe filtern nicht gegen solche Signalen.
- 2) durch Störungen in den oberen Atmosphäre (Solar Aktivität).
- 3) durch eine schlechte Antenne Ausrichtung

Für GPS Geräten, die von Drachen- und Gleitschirmpiloten am meisten benutzt werden, ist eine Höhengenaugigkeit von ca. 50 Meter durchaus realistisch.

Altimeter Genauigkeit

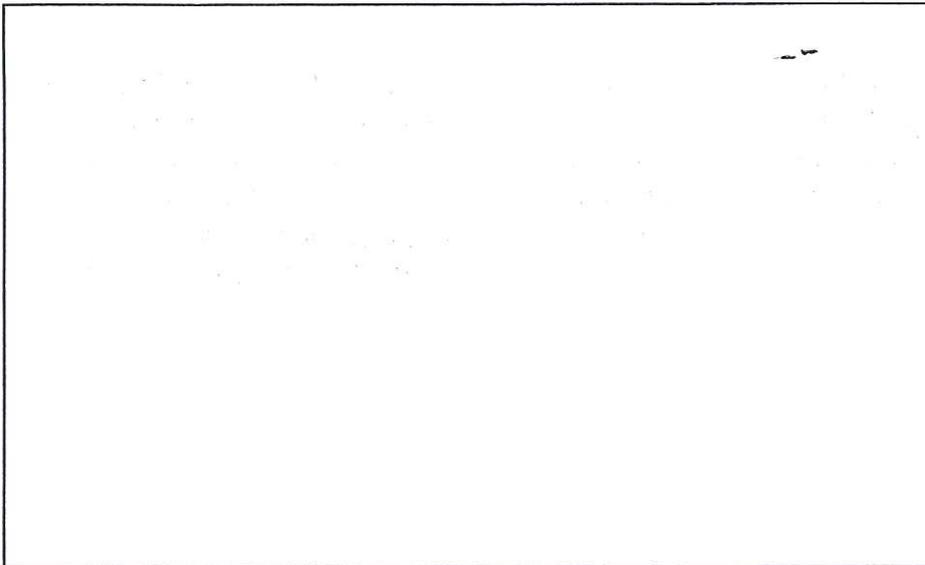
Solche Altimeter sind Barometer, die statt des Luftdrucks die Höhe über Meereshöhe anzeigen. Meist macht der Zeiger 1 Umdrehung pro 1000 m; der km-Wert erscheint in einem kleinen Fenster (üblicher Messbereich 5 oder 8 km). Die Genauigkeit beträgt 2-20 Meter, wenn eine korrekte Ausgangshöhe oder der Druck im Meeresniveau (Geoid) eingestellt wurde.

Luftraum

Eine **Flugfläche** (engl. *flight level*, **FL**) bezeichnet in der Luftfahrt eine Fläche gleichen Luftdrucks in der Atmosphäre. Flugflächen dienen der Höhenstaffelung von Flugzeugen. So sollen Kollisionen mit höher oder tiefer fliegenden Flugzeugen vermieden werden. Alle Flugzeuge, die in Flugflächen fliegen, haben auf ihrem Höhenmesser als Bezugsluftdruck 1013,25 hPa (Hektopascal) eingestellt. Hierdurch wird gewährleistet, dass alle Flugzeuge, die in der gleichen Flugfläche fliegen, unabhängig von der jeweiligen Höhe, einen festgelegten Abstand zu höher oder tiefer fliegenden Flugzeugen einhalten.

Die **Flughöhe** ist ein Maß für die vertikale Abweichung eines Flugzeugs von einer vorher festgelegten Ausgangsposition. Die Ausgangsposition kann dabei MSL, der Boden oder auch eine bestimmte Druckhöhe sein. Man unterscheidet in der Luftfahrt auf Grund der Art der Höhenmessung verschiedene Arten von Flughöhen. Die Flughöhe wird im Flugzeug mit dem barometrisch arbeitenden Höhenmesser (engl. *altimeter*) durch Messung von Luftdruckunterschieden gemessen. Dadurch hängt die angezeigte Höhe vom derzeit

herrschenden Luftdruck an dem Ort, an dem sich das Flugzeug gerade befindet ab. Höhenmesser bieten die Möglichkeit, die angezeigte Höhe anhand des jeweils aktuellen Luftdrucks zu kalibrieren.



Auf einem längeren Flug wird unterhalb der Übergangshöhe die Einstellung des Höhenmessers mehrfach während des Fluges korrigiert. Dazu wird jeweils der Luftdruck des nächstgelegenen Flugplatzes abgefragt. Wird dieser Wert direkt verwendet, so ist die angezeigte Höhe relativ zum Flugplatz (QFE). Wird er auf Meereshöhe umgerechnet, so ist die Anzeige absolut (QNH). Wird der Höhenmesser auf die Standardatmosphäre von 1013,25 hPa eingestellt, fliegt man nach *flight level*. Die Flughöhen, die in Fuß oder Meter angezeigt werden, sind als fiktiv zu betrachten. Sie entsprechen real hPa-Angaben.

Abhängig von den meteorologischen Bedingungen (Temperaturschwankungen) können, wie aus der barometrischen Höhenformel ersichtlich ist, sowohl die geometrische Flughöhe als auch der geometrische Abstand zwischen den *flight levels* variieren.

Die **barometrische Höhenformel** beschreibt die vertikale Verteilung der (Gas-)Teilchen in der Atmosphäre der Erde, also die Änderung des Luftdruckes mit der Höhe. Man spricht daher auch von einem vertikalen Druck-Gradienten, der jedoch aufgrund der hohen Wetterdynamik innerhalb der unteren Atmosphäre nur mit Näherungen auf mathematischem Wege beschrieben werden kann.

Die barometrische Höhenstufe ist die vertikale Strecke, die zurückgelegt werden muss, um 1 hPa Luftdruckänderung zu erzielen. In Bodennähe beträgt diese barometrische Höhenstufe etwa 8 Meter, in 5 Kilometer Höhe 16 Meter und in 10 Kilometer Höhe 32 Meter.

In der einfachsten Form kann grob angenommen werden, dass der Luftdruck in der Nähe des Meeresspiegels um ein Hektopascal je acht Meter Höhenzunahme abnimmt.

Beispiel

Ein Pilot stellt beim Vorbereitung zum Flug um 10:00 Uhr sein Altimeter auf 300 Meter (Flugplatzhöhe) ein. Zu diesen Zeitpunkt herrschte ein Luftdruck von 1030 hPa am Boden. Wir nehmen eine Altimetergenauigkeit von 10 Meter an.

Bei der Landung um 18:00 Uhr ist auf Grund eine Wetteränderung, die Luftdruck auf 1020 hPa gesunken, und der Pilot liest deswegen eine Flugplatzhöhe von 380 Meter an seinen Altimeter.

Da Flugflächen immer Flächen des gleichen Drucks entsprechen, ist z.B. FL 100 auch während des Tages um 80 Meter gestiegen. Ein Altimeter berücksichtigt diese Änderung, ein GPS aber nicht.

Toleranzen

Wenn für Luftraum Höhenbestimmung ein GPS (oder GPS Logfile) verwendet wird, sind die GPS Ungenauigkeiten und die Variationen in Luftdruck zu addieren.

Ein Pilot kann durchaus nach Altimeterangaben korrekt geflogen sein, aber nach GPS Höhe entweder bis zur ca. 150 Meter zu Hoch oder zu Tief sein.