



Gerd Pfeffer

Fliegen im Gebirge



Gerd Pfeffer

Fliegen im Gebirge

Auszug
zum Thema:

Höhenmessung

Wichtiger Hinweis:

Die in diesem Buch wiedergegebenen Informationen, Hinweise, Ratschläge und Flugmanöver wurden vom Autor mit größtmöglicher Sorgfalt zusammengestellt. Trotzdem sind Fehler niemals ganz auszuschließen. Es kann daher weder eine Garantie noch eine sonstige rechtliche Verantwortung oder Haftung für den Inhalt oder irgendwelche Folgen übernommen werden, die auf möglicherweise fehlerhafte Angaben zurückzuführen sind.

Für die Mitteilung eventueller Fehler, anderer Hinweise oder von Verbesserungsvorschlägen ist der Autor stets dankbar.

© Gerd Pfeffer 2001, 2004
Ulrichweg 16
D-72119 Ammerbuch
☎/ 📠 07073/4259
email: Gerd.Pfeffer@gmx.de

2.1.2 Höhenmessung

Der Höhenmesser im Flugzeug ist dem Prinzip nach ein einfacher Barometer. Beim Höhenmesser werden jedoch anstelle der Druckeinheiten unmittelbar die Höhenwerte in Meter oder Fuß angezeigt. Die Kalibrierung erfolgt dabei anhand der Werte der Standardatmosphäre. Mit dem Luftdruck verändert sich folglich auch die angezeigte Höhe auf dem Höhenmesser.

Die Druckabnahme mit zunehmender Höhe erfolgt aber nicht linear. In Bodennähe nimmt der Luftdruck bei einer bestimmten Höhenänderung sehr rasch ab. Dagegen ist die Abnahme in größerer Höhe bei der gleichen Höhenänderung nur noch gering. Dementsprechend verringert sich auch die Luftdichte, so daß schon in 5.500 m nur noch der halbe Luftdruck und auch nur noch die halbe Luftdichte wie am Boden herrschen.

| Barometrische Höhenstufen und Luftdichte | | | |
|---|--------------------------|--------|------------------------------------|
| Höhe (m NN) | Barometrische Höhenstufe | | Luftdichte (kg/m ²) |
| | m/hPa | ft/hPa | |
| 0 | 8 | 27 | 1,225 |
| 1.000 | 9 | 30 | 1,112 |
| 3.000 | 11 | 36 | 0,909 |
| 5.500 | 16 | 54 | 0,660 |
| 11.000 | 32 | 108 | 0,364 |

Tabelle 3: Barometrische Höhenstufen und Luftdichte

Zur Anpassung an die jeweils aktuellen Druckverhältnissen kann man die Anzeige mit einer beweglichen Skala verstellen. Die vom Höhenmesser angezeigte Höhe ist also die relative Höhe über der eingestellten Nullhöhe (Bezugshöhe), unter Zugrundelegung der Maßgaben der Standardatmosphäre.

Gebräuchlich sind folgende 4 Höhenmessereinstellungen:

1. QFE

Das QFE ist der aktuell auf dem Flugplatz herrschende Luftdruck. Bezugshöhe ist also die Flugplatzhöhe. Die angezeigte Höhe ist also die Höhe über dem Flugplatz. Am Boden zeigt der Höhenmesser demzufolge die Höhe „0“ an.

Oder umgekehrt:

Wird am Boden die Anzeige des Höhenmesser auf die Höhe „0“ eingestellt, erscheint im Einstellfenster der augenblicklich auf dem Flugplatz herrschende Luftdruck.

2. QFF
Das QFF bezeichnet den aktuellen Luftdruck an irgendeinem Ort, bezogen auf MSL. Der QFE-Wert dieses Orts wird dazu rechnerisch anhand der aktuell herrschenden Temperatur auf Meereshöhe reduziert.
3. QNH
Das QNH bezeichnet den gegenüber dem QFF weiter standardisierten Begriff. Wird dort der aktuelle QFE-Wert noch anhand der örtlichen Temperatur auf MSL reduziert, erfolgt für die Feststellung des QNH diese Reduktion nun mit Hilfe der Bedingungen der Standardatmosphäre. Das QNH hat dementsprechend den nach den Bedingungen der ISA-Standardatmosphäre vom QFE auf MSL zurückgerechneten Luftdruck zum Inhalt. Der QNH-Wert ist also der theoretische, d.h. der auf den Standardvorgaben basierende Luftdruck in MSL.
4. QNE Standardeinstellung 1013,2 hPa
Diese Einstellung führt zur Anzeige der Höhe über der Druckfläche 1013,2 hPa, die nicht mit der Höhe über MSL übereinstimmt oder dies nur ausnahmsweise tut. Diese Höhenangabe wird als Flugfläche (engl. Flight-level = FL) bezeichnet.

Bei einer den Vorgaben der Standardatmosphäre entsprechenden Drucklage zeigen alle vier Höhenmessereinstellungen auf Meereshöhe gleich an.

Indem die Höhenmesserskala einstellbar ist, kann man sie so justieren, daß sie unter bestimmten Bedingungen, nämlich den Bedingungen der Standardatmosphäre, eine diesen Vorgaben entsprechende Höhe anzeigt. Für den Piloten wäre es nun aber wichtig, daß er auf dem Höhenmesser die „wirkliche“, die „richtige“ Flughöhe, beispielsweise die Höhe über einem Flugplatz oder einer Geländeerhebung, ablesen kann. Mit Hilfe der QFE-Einstellung wäre das zu bewerkstelligen, so daß bei Kunstflug am Platz die notwendigen Höhen direkt abzulesen sind. Für Überlandflüge ist diese Einstellung aber untauglich und unzulässig. Oder der Pilot kann etwa auf einem Flugplatz den Wert einstellen, welcher der tatsächlichen Flugplatzhöhe entspricht. Ebenso wie bei der QNH-Einstellung können sich auf dem Flugweg aber die Luftdruck- und/oder Temperaturverhältnisse so weit ändern, daß die Höhenanzeige unter Umständen bedeutende Fehler aufweist. Dabei wäre es gerade im Hinblick auf Hindernisse besonders wichtig, die „wahre“ Höhe am Höhenmesser ablesen zu können. Oder wenigstens die Umstände zu kennen, welche Fehlanzeigen verursachen, um diese gegebenenfalls rechnerisch oder auf andere Weise korrigieren zu können.

Zugleich ist es auch im Hinblick auf das Leistungsvermögen des Flugzeugs mindestens ebenso wichtig, für spezifische Bedingungen die konkreten Druckverhältnisse in einer bestimmten Höhe zu kennen. Höhe ist in der Luftfahrt deshalb kein eindeutiger und unveränderlicher Begriff, sondern hat durchaus verschiedene Inhalte und Bedeutungen.

2.2 Fünf wichtige Höhen:

- **angezeigte Höhe,**
- **korrigierte Höhe,**
- **wahre Höhe,**
- **Dichtehöhe und**
- **Dienstgipfelhöhe**

2.2.1 Die angezeigte Höhe

Die angezeigte Höhe ist zunächst einmal schlicht die Höhe, die der Höhenmesser aktuell anzeigt. Konstruktionsbedingt sowie aus Gründen der Eichung auf die Werte und Bedingungen der Standardatmosphäre ergeben sich aber notwendigerweise Fehlanzeigen.

1. Gerätefehler

Wie gesehen, ist die barometrische Höhenstufe in verschiedenen Höhen unterschiedlich groß. Würde nun der Höhenmesser die Druckwerte direkt in Höhenwerten anzeigen, käme eine den barometrischen Höhenstufen entsprechend verzerrte Anzeige zustande. Die Übertragung zwischen Membrandose und Zeiger erfolgt deshalb durch eine Reihe von Hebeln, Gelenken und Zahnrädern, so daß die Anzeige auf das gewohnte lineares Maß gebracht wird, bei dem für gleiche Höhenintervalle auch gleiche Skalenintervalle gelten. Allerdings ergibt sich daraus, und zwar unabhängig davon, ob große oder kleine Drücke gemessen werden, ein gewisses, gerätetypisches mechanisches Spiel und damit eine dementsprechende Fehlanzeige. Wegen der Eichung des Geräts nach der barometrischen Höhenformel wird notwendigerweise diese Fehlanzeige mit zunehmender Höhe immer größer. Am Boden ist sie dagegen meist vernachlässigbar.

Die zulässigen Toleranzen betragen

am Boden: ± 50 ft

zusätzlich pro 1.000 ft Höhenzunahme: ± 10 ft

bei Hinzurechnung der Hysterese: ± 75 bis 80 ft. Hysteresefehler sollen jedoch 150 ft nicht überschreiten.

Aber selbst bei Geräten, welche in geringeren Höhen korrekte Anzeigen lieferten, sind schon bei Überprüfungen in größeren Höhen durchaus erhebliche Abweichungen festgestellt worden. So hat z.B. in einem Fall bei einer Anzeige von 10.000 m der Fehler beinahe 1.000 m betragen.

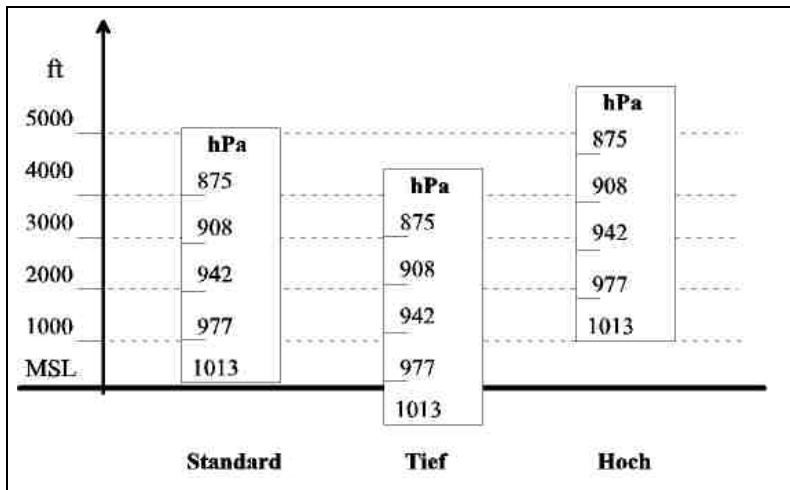
2. Druckabweichungen

Die hauptsächliche Ursache einer Spielart solcher Fehlanzeigen sind jedoch wetterbedingte Abweichungen der momentan herrschenden Druckverhältnisse von den Vorgaben der Standardatmosphäre.

Derartige Druckabweichungen lassen sich bei gleichbleibenden übrigen Vorgaben nach

Fliegen im Gebirge

Auszug: Höhenmessung



der Standardatmosphäre vereinfacht so beschreiben, daß sich die Luftsäule gegenüber der Meeresspiegelhöhe (MSL) bei Tiefdruck nach unten, bei Hochdruck dagegen nach oben verschiebt, wie das die nebenstehende Abbildung zeigt.

Abbildung 22: Abweichender Druck in MSL

- Unter Standardbedingungen (linke Säule) hätte der Höhenmesser demzufolge in MSL die Anzeige „0“. Wird er auf die Druckfläche 942 hPa angehoben, zeigt er 2.000 ft an, bei 908 hPa zeigt er 3.000 ft usw.
- Unter Tiefdruckeinfluß (mittlere Säule) würde der Höhenmesser in MSL dagegen 1.000 ft anzeigen. In 2.000 ft wäre er dann nur noch einem Druck von 908 hPa ausgesetzt und würde deshalb 3.000 ft anzeigen.
- Unter Hochdruckeinfluß (rechte Säule) umgekehrt. Hier ist der Druck in MSL höher als normal, so daß die Höhenmesseranzeige zu niedrig ist. Im Beispiel wäre sie in 1.000 ft Höhe gerade „0“. In 2.000 ft wird die Druckfläche 977 hPa erreicht, was zur Anzeige 1.000 ft führt usw.

Ist der Luftdruck in MSL also niedriger als normal, zeigt der Höhenmesser zu hoch an. Das Flugzeug ist in Wirklichkeit tiefer als angezeigt. Es besteht also die Gefahr, daß es gegen ein Hindernis fliegt.

Ist der Luftdruck in MSL dagegen höher als normal, zeigt der Höhenmesser zu niedrig an. Das Flugzeug ist in Wirklichkeit höher als angezeigt.

Beheben läßt sich das während des Flugs nur durch fortlaufende Einstellung des aktuellen QNH-Werts auf der Nebenskala des Höhenmessers.

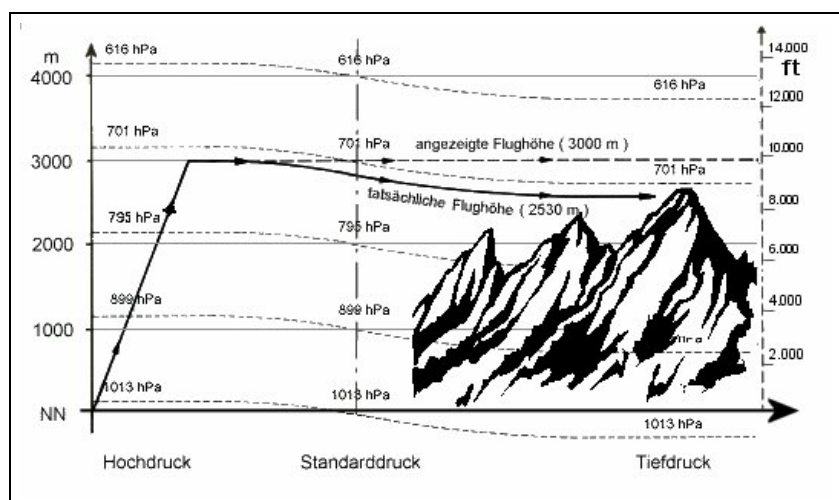


Abbildung 23: Höhenanzeigefehler bei Druckabweichung
„Vom Hoch ins Tief geht schief“

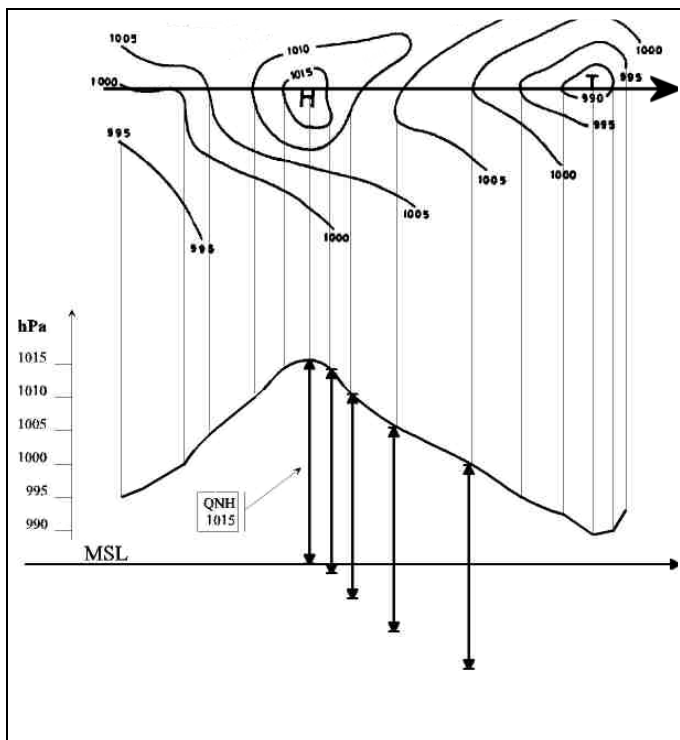


Abbildung 24: „Hügel“ und „Senken“ der Wetterkarte

Bei entsprechend kleinräumiger Verteilung von Hoch- und Tiefdruckgebieten, werden während eines Flugs ohne weiteres mehrere derartige Druckgebiete durchfliegen. Die Lage nach der Wetterkarte kann dabei durchaus mit einer topographischen Karte verglichen werden, in der die Hochdruckgebiete mit Bergen und Hügeln, die Tiefdruckgebiete mit Senken und Tälern verglichen werden kann. Führt der Flug von einem Gebiet mit hohem Luftdruck in ein Gebiet mit niedrigerem Luftdruck verliert das Flugzeug ohne fortlaufendes Nachstellen des Höhenmessers stetig an Höhe. Es gleitet sozusagen auf der absinkenden Druckfläche nach unten.

Diese Einsicht führt zur bekannten

Merkregel: „Vom Hoch ins Tief geht schief.“

Frage:

Angenommen der Höhenmesser stand abends, nach Ende des Flugbetriebs, auf 1.310 ft. Am nächsten Morgen zu Beginn des Flugbetriebs zeigt der Höhenmesser nun aber 1.380 ft an, obwohl nichts verstellt worden ist. Was ist geschehen?

Wie vorhin ausgeführt, zeigt der Höhenmesser immer die (Druck-) Höhe über der Bezugsdruckfläche an, welche in der Nebenskala eingestellt ist. Zeigt er also jetzt eine größere Höhe an, muß die Bezugshöhe abgesunken sein.

Das bedeutet: Der Luftdruck ist seit dem vorigen Abend gesunken.

3. Temperaturabweichungen

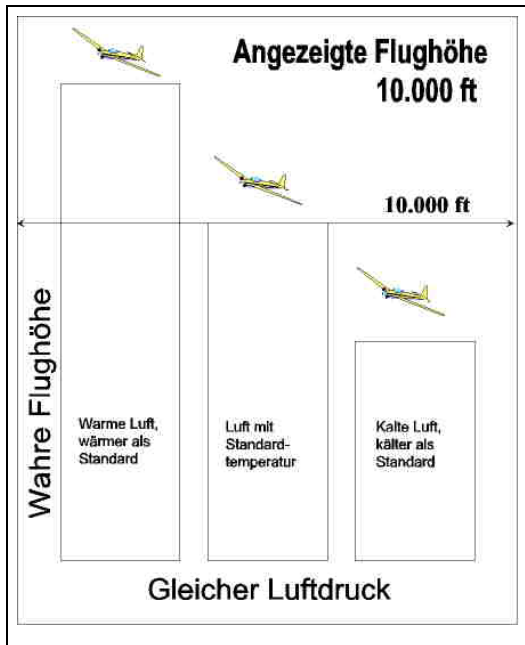
Neben diesen Abweichungen des aktuellen QNH von den Druckwerten der Standardatmosphäre, führen vor allem abweichende Temperaturen zu Fehlanzeigen des Höhenmessers. Wie die meisten Stoffe dehnt sich Luft bei Erwärmung aus bzw. zieht sich bei Abkühlung zusammen. Kältere Luft ist damit dichter und folglich schwerer als warme Luft. Wegen des barometrischen Funktionsprinzips des Höhenmessers zeigt dieser in kalter Luft bei gegebener gleichbleibender Höhe einen höheren Druck, d.h. wegen der gleichzeitigen Bindung an die ISA-Standardatmosphäre eine geringere Höhe an, wie das bei warmer Luft der Fall wäre.

Fliegen im Gebirge

Auszug: Höhenmessung

Mit anderen Worten: In warmer Luft würde der Höhenmesser bei gleicher Höhe einen geringeren Druck und damit eine größere Höhe anzeigen.

Zur Veranschaulichung dieses Umstands folgende Darstellung:



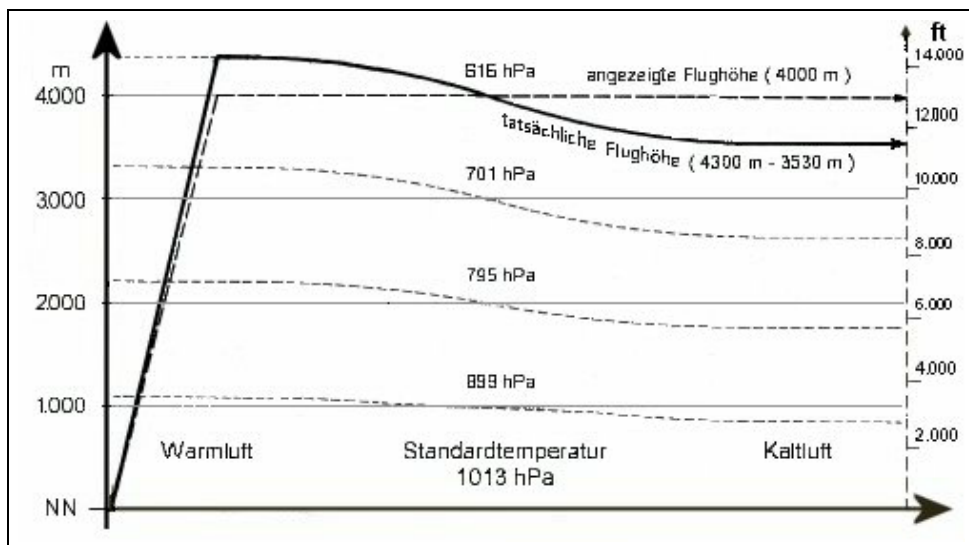
In der Abbildung sind drei Luftsäulen unterschiedlicher Temperatur dargestellt. Die Druckwerte am Boden sind dabei jeweils gleich, die Druckwerte an den höchsten Stellen der Luftsäulen ebenfalls. Da der Höhenmesser im Grunde ein Barometer ist, würde die auf ihm angezeigte Höhe an der oberen Kante dieser drei Säulen ebenfalls gleich sein.

Die angezeigte Höhe ist also abhängig von der Lufttemperatur unter dem Flugzeug. Da der Druck am Boden wie auch am oberen Ende jeder Säule gleich ist, ist auch die angezeigte Höhe auf jeder Säule gleich. Ist die Luft also kälter als nach dem ISA-Standard festgelegt, zeigt der Höhenmesser mehr als die tatsächliche Höhe an, das Flugzeug fliegt also tatsächlich niedriger als auf dem Höhenmesser angezeigt. „Im Winter sind die Berge höher.“

Ist die Luft wärmer, zeigt er dementsprechend weniger als die tatsächliche Höhe an, das Flugzeug fliegt also tatsächlich in größerer Höhe als angezeigt.

Abbildung 25: Höhenanzeigefehler bei Lufttemperaturabweichung

Die angezeigte Höhe und die tatsächliche Höhe des Flugzeugs stimmen also nur unter den Bedingungen der Standardatmosphäre überein. Ändern sich aber die tatsächlichen Temperaturwerte der Luft gegenüber den Werten der Standardatmosphäre, ändern sich



dementsprechend auch die Abstände der betreffenden Druckebenen. Die Anzeige des Höhenmessers stimmt daher um den Betrag dieser Differenz nicht mehr mit den wirklichen Werten überein.

Abbildung 26: Temperaturabhängige Fehlanzeige des Höhenmessers

In Abbildung 26 würde z.B. auf dem Höhenmesser konstant 4.000 m (13.100 ft) angezeigt. Links im Warmluftbereich wäre das Flugzeug tatsächlich rund 4.300 m (14.100 ft) hoch. Führt der Flugweg in kalte Luft nimmt diese Flughöhe ständig weiter ab, bis schließlich nur noch eine tatsächliche Höhe von ca. 3.500 m (~ 11.600 ft) vorliegt.

Mit anderen Worten:

Bei einem Flug von warmer Luft in kalte Luft mit einer angezeigten konstanten Höhe, verliert man in Wirklichkeit kontinuierlich an Höhe.

Diese Erkenntnis führt zu folgender

Merkregel: „Von Warm nach Kalt wird man nicht alt.“

Beispiel:

Ein Flugzeug fliegt nach der Anzeige am Höhenmesser in 10.000 ft bei einer Außentemperatur von -25°C . Der Höhenmesser wurde beim Start auf QNH eingestellt. Wie hoch fliegt es tatsächlich?

Mit Hilfe des Navigationsrechners läßt sich die wahre Höhe von etwa 9.200 ft ermitteln. Das bedeutet, daß das Flugzeug tatsächlich 800 ft tiefer fliegt. Wenn in dieser Situation ein Berg überflogen werden soll, dessen Gipfel 9.300 ft hoch ist, besteht keine Chance "drüber" zu kommen.

Wird aber in angezeigten 10.000 ft bei einer Außentemperatur von $+10^{\circ}\text{C}$ geflogen, liegt die wahre Höhe tatsächlich bei 10.500 ft.

Zur Korrektur der Höhenmesseranzeige bei Temperaturabweichungen von den Vorgaben der Standardatmosphäre ergibt sich daraus folgende

Faustformel: Angezeigte Höhe $\pm 0,4\%$ pro $^{\circ}\text{C}$ Abweichung, d.h.
angezeigte Höhe $+ 0,4\%$ / 1°C Abweichung, wenn die Luft wärmer,
angezeigte Höhe $- 0,4\%$ / 1°C Abweichung, wenn die Luft kälter ist.

In der Praxis ergeben sich daraus zweierlei Schwierigkeiten, in die man bei zu sorglosem Umgang mit der Höhenmessereinstellung kommen kann:

1. Man fliegt niedriger als der Höhenmesser anzeigt, wenn der Flug von einem Gebiet mit hohem Luftdruck in ein Gebiet mit niedrigem Luftdruck führt. „Vom Hoch ins Tief geht schief“. Aus diesem Grund ist der Höhenmesser stets auf das QNH der dem Flugweg nächstgelegenen Flugverkehrskontrollstelle einzustellen und ggf. nachzuführen.
2. Beim Flug von warmer in kalte Luft zeigt der Höhenmesser eine zu große Höhe an. „Im Winter sind die Berge höher“. Das Flugzeug ist also tatsächlich niedriger als der Höhenmesser anzeigt. Über flachem Gelände ist dies nicht weiter problematisch. Unter den gleichen Bedingungen über gebirgigem Gelände kann allerdings die Differenz zwischen angezeigter und wahrer Höhe so groß sein, daß man auf Kollisionskurs mit Bodenerhebungen ist.

2.2.2 Die korrigierte Höhe

Notwendig ist also die Korrektur der Höhenmesseranzeige um diese temperaturbedingte Abweichung. Wenn die Durchschnittstemperatur der Luftsäule zwischen dem Flugzeug und der Erdoberfläche bekannt wäre, könnte diese bei der Berechnung der effektiven Höhe über Grund einbezogen werden, so daß eine genaue Höhenangabe möglich würde. In Flugzeugen der allgemeinen Luftfahrt ist aber allenfalls die Möglichkeit vorhanden, den Höhenmesser der Durchschnittstemperatur der umgebenden Luft anzugleichen. Mit Hilfe eines Außentemperaturfühlers kann dann die Temperatur ermittelt werden, die außerhalb des Flugzeuges in der umgebenden Luft herrscht. Wird die angezeigte Höhe um diesen Temperaturwert korrigiert, ergibt sich eine relativ genaue Höhenangabe. Diese Korrektur basiert auf der Abweichung der festgestellten Außentemperatur von der Temperatur der Standardatmosphäre.

Man spricht bei der so ermittelten Höhe von der „berichtigten Höhe“ bzw. der „korrigierten Höhe“.

2.2.3 Die wahre Höhe

Als wahre Höhe (engl.: true altitude) bezeichnet man die tatsächliche Höhe über MSL und zwar unabhängig von den wechselhaften Einflüssen der Atmosphäre. Die in der Atmosphäre herrschenden Bedingungen stimmen, wie schon dargestellt, nur ausnahmsweise mit der Standardatmosphäre überein. Deshalb stimmt auch die angezeigte Höhe meistens nicht mit der Höhe überein, in der sich ein Flugzeug tatsächlich befindet. Die wahre Höhe würde vielmehr nur unter den Bedingungen der Standardatmosphäre der genauen Höhe über MSL entsprechen.

Die wahre Höhe wird dementsprechend aus den Höhenmesseranzeige für QNH und 1013,25 hPa sowie der berichtigten Außentemperatur mithilfe eines elektronischen Flug-Computers oder eines herkömmlichen Navigationsrechner („Drehmeier“) wie z.B. dem ARISTO-AVIAT oder dem Jeppesen Flight Computer berechnet.

Diese Berechnung der wahren Höhe soll am Beispiel des Jeppesen dargestellt werden:

Gegeben:
Höhenmesseranzeige 12.500 ft bei
1029 hPa (QNH),
12.000 ft bei 1013,2 hPa,
Temperatur - 20° C

Gesucht:
Wahre Höhe

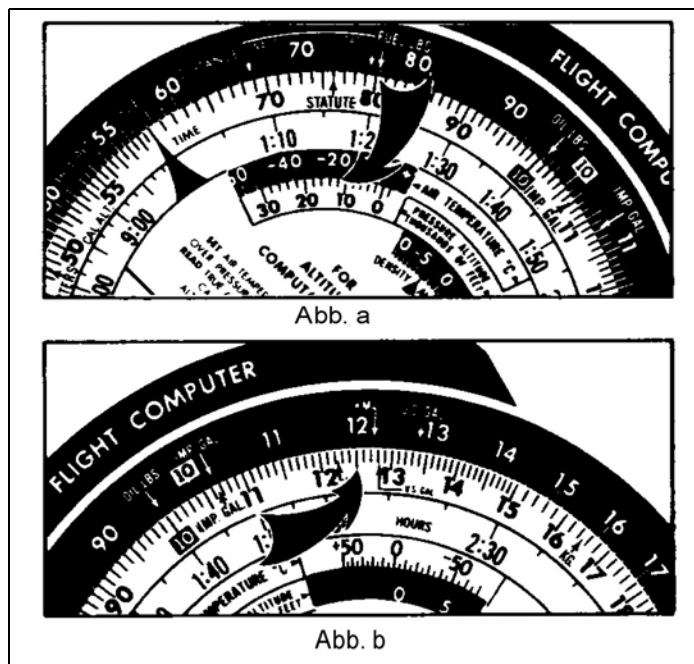


Abbildung 27: Berechnung der wahren Höhe mit Jeppesen Flight Computer

Für die Lösung ist wie folgt vorzugehen:

1. Höhenwert unter QNH-Einstellung feststellen.
2. Druckskala auf 1013,2 hPa einstellen und den Höhenwert feststellen.
3. Die berichtigte Außentemperatur am Thermometer ablesen.
4. Im linken Skalenfenster des Jeppesen unter die Temperatur -20°C die Druck-Höhe 12.000 ft einstellen, wie in der Abbildung a ersichtlich.
5. Über der QNH-Höhe 12.500 ft (12,5 des mittleren Skalenrings) die wahre Höhe ablesen, wie in Abbildung b ersichtlich.

Ergebnis:

Die wahre Höhe im Beispiel beträgt 12.000 ft. Das Flugzeug fliegt also 500 ft tiefer als angezeigt.

2.2.4 Die Dichtehöhe

Die Dichtehöhe (engl. density altitude) ist das maßgebende Kriterium für das Leistungsverhalten des Flugzeuges, denn die Luftdichte beeinflusst sowohl dessen Aerodynamik als auch die Leistung des Triebwerks. Aber wann auch immer Piloten beieinander sitzen, gibt es ein Thema, über das eigentlich nie geredet wird: Die Dichtehöhe. Der Grund ist vielleicht, daß zu viele Piloten über dieses Thema zuwenig Bescheid wissen. (Obwohl böse Zungen behaupten, dass die meisten Menschen am liebsten über das reden, wovon sie die wenigste Ahnung haben.) Heiß, hoch und hohe Luftfeuchte können nämlich vermeintliche Routinestarts und -landungen schneller fatal enden lassen, als hier darüber geschrieben werden kann. Um so wichtiger ist es, daß jeder verantwortungsbewußte Pilot darüber eingehend Bescheid weiß.

Die Dichtehöhe hat also bestimmenden Einfluß auf das Leistungsvermögen des Flugzeuges.

Die Dichtehöhe wiederum steht in

Korrelation zur Luftdichte. Je größer die Höhe, umso geringer ist die Luftdichte. Um so wärmer die Luft, desto geringer ist die Luftdichte. Dasselbe gilt für die Luftfeuchte. Eine geringere Luftdichte bedeutet, daß eine bestimmte Menge Luft weniger Luftmoleküle enthält. Mit anderen Worten: Es strömt weniger Luft über das Tragflächenprofil, so daß sich der zu

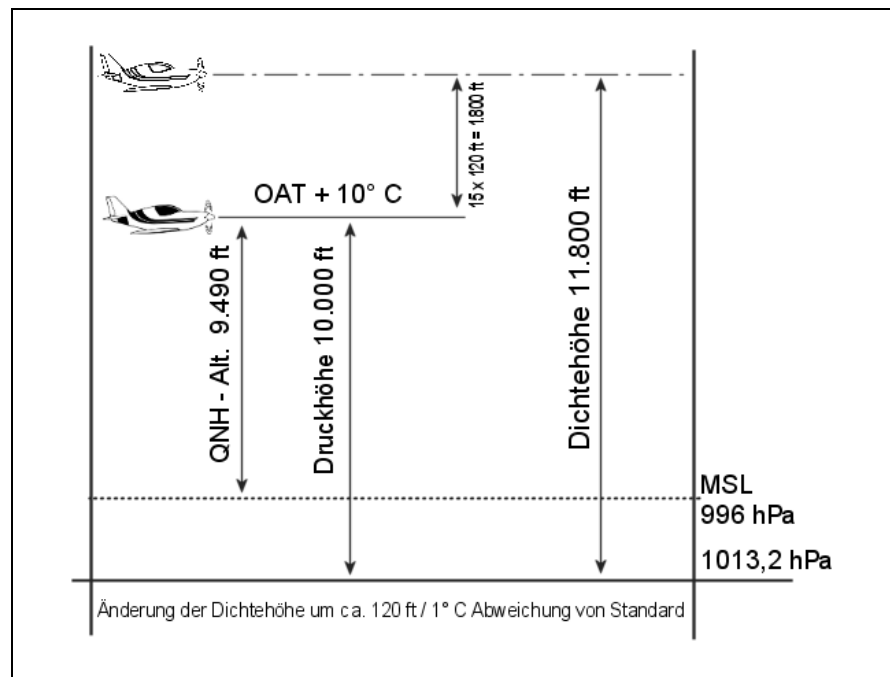


Abbildung 28: Dichtehöhe

erzielende Auftrieb entsprechend vermindert. Der Einfluß von hoher Temperatur und hoher Luftfeuchte ist im übrigen kumulativ, was die Dichtehöhe zusätzlich vergrößert und das Leistungsvermögen des Flugzeugs entsprechend verringert.

Wenn die Luftdichte abnimmt, nimmt also die Dichtehöhe zu. Die Auswirkungen der Dichtehöhe beschränken sich aber nicht auf Flüge ins Gebirge. Sie treten in gleicher Weise z.B. in Meereshöhe auf, wenn die Temperatur höher ist als der ISA-Standardwert von 15° C. Es ist nur so, daß die Auswirkungen in größeren Höhen noch drastischer ausfallen. Startstrecke, zur Verfügung stehende Motorleistung (bei normalen Vergasermotoren) und Steigrate verschlechtern sich allesamt und während die angezeigte Fluggeschwindigkeit (IAS) dieselbe bleibt, nimmt die wahre Fluggeschwindigkeit (TAS) zu, weil auch der Fahrtmesser durch den geringeren Staudruck entsprechend weniger anzeigt. Hierzu aber nachstehend in Nr. 2.7.2 mehr.

Höhe, Temperatur und Luftfeuchte sind somit die drei wichtigen Faktoren, welche die Luftdichte beeinflussen.

Die Luftfeuchte wird hierbei oftmals völlig zu unrecht nicht als eigener Faktor bei der Berechnung der Dichtehöhe angesehen, weil ihr mehr Einfluß auf die Motorleistung als das aerodynamische Leistungsvermögen des Flugzeugs zugemessen wird. Wasserdampf weist aber eine deutlich geringere Dichte auf wie gleich warme trockene Luft. Dies ist ja nicht zuletzt neben der Temperatur der Antrieb der Thermik. Bei hohen Temperaturen ist Luft bekanntlich in der Lage, eine entsprechend hohe Menge an Wasserdampf aufzunehmen. So kann z.B. Luft bei 35° C einen rund achtmal (8!) höheren Gehalt an Wasserdampf aufweisen wie bei 5° C. Entsprechend gering ist die „Tragfähigkeit“ dieser Mischung.

Eine große Dichtehöhe und hohe Luftfeuchte treten allerdings nicht immer zugleich auf. Wenn aber in diesem Fall auch eine hohe Luftfeuchte herrscht, scheint es angebracht, die berechneten Startstrecken mit einem Zuschlag von 10% zu versehen und zusätzlich von einer geringeren Steigrate auszugehen. Außerdem verdient dann auch der Beladepplan einer intensiveren Betrachtung.

Gerade auf höher gelegenen Flugplätzen, insbesondere solchen im Gebirge, können sich hohe Temperaturen derart auf die Dichtehöhe auswirken, dass ein sicheres Starten und Landen nicht mehr möglich ist. Unter solchen Bedingungen können Starts und Landungen zwischen dem späten Vormittag und dem frühen Nachmittag außerordentlich gefährlich werden. Sogar in niedrigeren Höhen kann das Leistungsvermögen des Flugzeugs derart weit zurückgehen, daß das Gewicht des Flugzeugs durch Verminderung der Zuladung reduziert werden muß, um überhaupt einen sicheren Betrieb zuzulassen. Sollten die vorhergesagten Temperaturen daher einen solchen Fall nahe legen, ist es unbedingt ratsam, das Flugvorhaben in die kühleren Tageszeiten zu legen, also den frühen Vormittag oder den späten Nachmittag. Der frühe Vormittag für den Start und der späte Nachmittag für die Landung (oder umgekehrt) wären dann ideal ... und lassen zudem genügend Raum für jedweden Zeitvertreib dazwischen.

Maßgebend sowohl zur Leistungseinstellung des Motors bei Start und Landung sowie in unterschiedlichen Höhen als auch zum Leistungsverhalten des Flugzeugs unter den fraglichen Bedingungen sind aber auf jeden Fall die Angaben und Verfahren des Flughandbuchs. Hierauf muß verwiesen werden.

Ebenso ist aber auch darauf hinzuweisen, daß die dort veröffentlichten Daten, Schaubilder und Diagramme in der Regel auf den Vorgaben der Standardatmosphäre (1013,25 hPa bei 15° C in MSL) basieren. Steigt die Temperatur aber aktuell über den zugehörigen

Standardwert, verringert sich an diesem Ort die Luftdichte dementsprechend, während die Dichtehöhe in gleichem Maß zunimmt. Wie schon ausgeführt, wird davon sowohl das aerodynamische Leistungsvermögen des Flugzeugs als auch die Leistungsabgabe des Motors betroffen. Auf diese speziellen Fragen zur Motorleistung wird anschließend in Nr. 2.3 noch ausführlicher eingegangen.

Aus diesem Grund dürfen unter diesen Bedingungen die Angaben des Flughandbuchs aber nicht mehr unkritisch einfach 1:1 übernommen werden. Vielmehr muß nun zuerst die aktuelle Dichtehöhe ermittelt werden, so daß dann anhand dieser festgestellten Höhe das Leistungsverhalten des Flugzeugs im einzelnen in den fraglichen Datenblättern, Schaubildern oder Diagrammen abgelesen werden kann. Allein schon deswegen sollte sich jeder Pilot eingehend mit diesen Angaben im Rahmen seiner Flugvorbereitung befassen und vertraut machen und zwar unabhängig von der konkreten Flugplatzhöhe.

2.2.4.1 Bestimmung der Dichtehöhe

In allererster Linie maßgebend sind also die entsprechenden Angaben des Flughandbuchs. Sollten sich dort wider Erwarten keine derartigen Ausführungen finden, können hilfsweise auch anhand des nachstehend abgebildeten Schaubilds die ungefähren Werte für Temperatur und Höhe zur Bestimmung der zugehörigen Dichtehöhe und damit Korrektur Startstrecke und der Steigrate des Flugzeugs gewonnen werden.

Das Schaubild kann dabei zur Bestimmung der Dichtehöhe sowohl am Boden als auch in der Luft genutzt werden. Dazu ist der Höhenmesser auf 1013,2 hPa einzustellen. Er zeigt nun die Druckhöhe an. Dann ist die Außentemperatur abzulesen. Am linken Schaubildrand ist daraufhin die Druckhöhe abzugreifen. Von da wird soweit waagrecht nach rechts gegangen, bis die abgelesene Außentemperatur senkrecht darunter liegt. Die zugehörige Dichtehöhe kann jetzt an den schräg verlaufenden Linien abgelesen werden.

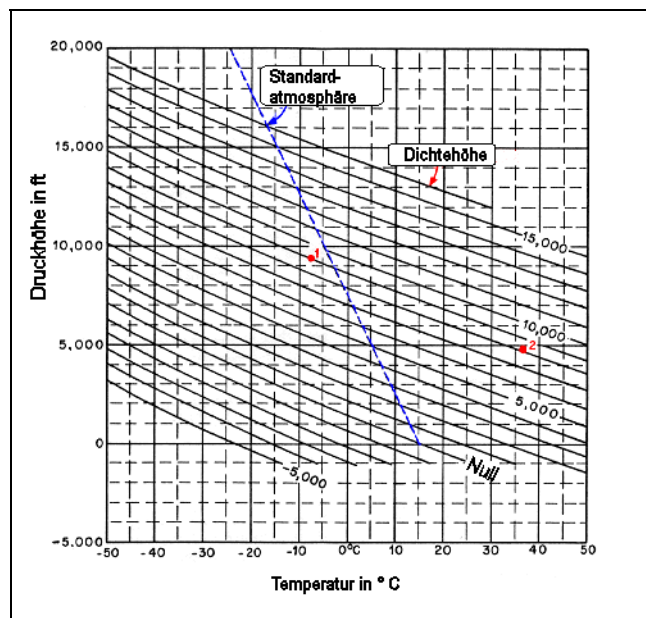


Abbildung 29: Diagramm Dichtehöhe

Beispiel 1:

Die Dichtehöhe im Flug ist zu bestimmen. Druckhöhe: 9.500 ft; Temperatur: -8°C .

Gehe von 9.500 ft Druckhöhe am linken Schaubildrand solange waagrecht nach rechts, bis senkrecht darunter am unteren Schaubildrand der Temperaturwert -8°C liegt. Die Dichtehöhe beträgt 9.000 ft (der mit „1“ markierter Punkt im Schaubild).

Beispiel 2:

Die Dichtehöhe für den Start ist zu bestimmen.

Druckhöhe: 4.950 ft; Temperatur: +36° C.

Gehe von 4.950 ft Druckhöhe am linken Schaubildrand solange waagrecht nach rechts, bis senkrecht darunter am unteren Schaubildrand der Temperaturwert +36° C liegt. Die Dichtehöhe beträgt 8.200 ft (der mit „2“ markierter Punkt im Schaubild). Zu bemerken ist, daß in warmer Luft die Dichtehöhe beträchtlich höher als die Druckhöhe ist!

Die Dichtehöhe ist damit die Höhe in der Standardatmosphäre, die der in Flughöhe des Flugzeuges herrschenden Luftdichte entspricht. Sie ist also die temperaturkorrigierte Druckhöhe. Die Druckhöhe wiederum ist die Höhe, welche auf dem Höhenmesser angezeigt wird, wenn dieser auf 1013 hPa eingestellt ist (Anzeige der Höhe über der Druckfläche). Mit anderen Worten: Nur unter den Bedingungen der Standardatmosphäre (Druck und Temperatur) sind Druckhöhe und Dichtehöhe gleich.

Die Dichtehöhe darf also nicht verwechselt werden mit der Druckhöhe, der angezeigten Höhe, der wahren Höhe oder der absoluten Höhe. Sie ist insoweit eigentlich kein Maß zur Höhenmessung, sondern vielmehr ein Kriterium zur Bestimmung des Leistungsvermögens des Flugzeugs. Die Dichtehöhe ist also mit anderen Worten die Höhe, in der das Flugzeug glaubt, daß es sei und sich dementsprechend verhält.

Aus dem Blickwinkel des Piloten hat daher eine größere Dichtehöhe eine längere Startstrecke, eine geringere Steigrate, eine höhere wahre Fluggeschwindigkeit (TAS) bei Anflug und Landung und wegen der daraus folgenden höheren Geschwindigkeit über Grund eine längere Lande(roll)strecke zur Folge.

2.2.4.2 Wie wird die Dichtehöhe berechnet?

- Stuttgart liegt im Hochgebirge -

Die Dichtehöhe erhält man, indem man die Druckhöhe (engl. pressure altitude) um die Abweichung der aktuellen Temperatur von der Standardtemperatur der ISA-Atmosphäre korrigiert.

Hierzu ein Beispiel:

Flughafen Stuttgart EDDS

- Platzhöhe 1.300 ft MSL
- Tiefdruckwetterlage, QNH 1002 hPa
- Temperatur über der Piste 30° C.

Ist am Höhenmesser 1002 hPa eingestellt, wird in Stuttgart die Flugplatzhöhe mit 1.300 ft angezeigt. Wird nun der Höhenmesser auf 1013 hPa gedreht, so erfolgt die Anzeige der aktuellen Druckhöhe von ca. 1.630 ft.

Dieses Ergebnis läßt sich auch rechnerisch herleiten. 1 hPa Druckdifferenz entspricht in diesem Höhenbereich bekanntlich einer barometrischen Höhenstufe von ca. 30 ft. Der aktuelle Luftdruck ist um 11 hPa tiefer als der Standardluftdruck, d.h. die Druckhöhe ist um $11 \times 30 = 330$ ft höher als die Flugplatzhöhe.

Fliegen im Gebirge

Auszug: Höhenmessung

Um nun die Dichtehöhe zu ermitteln, wird die Druckhöhe von 1.630 ft um die Abweichung der aktuellen Temperatur von der Temperatur in ISA korrigiert. Nach ISA würde in 1.630 ft eine Temperatur von etwa 12° C herrschen (in MSL 15° C; 2° C Temperaturabnahme pro 1.000 ft), die aktuelle Temperatur von 30° C liegt also um 18° C über dem entsprechenden Standardwert der ISA-Temperatur. Die Dichtehöhe ändert sich um rund 120 ft pro 1° C Temperaturabweichung. Ist also die Temperatur höher als der Standardwert, so ist die Dichtehöhe größer als die Druckhöhe. Ist die Temperatur dagegen geringer als Standardwert, so ist die Dichtehöhe geringer als die Druckhöhe. Im Beispiel liegt die Dichtehöhe um $18 \times 120 = 2.160$ ft über der Druckhöhe und beträgt somit ca. 3.790 ft!

Unter den gegebenen Annahmen entsprechen damit die Bedingungen in Stuttgart denen eines Flugplatzes in Hochgebirge, wie z.B Mauterndorf in Österreich.

Aus dem Flughandbuch müssen also die Leistungsdaten für die Dichtehöhe von 3.790 ft und nicht etwa für die Flugplatzhöhe von 1.300 ft entnommen werden! Bei Flugplätzen im Gebirge können die Verhältnisse folglich noch weitaus ungünstiger liegen, da allein schon die Flugplatzhöhe einige tausend Fuß betragen kann.

Die Dichtehöhe läßt sich im übrigen ganz einfach und exakt auch mit den handelsüblichen Navigationsrechnern feststellen.

Zur Darstellung soll wieder auf den Jeppesen Flight Computer zurückgegriffen werden.

Beispiel:

Druckhöhe: 10.000 ft

Temperatur: - 20° C

Gesucht: Dichtehöhe

Lösung:

1. Im rechten Skalenfenster unter die Temperatur - 20° C die Druckhöhe 10.000 ft einstellen.
2. Im mittleren Skalenfenster für Dichtehöhe das Ergebnis ablesen.

Ergebnis:

Dichtehöhe = 8.000 ft

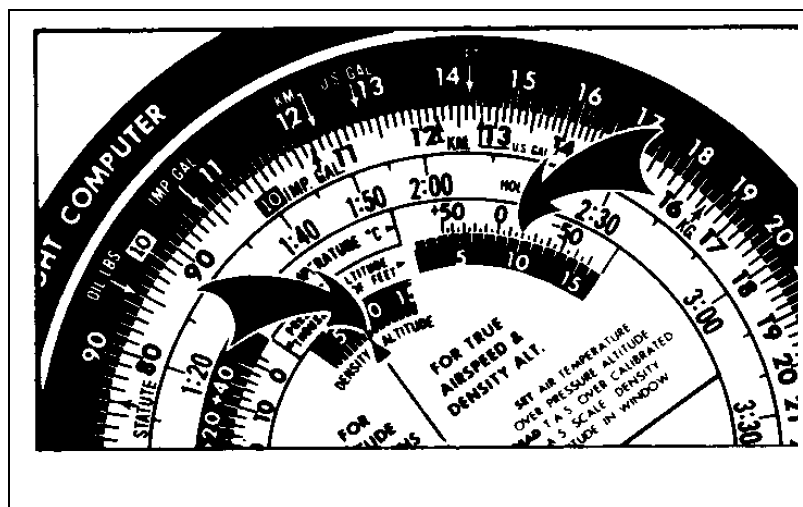


Abbildung 30: Berechnung der Dichtehöhe mit dem Jeppesen Flight Computer