

Flugbetrieb

Höhen

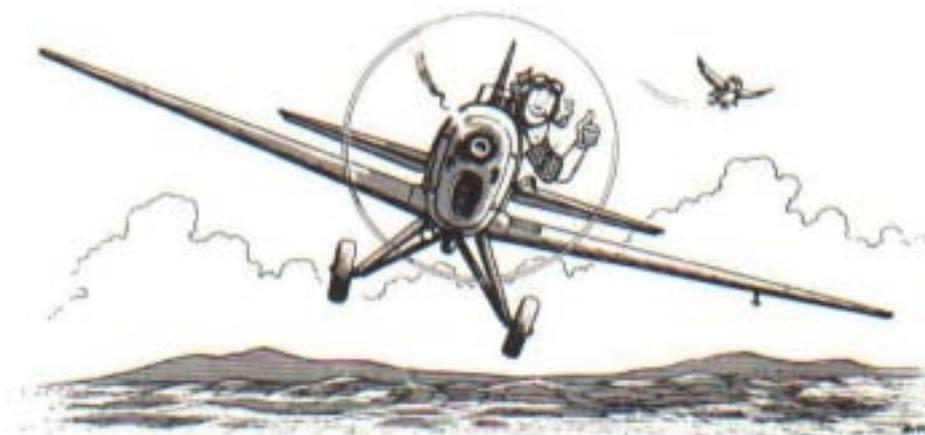
Sind Sie noch auf der „Höhe“?

Braunschweig, den 7. Dezember 1983
LBA III 32 – 985.1/83

Wer hat ihn als Passagier eines Verkehrsflugzeuges während des Sinkfluges nicht schon einmal erlebt, diesen manchmal recht schmerzhaften „Druck auf den Ohren“?

Daß sich der Luftdruck mit der Höhe ändert, ist allerdings nicht nur – zuweilen – unangenehm, sondern ausgesprochen nützlich; denn dadurch kann die Flughöhe bestimmt werden. Fast alle Höhenmesser in den Flugzeugen arbeiten nämlich nach dem Prinzip des Barometers, sie messen den Luftdruck.

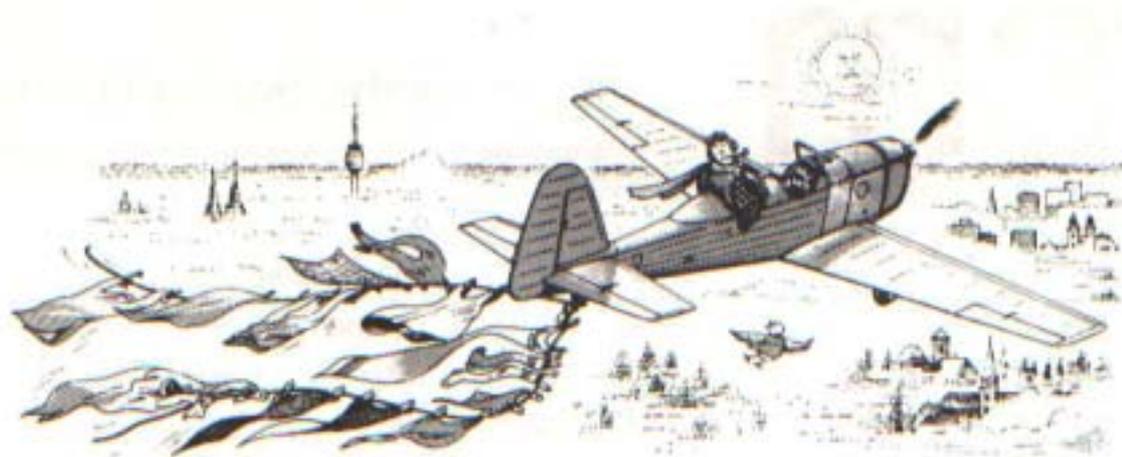
Aus dieser Arbeitsweise ergeben sich für den praktischen Gebrauch einige Probleme. Deshalb soll diese fsm Ihnen noch einmal die Theorie und Praxis des barometrischen Höhenmessers erläutern und so helfen, möglicherweise Vergessenes wieder aufzufrischen.



Herausgeber: Luftfahrt-Bundesamt, Flughafen, 3300 Braunschweig

Herstellung: Umbach, Braunschweig

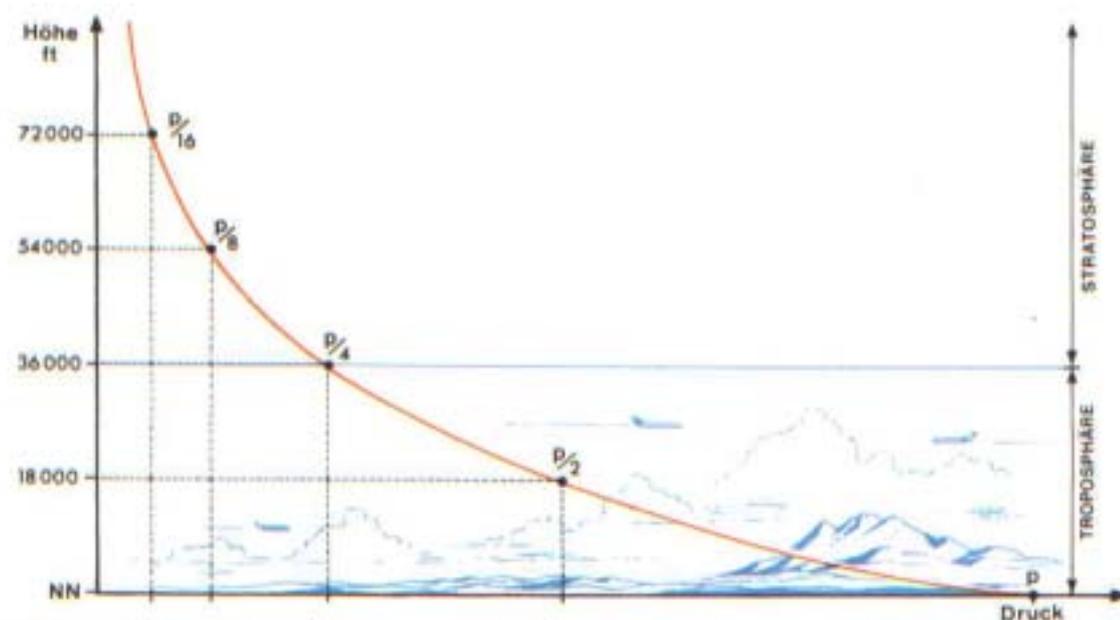
Nachforderungen mit ausreichend frankierten und adressiertem Umschlag bitte richten an:
DAeC-Wirtschaftsdienst GmbH, Lyoner Str. 16, 6000 Frankfurt/M. -Niedernd



Atmosphäre, Luftdruck

Die Erde ist von einer Lufthülle umgeben, der **Atmosphäre**. Diese wird in verschiedene Schichten unterteilt, wobei für die Allgemeine Luftfahrt nur die unterste Schicht – die **Troposphäre** – von Bedeutung ist. Die Troposphäre reicht durchschnittlich bis zu einer Höhe

den Luftdruck wurde in der Luftfahrt bisher das „Millibar“ (mbar) verwendet. Neuerdings gilt jedoch eine andere Einheit, das „Hektopascal“ (hPa). Hektopascal und Millibar sind vom Zahlenwert her gleich (1 mbar = 1 hPa), so daß sämtliche Höhenmesser wie bisher benutzt und abgelesen werden können. Geändert hat sich somit lediglich die **Bezeichnung** für die Druckeinheit.



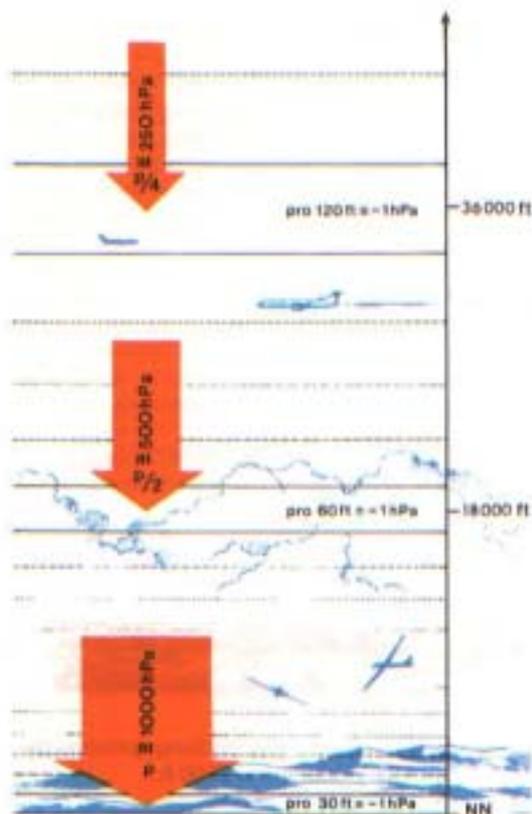
Druckverlauf bei zunehmender Höhe

von 11 km. Da die ganze Atmosphäre dem Gesetz der Schwerkraft unterliegt, übt sie somit einen Druck auf die Erdoberfläche aus. Stellt man sich nun eine Luftsäule vor, die von der Erdoberfläche bis an die obere Grenze der Atmosphäre reicht, so wird verständlich, daß aufgrund der Eigenmasse Luftdruck und Luftdichte im unteren Bereich größer sein müssen als im oberen.

Die Abbildung zeigt, daß der Druck in den unteren Bereichen der Atmosphäre schneller abnimmt als in größeren Höhen (logarithmischer Verlauf). Als Maßeinheit für

Barometrische Höhenstufe

Der Luftdruck ist also von der Höhe abhängig. Das wird ausgenutzt, um mit Hilfe von Druckmessungen die Höhe zu bestimmen. Verringert sich der Luftdruck mit zunehmender Höhe um genau „1 hPa“, so nennt man den zugehörigen Höhenunterschied „**Barometrische Höhenstufe**“. Wie sie sich aufgrund des logarithmischen Druckverlaufs mit zunehmender Höhe verändert, zeigt die folgende Abbildung.



Barometrische Höhenstufe

Man erkennt daraus, wenn sich der Luftdruck halbiert, so verdoppelt sich die Barometrische Höhenstufe. In niedrigen Höhen (bis zu etwa 6.000 ft) begeht man keinen großen Fehler, wenn man sich als Faustformel merkt:

Die Barometrische Höhenstufe beträgt im Mittel 30 ft = 8 m.

Standardatmosphäre

Da sich in der wirklichen Atmosphäre Druck- und Temperaturverlauf ständig ändern, mußten Standardwerte festgelegt werden, um einheitliche Bezugsgrößen zu erhalten. Diese Standardisierung geschah weltweit durch die Schaffung der ICAO-Standardatmosphäre, in welcher jeder Höhe ein fester Druck- und Temperaturwert zugeordnet ist.

Diese Normwerte zeigt die folgende Tabelle:

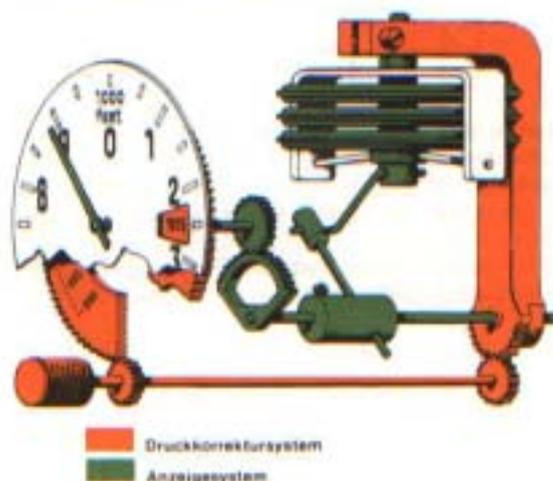
Höhe (ft)	Druck (hPa)	Druck- differenz (hPa)	Temperatur (°C)
MSL/NN	1013		15
1000	977	36	13
2000	942	35	11
3000	908	34	9
4000	875	33	7
5000	843	32	5
6000	812	32	3
7000	782	30	1
8000	752	30	-1
9000	724	28	-3
10000	697	27	-5

Man erkennt daraus, daß die Temperaturabnahme mit der Höhe, der sogenannte Temperaturgradient, 2° C/ 1000 ft (0,65° C/100 m) beträgt.

Wie arbeitet nun der Höhenmesser?

Der Höhenmesser ist nach der ICAO-Standardatmosphäre geeicht. Die genormten Druck- und die zugehörigen Höhendifferenzen sind also dem Höhenmesser fest eingegebene Größen.

Das wichtigste Bauteil des Höhenmessers ist die sog. „Aneroiddose“, eine dünnwandige, nahezu luftleere Metalldose. Bei abnehmendem Luftdruck (z. B. während des Steigfluges) weitet sich die Dose aus, bei zunehmendem Luftdruck (z. B. während des Sinkfluges) wird sie zusammengedrückt. Die Aneroiddose vollführt also eine Hubbewegung. Um den Hubweg zu vergrößern, werden mehrere Aneroiddosen hintereinander angeordnet (Dosensatz). Mit Hilfe des Kurbeltriebes wird die Hubbewegung in eine Drehbewegung umgewandelt, so daß der Zeiger auf einer geeichten Skala jeden Druckunterschied als Höhendifferenz anzeigt. Das bedeutet jedoch, daß auch Luftdruckschwankungen innerhalb der Atmosphäre (Hoch- und Tiefdruck) eine Anzeigendifferenz verursachen. Um die hieraus resultierende Verfälschung der Höhenanzeige korrigieren zu können, ist der Höhenmesser mit einer Nebenskala (Druckkorrekturskala) ausgerüstet. Mit Hilfe dieser Nebenskala kann der Zahlenwert der entsprechenden Bezugsdruckfläche in einem Einstellfenster eingestellt werden. Der angezeigte Wert des Bezugsdrucks ist die Basis für die Höhenmesseranzeige.



Funktion des Höhenmessers (Schematische Darstellung)

In der Praxis kommen als Bezugsdruckeinstellungen hauptsächlich drei Größen zur Anwendung: QFE, QNH und Standard (1013,2 hPa).

QFE

Das QFE ist der aktuelle atmosphärische Luftdruck, welcher an einem Flugplatz am Boden gemessen wird. Stellen Sie nun das QFE auf der Nebenskala ein, so zeigt der Höhenmesser „0 ft“ an! Anders ausgedrückt heißt das:

Stellen Sie den Höhenmesser am Boden auf „0 ft“ ein, so kann auf der Nebenskala der aktuelle Platzdruck abgelesen werden!

annahme mit
dient, 2°C/

sser?

ndardatmo-
die zuge-
henmesser

ist die sog.
zu luftleere
(z. B. wüh-
sus, bei zu-
Sinkfluges)
diese voll-
weg zu ver-
einander
rbeitetriebes
ung umge-
zten Skala
nz anzeigt.
wankungen
druck) eine
raus resul-
korrigieren
ebenskala
hilfe dieser
rechenden
eingestellt
ucks ist die



stellung)
nstellungen
QFE, QNH

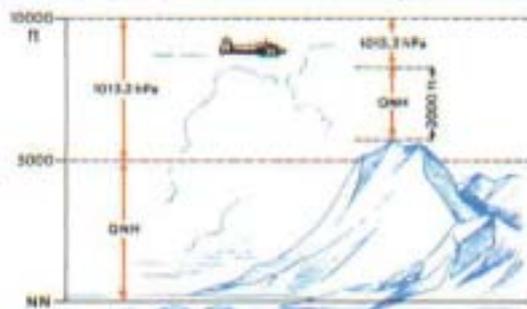
Luftdruck,
essen wird.
cala ein, so
usgedrückt

if „0 ft“ ein,
Platzdruck

Der Höhenmesser zeigt immer eine Höhe über der Druckfläche an, die auf der Nebenskala eingestellt ist. Bei einer QFE-Einstellung liegt die Bezugsdruckfläche in derselben Höhe wie der Flugplatz. Während des Fluges mit einer QFE-Einstellung wird darum auch ständig nur die Höhe über dem Startflugplatz angezeigt. Diese Einstellung mag für einen Piloten nützlich sein, der Platzrunden fliegt. Für einen Piloten jedoch, der sich auf einem Überlandflug befindet, ist diese Einstellung völlig unbrauchbar, ja sie ist sogar **gefährlich!**

QNH

Die Bezugsdruckfläche für das QNH ist der Meeresspiegel. Der am Flugplatz gemessene atmosphärische Luftdruck (QFE) wird auf NN zurückgerechnet, und



Höhenmessereinstellung bei VFR-Flügen

zwar nach den genormten Werten der ICAO-Standardatmosphäre. Dies geschieht, indem man sich zwischen Meeresspiegel und Flugplatzhöhe eine Luftsäule denkt, deren Druck- und Temperaturverlauf der ICAO-Standardatmosphäre entspricht. Da der Höhenmesser nach

diesen Werten geeicht ist, wird immer die Platzhöhe angezeigt, wenn das aktuelle QNH am Boden eingestellt ist.

Bei allen Flügen nach Sichtflugregeln über die nähere Umgebung des Startflugplatzes hinaus gilt:

In und unterhalb einer Höhe von 5000 ft über NN oder in und unterhalb einer Höhe von 2000 ft über Grund – wobei der höhere Wert maßgebend ist – ist der Höhenmesser auf den QNH-Wert des zur Flugstrecke nächstgelegenen Flugplatzes mit Flugverkehrskontrolle einzustellen.

Standardeinstellung, 1013 hPa

Oberhalb der oben genannten Höhen ist der Höhenmesser auf 1013 hPa einzustellen (Standard-Höhenmessereinstellung).

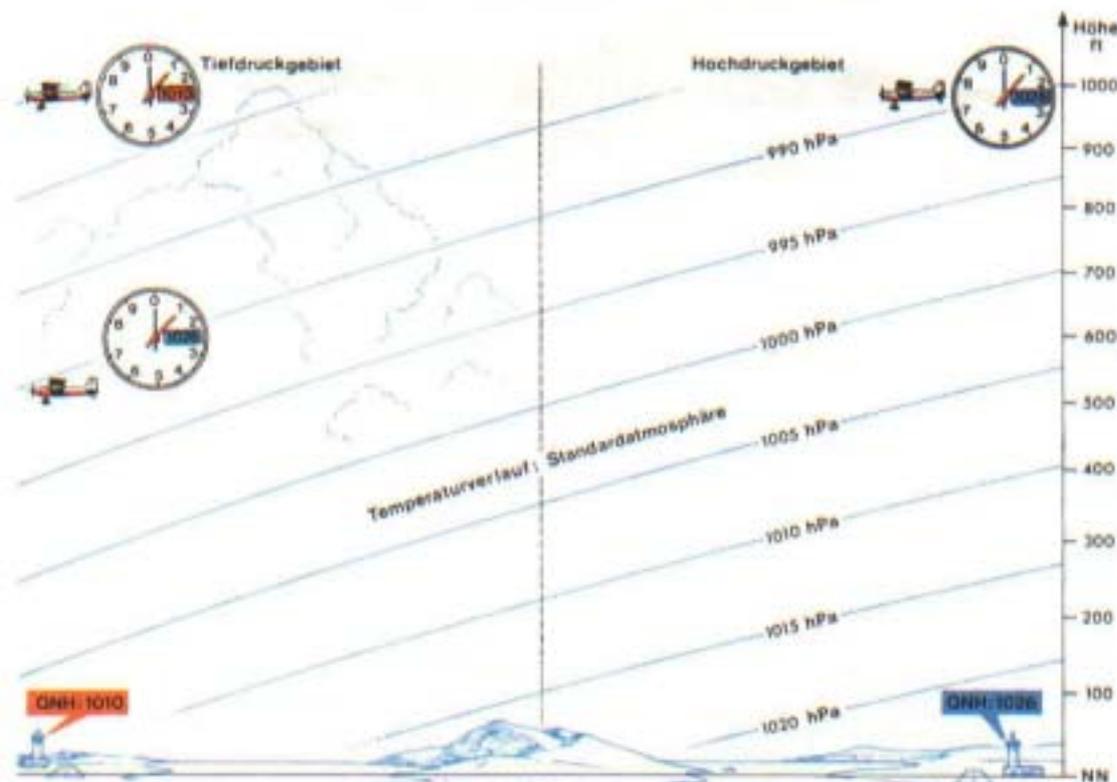
Vergessen Sie nie, im Steig- und Sinkflug die richtigen Bezugswerte am Höhenmesser einzustellen.

Ändert sich nun der Druckverlauf in der Atmosphäre gegenüber den genormten Standardwerten, so beeinflusst dies die Höhenanzeige:

Ein **steigender** atmosphärischer Luftdruck wirkt sich auf die Höhenmesseranzeige wie ein **Sinkflug** aus.

Ein **sinkender** atmosphärischer Luftdruck wirkt sich auf die Höhenmesseranzeige wie ein **Steigflug** aus.

Dieser Anzeigecharakteristik sollte besonders bei Überlandflügen erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Fliegen Sie mit einer konstanten Druckeinstellung auf der Nebenskala, so folgen Sie automatisch einer bestimmten Fläche gleichen Druckes. Das ist besonders dann gefährlich, wenn von einem Hoch- in ein Tiefdruckgebiet eingeflogen wird.



4 Voraussetzung für korrekte Höhenanzeige: das gültige QNH

Die Flächen gleichen Druckes sinken in Richtung Tiefdruckgebiet ab, so daß auch ihr Flugzeug – trotz gleichbleibender Höhenanzeige – absinkt.
Merke: Vom Hoch ins Tief geht's schief!

Ändert sich der vertikale Temperaturverlauf in der Atmosphäre gegenüber den genormten Werten der ICAO-Standardatmosphäre, so bewirkt dies eine **Abstandsänderung** zwischen den Flächen gleichen Druckes.

Ist die Luft **wärmer** als nach der ICAO-Standardnorm, so haben die Flächen gleichen Druckes einen **größeren** Abstand voneinander. Der Luftdruck nimmt also mit zunehmender Höhe langsamer ab. Das Flugzeug fliegt somit **höher** als angezeigt!

Ist die Luft dagegen **kälter** als in der ICAO-Standardatmosphäre, so **verringert** sich der Abstand zwischen

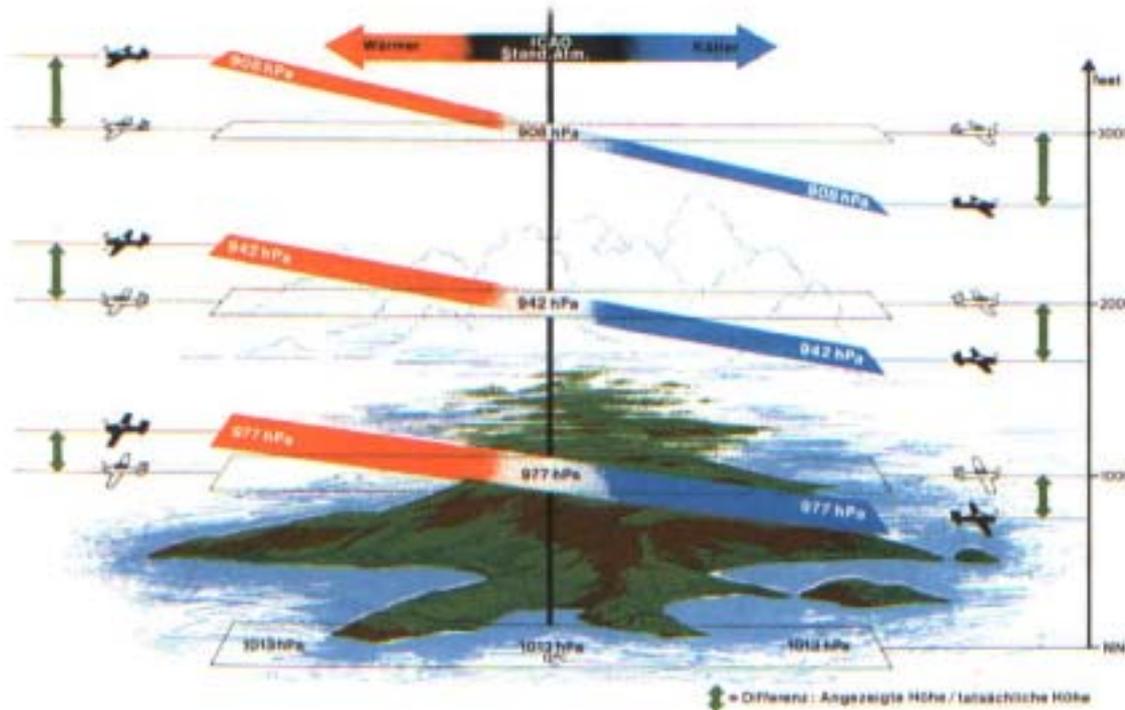
den Flächen gleichen Druckes. Der Luftdruck nimmt mit zunehmender Höhe also schneller ab. Das Flugzeug fliegt somit **niedriger** als angezeigt.

Diese Anzeigefehler können mit Hilfe der Nebenskala nicht mehr korrigiert werden. Hier hilft nur eine erhöhte Aufmerksamkeit während des Fluges.

Beobachten Sie Ihr Bordthermometer, denn so können Sie feststellen, wenn Sie Gebiete unterschiedlicher Temperatur durchfliegen. Es ist leicht einzusehen, daß eine zu hohe Anzeige des Höhenmessers eine Gefahr darstellt, besonders dann, wenn der Flug über Gebirge oder hindernisreiches Gelände führt.

Zwei Merksätze mögen das Problem verdeutlichen:

1. Von Warm nach Kalt: knallt!
2. Im Winter sind die Berge höher!



Warum mit Höhenmesser
 Hierfür gibt
 1. Um in ein
 fliegen zu k
 2. Um eine
 deren Luftf

Höhe ist nicht gleich Höhe

Bedingt durch die Arbeitsweise des Höhenmessers stimmt die angezeigte Höhe in den seltensten Fällen mit der tatsächlichen Höhe überein. Der Begriff „Höhe“ kann also von unterschiedlichen Gesichtspunkten aus betrachtet und definiert werden.

Hier die zwei wichtigsten Höhen:

1.) Druckhöhe (Pressure altitude, Flight Level)

Die Basis der Druckhöhe ist die ICAO-Standardatmosphäre. Jedem Druckwert entspricht also eine bestimmte Höhe. Fliegen Sie z. B. in einer Höhe, in welcher der Luftdruck 942 hPa beträgt, so zeigt der Höhenmesser 2.000 ft an, vorausgesetzt, daß auf der Nebenskala der Druckwert von 1013 hPa eingestellt ist (siehe Tabelle 1). Die Druckhöhe beträgt also in diesem Beispiel 2.000 ft, obwohl die 942-hPa-Druckfläche nicht unbedingt in 2.000 ft über NN liegen muß!

Merke:

Ist der Druckwert von 1013 hPa (Standard) auf der Nebenskala eingestellt, so zeigt der Höhenmesser immer die **Druckhöhe** an. Die **Druckhöhe** ist also die angezeigte Höhe über der 1013-hPa-Druckfläche.

2.) Dichtehöhe (Density altitude)

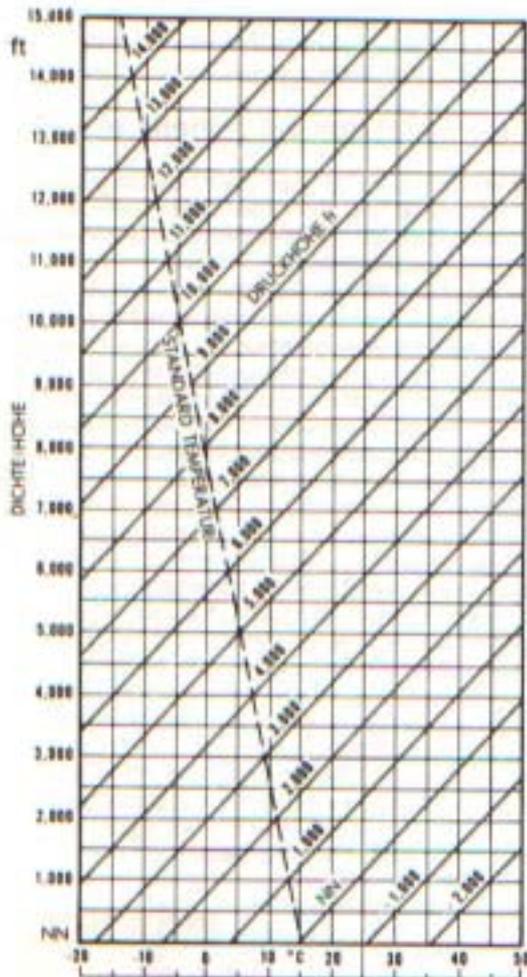
In der ICAO-Standardatmosphäre ist für jede Höhe ein bestimmter Druck- und Temperaturwert festgelegt, oder anders ausgedrückt: Für jede Höhe gibt es einen festgelegten Dichtewert.

Die Dichtehöhe ist gleich der Druckhöhe, wenn der Temperaturverlauf den Normwerten der ICAO-Standardatmosphäre entspricht. Da dies meistens nicht der Fall ist, zeigt das folgende Diagramm die Dichtehöhe in Abhängigkeit von der Druckhöhe und der Temperatur.

In eigen

Im Flieger-
 Bild auf Se





Warum müssen wir uns so gründlich mit dem Höhenmesser und seiner Arbeitsweise befassen? Hierfür gibt es in der Hauptsache zwei Gründe:

1. Um in einer sicheren Höhe über Grund bzw. Wasser fliegen zu können.
2. Um einen sicheren Vertikalabstand gegenüber anderen Luftfahrzeugen einhalten zu können.

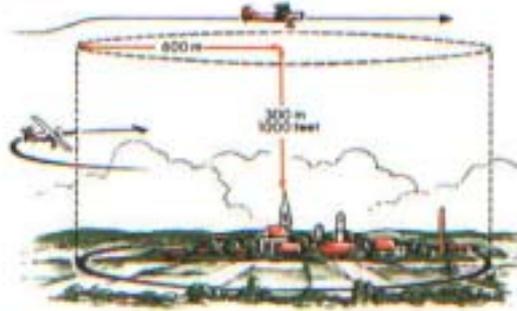
In eigener Sache

Im Flieger-Know-how „Verhalten in Notfällen“ wird im Bild auf Seite 6 gezeigt, wie sich im Kurvenflug die



Sicherheitsmindesthöhe

Die Sicherheitsmindesthöhe darf nur unterschritten werden, soweit es bei Start und Landung notwendig ist. Die Sicherheitsmindesthöhe ist die Höhe, bei der weder eine unnötige Lärmbelastung noch – im Falle einer Notlandung – eine unnötige Gefährdung von Personen und Sachen zu befürchten ist. Sie beträgt über Städten, anderen dichtbesiedelten Gebieten und Menschenansammlungen 300 m (1.000 ft) über dem höchsten Hindernis in einem Umkreis von 600 m, in allen übrigen Fällen mindestens 150 m (500 ft) über Grund oder Wasser!



Über ausgedehnten Stadt- und Siedlungsgebieten beträgt die Sicherheitsmindesthöhe 2000 ft.

Vertikalabstand

Um einen sicheren Vertikalabstand gegenüber anderen Luftfahrzeugen zu gewährleisten, sind bei der Standard-einstellung des Höhenmessers (1013 hPA) die Regeln über Halbkreis-Flughöhen einzuhalten,

„Geschwindigkeit ist das halbe Leben“, so sagten wir in einer fsm.

Dies hier war nun die zweite Hälfte des Fliegerlebens: „die Höhe“

Überziehgeschwindigkeit mit wachsender Quer-neigung erhöht.

Ein Bild wie dieses entsteht dadurch, daß Zeichnungen mit je einer Farbe aufeinandergelegt werden. Durch ein Versehen in der Druckerei beim Aufeinanderlegen der Zeichnungen passen nun in diesem Bild Grundraster und Kurve nicht mehr zusammen. Die Werte stimmen also zahlenmäßig nicht.

Richtig ist:

Quer-neigung	Überziehgeschwindigkeit im Horizontalflyg x
0°	1
20°	1,03
40°	1,14
60°	1,41
80°	2,40