
Instrumentenkunde News

Barometer: Die Messung des Luftdruckes

Wolfgang Dusek, PhD - 20. September 2019



Einführung

Die Veränderung des Luftdruckes ist ein wesentlicher Parameter zur Beobachtung, Analyse und Vorhersage des Wetters. Luft hat Gewicht, Luft ist komprimierbar, Luft nimmt bei unterschiedlichen Temperaturen unterschiedlich viel Wasser auf. Aufgrund dieser physikalischen Tatsachen beruht die Messung des Luftdruckes.

Wikipedia erzählt, dass etwa um 1635 die Stadtverwaltung von Florenz den Gelehrten Galileo Galilei beauftragte sich um eine Problemlösung für die Erbauung von

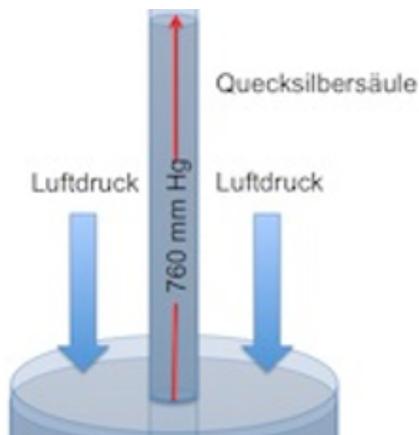


Abbildung 1. Bild: Dusek W., Torricelli-Versuch.

Schematische Abbildung einer auf einer Seite verschlossenen und mit Quecksilber gefüllten Glasröhre, welche mit dem offenen Ende in ein mit Quecksilber gefülltes Behältnis eintaucht. Der Luftdruck drückt auf die Quecksilberoberfläche des großen Behältnisses gegen das Gewicht der Quecksilbersäule in der Glasröhre. Die Säule kommt bei 760 mm zu stehen.

Bewässerungsanlagen zu kümmern. Ingenieure und Brunnenbauer hatten es mittels Saugpumpen nicht geschafft, die nötige Wassermenge in eine Höhe von zehn Meter zu pumpen. Laut Wikipedia beschrieb 1638 Galilei das Problem, verstarb allerdings, bevor er seine theoretische Lösung beweisen konnte. Bereits 1614 ist in seinen Aufzeichnungen nachzulesen, dass Galilei erkannt hatte, dass Luft ein Gewicht besitzt. Galilei errechnete, dass ein Teil Luft den 660ten Teil des Gewichtes von Wasser hat, konnte aber zum damaligen Zeitpunkt keine Schlüsse aus seinen Erkenntnissen ziehen.⁶

Der italienische Physiker und Mathematiker Evangelista Torricelli wurde 1608 in Rom geboren und verstarb 1647 in Florenz.⁷ Nach dem Tod von Galileo Galilei studierte Torricelli die Aufzeichnungen von Galilei und nahm weitere Experimente vor. In dem heute als „Torricelli’scher Versuch“ bekannten Experiment füllte Torricelli eine etwa 90 cm hohe und auf einer Seite verschlossene Glasröhre mit Quecksilber. Mit einem Finger verschloss er das offene Ende der Glasröhre und tauchte diese nun in ein großes, ebenfalls mit Quecksilber gefülltes Behältnis und gab anschließend die Öffnung wieder frei. Dabei konnte er beobachten, dass sich die mit Quecksilber gefüllte Glasröhre nicht vollständig entleerte, sondern eine Quecksilbersäule von etwa 760 mm in der Glasröhre stehen blieb. Die 760 mm Quecksilbersäule

blieb auch dann exakt erhalten, wenn Torricelli die Glasröhre aus dem Behältnis etwas herauszog oder etwas tiefer in das Behältnis eintauchte (Abbildung 1). Mit diesem Experiment konnte Torricelli beweisen, dass der Luftdruck, welcher auf die Quecksilberoberfläche des Behältnisses einwirkt, gegen das Gewicht der Quecksilbersäule in dem Glasrohr wirkt und daher die Quecksilbersäule im Glasrohr eine konstante Höhe anzeigt. Torricelli markierte die Quecksilbersäule und beobachtete weiter, dass sich die Höhe der Säule geringfügig ändert und dass jeder Änderung eine Wetteränderung folgte. Damit war das Quecksilberbarometer erfunden.^{2,3}

Quecksilberbarometer

Grundsätzlich kann der Torricelli'sche Versuch mit jeder Flüssigkeit durchgeführt werden. Quecksilber hat jedoch eine sehr hohe Dichte ($13,5459 \text{ g/cm}^3$), daraus ergibt sich eine geringe Höhe der Glasröhre. Eine mit Wasser gefüllte Glasröhre müsste etwa 10 Meter hoch sein, daraus ergeben sich Probleme beim Transport des Gerätes. Die mit Quecksilber gefüllte Glasröhre erreicht unter Normalbedingungen eine Höhe von 760 mm. Immer mehr Wissenschaftler wollten für ihre speziellen Experimente einen transportablen Barometer. Weiters stieg die Nachfrage an meteorologischen Geräten für den privaten Gebrauch (Abbildung 2). Robert Boyle modifizierte den Torricelli Quecksilberbarometer, indem er ein Ende der Glasröhre umbog (einfacher Siphon), später wurde das umgebogene Endstück noch mit einem Ausgleichsbehälter ausgestattet. Diese Form ist bis heute erhalten und im Handel erhältlich (Abbildung 3).

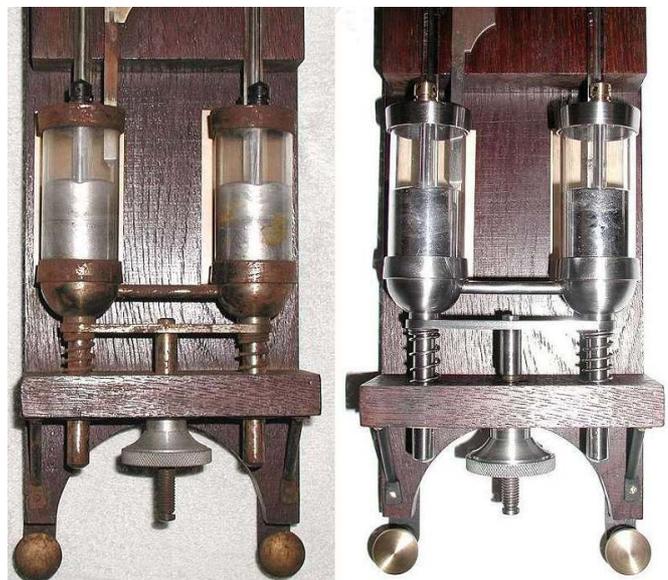


Abbildung 2. Bild: www.historische-barometer.de/barometer. Torricelli Barometer. Es werden zwei Quecksilberbarometer - Ausgleichsbehälter nach dem Torricelli Prinzip vor und nach einer Restauration gezeigt.

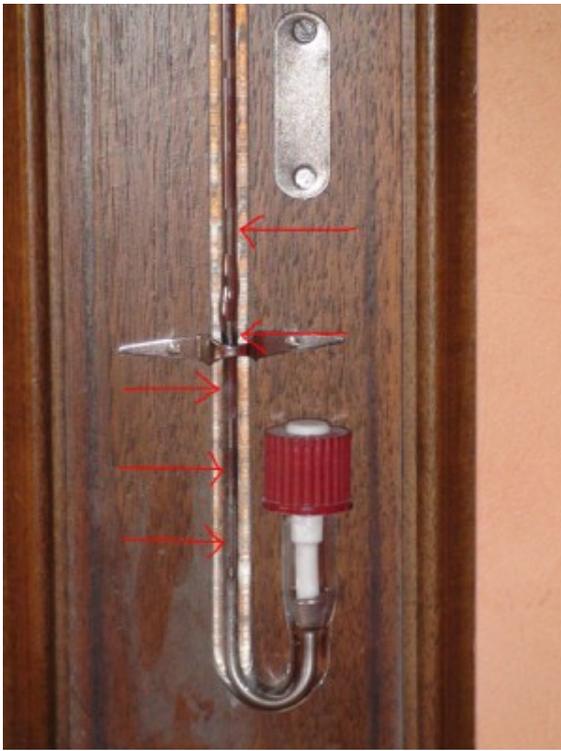


Abbildung 3. Bild: www.wetterstationsforum.de/phpBB. Es wird die Rückseite eines Quecksilberbarometers mit Siphon und Ausgleichsbehälter gezeigt. Der rote Verschluss wird bei Transport des Gerätes verschlossen.

Wissenschaftler der damaligen Zeit entwickelten den Quecksilberbarometer zu einem transportableren Gerät weiter. Die gehobene Mittelschicht begann sich auch für Barometer zu interessieren und es wurden schönere und kunstvoller gestaltete Geräte entwickelt und gebaut. Ein Beispiel dafür ist das Quecksilber – Radbarometer (Abbildung 4)(Abbildung 5). Hierbei wurde über eine Mechanik die Veränderung des Quecksilberspiegels auf einen Zeiger übertragen. Auf der Oberfläche des Quecksilbers befindet sich eine Schwimmer. Dieser Schwimmer ist mit einer Schnur verbunden. Die Schnur wird über ein Drehrad geführt welches mit dem auf der Frontseite

Torricelli konnte durch weitere Beobachtungen nachweisen, dass nach Änderung des Luftdruckes eine Wetteränderung nachfolgt.^{1, 4} Es erschien nun möglich das Wetter vorherzubestimmen. Das erweckte das Interesse der Marine. Konnte man das Wetter genau vorhersagen, dann hatte speziell die militärische Schifffahrt einen Vorteil gegenüber seinem Gegner. Für den Transport war das Quecksilberbarometer aber sehr unpraktisch. Wissenschaftler wurden aufgerufen eine praktikablere Lösung zur Messung des Luftdruckes zu finden.



Abbildung 4. Es wird die Frontseite eines Quecksilber Radbarometers gezeigt.



Abbildung 5. Bild: [kleinanzeigen.ebay.de/ anzeigen](http://kleinanzeigen.ebay.de/anzeigen). Die Rückseite des Radbarometers zeigt die Mechanik für die Anzeige des Luftdruckes.

befindlichen Zeiger verbunden. Ändert sich der Luftdruck dann hebt oder sinkt der Quecksilberspiegel, mittels der Schnur wird der Zeiger bewegt und der Luftdruck ist an der Vorderseite abzulesen. Die Skalen wurden oft kunstvoll ausgestattet. Gegen 1640 war in der damaligen Wissenschaft eine leidenschaftliche Diskussion darüber entbrannt, ob nun Luft ein Gewicht besitzt oder nicht. Torricelli, Descartes sowie Pascal – wesentliche Wissenschaftler der damaligen Zeit – waren davon überzeugt, dass Luft Gewicht hat und folgerten daraus, dass der Luftdruck mit steigender Höhe abnehmen müsse. Mit dem von Pascal weiterentwickeltem Quecksilberbarometer konnten nun Messungen des Luftdruckes in unterschiedlichen Höhen durchgeführt werden und nachgewiesen werden, dass der Luftdruck mit zunehmender Sehhöhe abnimmt.

Aneroidbarometer (Dosenbarometer)

1844 meldete der französische Dampfmaschinen - Ingenieur Lucien Vidi (1805 – 1866) in Paris ein Barometer zum Patent an, welches mittels einer luftleeren Blechdose die Veränderung des Luftdruckes messen konnte. Zu Ehren des Erfinders wird der Aneroidbarometer auch Vidi-Barometer genannt ⁸. Dabei wird eine aus dünnem Metall gefertigte Dose luftleer gepumpt (Abbildung 6). Diese Vakuumdose würde gänzlich zusammengedrückt werden, daher wird sie gegen eine Feder gespannt. Die Feder hat eine konstante Spannung gegen die Vakuumdose. Der auf die Dose einwirkende Luftdruck



Abbildung 6. Bild: www.freunde-alterwetterinstrumente.de. Es wird eine Vakuumdose ohne Feder gezeigt. Durch das Vakuum ist die Dose in der Mitte zusammengedrückt. Die Wellenstruktur an der Vorder- und Rückseite bewirkt erstens eine Vergrößerung der Oberfläche, damit wird die Angriffsfläche für den Luftdruck vergrößert und zweitens wird eine Deformation der Dose verhindert.

mehrere Dosen hintereinander angebracht (Abbildung 8).³

Anwendung, Einheiten, Normalbedingungen

Für den normalen Hausgebrauch ist der tatsächliche Luftdruck nicht wesentlich. Vielmehr interessant ist die Veränderung des Luftdruckes, also ob und in welcher Geschwindigkeit sich der Luftdruck verändert. Rasches sinken des Luftdruckes lässt eine „Verschlechterung“ des Wetters erwarten, rasches steigen des Luftdruckes lässt eine „Verbesserung“ des Wetters

führt zu einer Veränderung der Dicke der Dose. Diese kurze Wegstrecke wird mit einem Kettchen auf ein Zeigerwerk übertragen, die Luftdruck - Veränderung ist somit ablesbar (Abbildung 7). Die Größe der Dose ist nur begrenzt herstellbar, würde die Dose größer gefertigt werden, dann würden die Kräfte, welche das Vakuum in der Dose erzeugt eine derartig starke Feder benötigen, dass die Gerätekonstruktion unpraktisch ausfallen würde. Um einen größeren Messbereich zu erreichen werden daher



Abbildung 7. Bild: www.freunde-alterwetterinstrumente.de. In Schwarzmetall ist die Feder sichtbar, welche die Vakuumdose in der Mitte auseinander zieht. Der schwankende Luftdruck verursacht eine Veränderung der Mittendicke der Dose, diese Veränderung wird über eine Mechanik auf den Zeiger übertragen.



Abbildung 8. Bild:
www.de.academic.ru/dic.nsf. Bei diesem Barograf ist eine fünffache Dose sichtbar welche gegen eine Feder gespannt ist. Die Übertragung auf das Papier erfolgt über ein kompliziertes Hebelwerk.

Amsterdam zwischen Ebbe und Flut (Tide und Hube) also bei Tiden- Huben- Mitte und einer Temperatur von 0°C ($273,15\text{K}$) vor. Weltweit haben sich zwei Maßeinheiten für den Luftdruck durchgesetzt, nämlich mmHg oder hPa (Hektopascal). 760 mmHg entsprechen 1013 hPa.

erwarten. Es ist also für den privaten Gebrauch in der praktischen Anwendung sinnvoll, einmal am Tag den Merkzeiger in die Position des Anzeigers zu bringen. Bevor man eine Ablesung vornimmt, tippt man mit dem Finger leicht auf das Deckglas damit die Mechanik den Anzeiger in Position bringen kann, danach kann die Veränderung abgelesen werden.¹

Lässt man sich den Luftdruck vom Wetterdienst durchgeben, dann bezieht sich dieser Druck immer auf den Meeresspiegel. Bekanntlich ist der Meeresspiegel aber nicht immer gleich hoch. Man hat sich also schon vor langer Zeit darauf geeinigt, dass sich null Meter Seehöhe auf eine bestimmte Örtlichkeit und einem bestimmten Zeitpunkt bezieht. Null Meter Seehöhe liegt in

Luftdruck und Seehöhe

Es wurde bereits die Tatsache erläutert, dass der Luftdruck bei zunehmender Seehöhe abnimmt. Es gibt also einen Unterschied zwischen den tatsächlichen Luftdruck und den Luftdruck, welcher sich auf die Seehöhe 0 bezieht. Abbildung 9 zeigt den Normaldruck von 1013 hPa (760 mmHg) in 0 Meter Seehöhe unter der Annahme, dass von 0 Meter Seehöhe bis 6000 Meter Seehöhe die gleiche Temperatur von 0°C vorliegt. In einem Intervall von 500 Metern ist jeweils der tatsächliche Luftdruck dargestellt. Es ist erkennbar, dass der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt. Es ist aber auch erkennbar, dass der Luftdruck bei zunehmender Höhe nicht um den gleichen Betrag abnimmt sondern je höher die Seehöhe desto geringer wird der Betrag um den sich der Luftdruck verringert. Zur besseren Darstellung ist in Abbildung 10 pro 500 Meter Intervall die Abnahme in Hektopascal (hPa) dargestellt. Von 0 auf 500 Meter Seehöhe reduziert sich der Luftdruck um 63 Hektopascal und von 5500 auf 6000 Meter Seehöhe

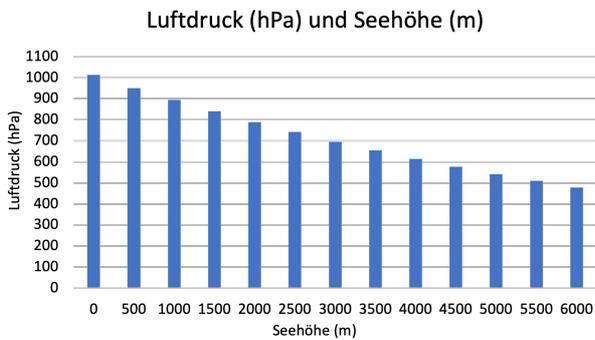


Abbildung 9. Bild: Dusek, W. Die Grafik zeigt die Reduzierung des Luftdruckes bei Zunahme der Höhe im Intervall von 500 Meter unter der Annahme, dass in allen Höhenschichten die gleiche Lufttemperatur vorliegt (was natürlich nicht stimmt).

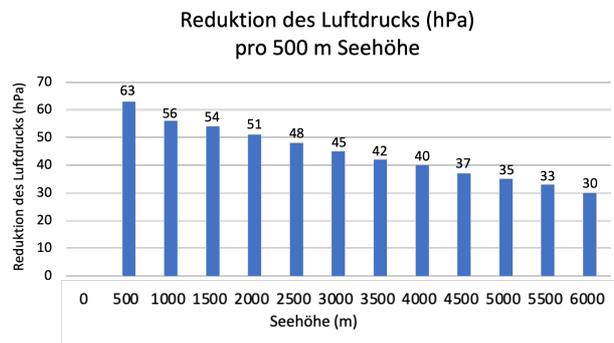


Abbildung 10. Bild: Dusek, W. Diese Grafik stellt die Reduktion pro 500 Meter Höhenintervall dar. Es ist erkennbar, dass sich der Luftdruck von 0 auf 500 Meter Seehöhe um 63 hPa reduziert, bei 5500 auf 6000 Meter Seehöhe um nurmehr 30 hPa reduziert.

reduziert sich der Luftdruck nur mehr um 30 Hektopascal (Abbildung 9 und Abbildung 10). Die Erklärung liegt in der Tatsache, dass Luft komprimierbar ist und daher in den unteren Luftschichten pro gleichen Höhenintervall (in unserem Beispiel 500 Meter) schwerer ist als in den höheren Luftschichten. Die Kompensation aller möglichen Einflüsse, welche die unterschiedliche Reduktion des Luftdruckes in den unterschiedlichen Höhen berücksichtigt, ist nur bei der Barometrischen Höhenmessung wesentlich (5).

Barometer für den Hausgebrauch

Barometer für den Hausgebrauch werden üblicherweise mit einem Einstellbarometer auf die Seehöhe der Örtlichkeit des Benutzers eingestellt. Diesen scheinbar komplizierten Sachverhalt möchte ich mit einem Beispiel erklären:

Ein Kunde kauft einen Barometer in Wien, Wien liegt 171 Meter über dem Meeresspiegel. Der Einstellbarometer ist auf 170 Meter Seehöhe eingestellt und zeigt einen Luftdruck von 1020 hPa an, welcher sich auf 0 Meter Seehöhe bezieht (Abbildung 11). Der Kunde wohnt aber in 500 Meter Seehöhe. Der Einstellbarometer wird nun auf 500 Meter Orts-Höhe eingestellt und zeigt 1058 hPa an (Abbildung 12), der Barometer des Kunden wird nun mittels Einstellschraube auf 1058 hPa eingestellt. Begibt sich der Kunde nun in seinen Wohnort in 500 Meter Seehöhe, dann sinkt der Barometerdruck und zeigt wieder

den auf die Seehöhe bezogenen Luftdruck an. Jedes Fachgeschäft das Barometer verkauft, sollte einen Einstellbarometer haben. Diese Einstellung ist deshalb notwendig, weil die meisten handelsüblichen Barometer mit einem einfacheren Werk ausgestattet sind und die Mechanik nur im Bereich des Normaldruckes eine Anzeige zulässt.



Abbildung 11. Bild: Dusek, W.
Einstellbarometer ist auf 170 Meter Seehöhe eingestellt und zeigt einen Luftdruck von 1020 hPa an.



Abbildung 12. Bild: Dusek, W.
Einstellbarometer ist auf 500 Meter Seehöhe eingestellt und zeigt einen Luftdruck von etwa 1058 hPa an.

Referenzen

1. Crummenerl, R., S. Aust, and W. Freitag, Das Wetter. Tessloff Verlag, , 1999. 1: p. 48978-3-7886-0247-5.
2. Grimsehl, E. and W. Schallreuter, Lehrbuch der Physik. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1991. 1ISBN 3-322-00812-6.
3. Palla, R., Verschwundene Arbeit. Brandstätter Christian Verlagsges. m.b.H. & Co, 2010978-3-85033-327-6.
4. Preiß, D., Wettersituationen, Luftdruck- und elektromagnetische Felder. VDM Verlag Dr. Müller e.K. Saarbrücken, 2008978-3-639-04519-2.
5. Roedel, W., Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2000. 33-540-67180-3.
6. Wikipedia, Barometer. 2010. <http://de.wikipedia.org/wiki/Barometer>
7. Wikipedia, Evangelista Torricelli. 2010. http://de.wikipedia.org/wiki/Evangelista_Torricelli
8. Wikipedia, Vidie Lucien. 2010. <http://de.wikipedia.org/wiki/Vidie>