

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Meteorologie

Trabert, Wilhelm

Berlin [u.a.], 1918

Der Luftdruck

Der Luftdruck.

§ 23. Das Barometer.

Schon im Jahre 1644 wußte Torricelli die Tragweite des in § 2 besprochenen Versuches wohl zu würdigen. Er erkannte, daß er in seiner Röhre ein Mittel entdeckt hatte, um die „Veränderungen der Luft, welche bald schwerer und dicker, bald leichter und dünner sei, zu messen“.

In der That unterscheiden sich ja auch unsere gewöhnlichen Stationsbarometer (Fig. 22 a) im wesentlichen gar nicht von dem Apparate Torricellis. Nur ist zum Zweck bequemeren Ablesens schon das als Schutz der Glasröhre dienende Messingrohr mit einer meist in Millimeter getheilten Skala versehen. Wenn nun auch bei einem bestimmten Luftdruck der Nullpunkt der Skala mit dem Niveau des unteren, weiteren Gefäßes übereinstimmt, so muß doch, sobald der Luftdruck zunimmt und das Quecksilber im Barometerrohr steigt, das Niveau des Quecksilbers im weiteren Gefäße sinken und stimmt also nicht mehr mit dem Nullpunkt der Skala überein. Es ist bei solchen Instrumenten also nötig, wegen der Niveauänderung im weiteren Gefäße eine Korrektion anzubringen. Um nun dieser Unbequemlichkeit auszuweichen, hat Fortin Barometer konstruiert, bei welchen durch einen beweglichen Lederboden das Quecksilber gehoben und gesenkt und auf eine Eisenbeinspize, den Nullpunkt der Skala, eingestellt werden kann (Fig. 22 b). In anderer Weise geht man beim Heberbarometer (Fig. 22 c) einer einfachen, u-förmig gebogenen Glasröhre, dieser

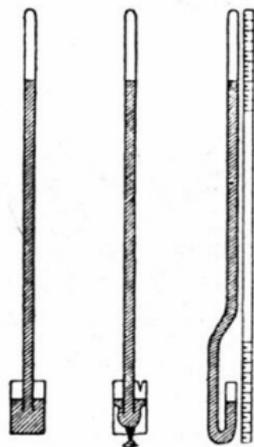


Fig. 22 a, 22 b, 22 c.
Barometer.

Schwierigkeit aus dem Wege, indem man durch zwei Ablesungen den Stand in der längeren und der kürzeren Röhre ermittelt und durch die Differenz wieder die Höhe der Quecksilbersäule erhält, welche der Luftdruck zu tragen vermag.

Da aber die Länge der Quecksilbersäule auch von der Temperatur abhängig ist, andererseits auch wegen der Verschiedenheit der Schwerkraft auf den verschiedenen Parallelfreien das Gewicht des Quecksilbers nicht überall dasselbe ist, so ist, um genaue Daten zu erhalten, noch nötig, die „Temperaturkorrektion“ auf 0°C und die „Schwerkraftkorrektion“ auf den 45. Breitenkreis anzubringen¹⁾.

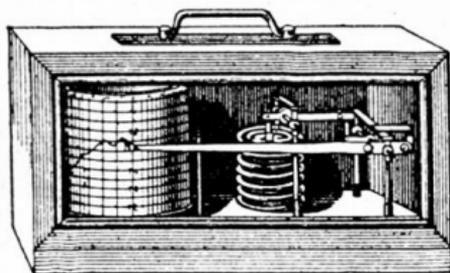


Fig. 23. Barograph.

Selbstverständlich kann man nicht bloß die Schwere, sondern auch andere Kräfte, z. B. die Elastizität einer luftleer gepumpten Blechdose, welche durch den Luftdruck mehr oder weniger zusammengepreßt wird, zu seiner Messung verwenden.

In den Aneroidbarometern und den vielverbreiteten Richardschen selbstschreibenden Barometern ist dieses Prinzip zur Anwendung gebracht. Durch die Veränderungen der Dose wird ein Zeiger oder ein Schreibstift bewegt, an welchem ein Papierstreifen in bestimmter Zeit vorüberbewegt wird (Fig. 23). In Genauigkeit stehen übrigens diese Instrumente hinter dem Quecksilberbarometer zurück.

Ebenso hat man die Eigenschaft des Wassers, unter niedrigem Drucke schon bei tieferen Temperaturen zu siedeln, benützt, um aus der Siedetemperatur, welche man mit wohlgeprüften Thermometern sehr genau bestimmen kann, den

¹⁾ Tabellen, in denen diese Größen angegeben sind, finden sich in den Anleitungen zur Ausführung meteorologischer Beobachtungen.

Luftdruck zu messen. In der That sind denn auch solche Siedethermometer ziemlich verlässliche Barometer.

§ 24. Abnahme des Luftdrucks mit der Höhe.

Die wichtigste, zuerst von Pascal oder vielleicht von Descartes erkannte Eigenschaft des Luftdrucks, welche auch bei der barometrischen Höhenmessung von großer praktischer Bedeutung ist, ist dessen Abnahme mit wachsender Höhe. Da die Dichte der Luft in bekannter Weise von Temperatur und Druck abhängt, so ist es nicht schwer, das Gewicht einer bestimmten Luftsäule zu ermitteln, und man ist dabei zu der Formel gelangt:

$$h = 18\,400 \left(1,00157 + 0,003667 \frac{T + t}{2} \right) \log \frac{B}{b},$$

welche genähert die Beziehung zwischen Höhe h , den Temperaturen (T unten und t oben) und den Barometerständen B (unten) und b (oben) darstellt.

In der folgenden Tabelle ist unter Annahme einer Temperaturabnahme von $0,5^\circ \text{C}$ pro 100 m der Barometerstand einzelner Höhen für verschiedene Temperaturen berechnet worden.

Luftdruck in verschiedenen Höhen.

Temp. im Meeresniveau: Höhe:	-15°C	0°C	15°C	30°C
	Millimeter:			
10 000 m	176	193	209	224
5 000	380	395	410	424
4 000	439	453	466	479
3 000	505	517	528	539
2 000	581	590	598	606
1 000	665	670	675	679
500	711	713	715	718
Meeresn.	760	760	760	760

Da eine warme Luftsäule leichter ist, so muß hier die Differenz zwischen Unten und Oben geringer sein. Ist so

mit innerhalb zweier verschieden warmer Luftsäulen der Luftdruck unten derselbe, so wird in der wärmeren Säule der Druck oben allein wegen der höheren Temperatur viel größer sein. Die obige Tabelle läßt diese Erscheinung deutlich erkennen.

Bei überall gleicher Temperatur herrscht in einer zur Erdoberfläche parallelen Ebene natürlich gleicher Druck; bei ungleicher Temperatur steigen aber die Flächen, in welchen der Druck derselbe ist, die „Flächen gleichen Druckes“, gegen das wärmere Gebiet hin an.

In einer Höhe von 64 km beträgt der Druck nur noch etwa 0,05 mm; die Luft ist hier so dünn, daß sie die Strahlen nicht mehr zu brechen vermag. Diese Höhe kann man praktisch als die Grenze der Atmosphäre betrachten. Nach dem Aufleuchten der Sternschnuppen, nach der Höhe einzelner Nordlichtstrahlen und anderen Erscheinungen zu schließen, muß aber eine Ausdehnung der Atmosphäre noch bis mindestens 300 km Höhe angenommen werden.

§ 25. Luftdruckverteilung.

Auch am Meeresniveau herrscht keineswegs immer und überall der normale Luftdruck von 760 mm. Nach den Iso-
barendarten, Karten, welche die Linien gleichen Barometerstandes darstellen, werden die Hauptunterschiede durch die Land- und Meeresverteilung bedingt. (Vgl. Fig. 29 und 30, Tafeln.) Im Sommer hat das Land niedrigen, das Meer hohen Luftdruck, im Winter ist das Verhältnis umgekehrt; denn die Luft dehnt sich über erwärmten Gebieten aus und fließt zum Teil nach den Seiten ab. Abgesehen von diesen Unterschieden lassen die mittleren Luftdrucke der einzelnen Parallellkreise an der Erdoberfläche deutlich einen Gürtel niedrigen Luftdrucks am Äquator erkennen und in etwa 35° Breite sowohl auf der Nord- als auf der Südhemis-

sphäre einen Gürtel hohen Druckes. Von hier aus nimmt der Druck bis etwa zum 60. Breitenkreis ab, von da bis zum Pol wahrscheinlich wieder zu.

Übrigens sind im Niveau des Meeres, wie die folgende Tabelle lehrt, diese Unterschiede keineswegs groß; in den höheren Luftschichten werden wir dagegen nach den Gesetzen des mit wachsender Höhe abnehmenden Luftdrucks, wegen des großen Temperaturgegensatzes zwischen Äquator und Pol, in den niederen Breiten hohen, in den höheren in demselben Niveau weit niedrigeren Luftdruck zu erwarten haben. Die Beobachtungen bestätigen diesen Schluß auf das Vorhandensein eines beträchtlichen Druckgefälles in den oberen Luftschichten von Wärmeäquator bis zum Pol. Die folgende Tabelle gibt eine übersichtliche Darstellung davon.

Luftdruckverteilung auf der Nordhemisphäre.

Breite:	0°	20°	40°	50°	60°	80°
Im Meeresniv.	758,0	759,2	762,0	760,7	758,7	760,5 mm
In 2000 m	601,1	600,9	598,0	593,0	587,6	582,0 mm
In 4000 m	471,0	469,9	463,6	457,0	451,9	445,2 mm

§ 26. Täglicher und jährlicher Gang des Luftdrucks.

Während bei uns die Schwankungen des Luftdrucks von Tag zu Tag außerordentlich beträchtlich sind, zeigt in den Tropen das Barometer einen ganz überraschend regelmäßigen Gang. Auf dem in Fig. 24 (siehe Tafel) wiedergegebenen, aus einer längeren Reihe willkürlich herausgegriffenen Barogramm von Jaluit sehen wir diese regelmäßige, Tag für Tag sich wiederholende doppelte Welle mit dem tieferen Minimum um etwa 3^h nachmittags, dem weniger tiefen um 3^h nachts und den beiden Maximis um etwa 9^h abends und 9^h früh. Wir haben es mit einer doppelten Welle zu tun, die aber — das zeigt uns die ungleiche Größe der beiden Minima — noch von einer einfachen Welle (mit einem Maximum und

einem Minimum im Tage) überlagert ist. Es läßt sich diese Welle durch die Formel darstellen:

$$a_1 \sin(A_1 + x) + a_2 \sin(A_2 + 2x),$$

wobei a_1 die Amplitude der einfachen, a_2 jene der doppelten Welle ist¹⁾, A_1 und A_2 gewisse von der Lage der Maxima abhängige Winkelkonstanten sind, und x für Mitternacht 0, für 1^h nachts 15°, für 2^h . . 30°, für 3^h . . 45° usw. zu setzen ist.

Hann hat gezeigt, daß auf der ganzen Erde der Gang des Luftdruckes sich aus zwei derartigen Wellen zusammensetzt, und daß insbesondere die doppelte, meist auch größere Welle überall eine merkwürdige Gesetzmäßigkeit aufweise. Ihre Amplitude²⁾ nimmt regelmäßig mit der Breite und (proportional dem Luftdruck) mit der Seehöhe ab; die Eintrittszeit der Maxima fällt aber fast überall auf etwa 10^h vormittags und abends.

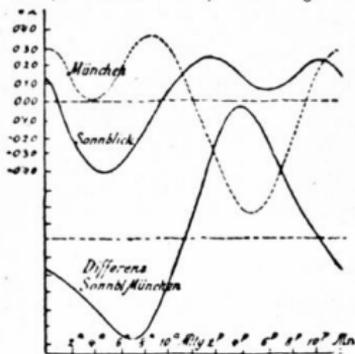


Fig. 25. Täglicher Gang des Luftdruckes.

Weit weniger regelmäßig verhält sich die einfache Welle; doch

ist es Hann gelungen, nachzuweisen, daß sich alle Unterschiede durch den Einfluß des täglichen Temperaturganges erklären lassen. Auf hohen Bergen ist der tägliche Gang des Luftdruckes wesentlich entstellt; das Nachtminimum zeigt sich bedeutend vertieft³⁾, während von dem Nachmittagsminimum fast nichts mehr zu sehen und an seine Stelle das beträchtlich verspätete Vormittagsmaximum getreten ist. Nur die Erwärmung der Luft und die dadurch bewirkte Druck-

¹⁾ Hiernach ist also $2a$, d. i. die doppelte Amplitude, die Differenz zwischen Maximum und Minimum. Man bezeichnet aber auch vielfach (vgl. S. 46) diese Differenz schlechtweg als Amplitude.

²⁾ Am Äquator beträgt die Schwankung (doppelte Amplitude) etwa 2 mm.

³⁾ Vgl. die Gegenüberstellung des Ganges von München und Sonnblick Fig. 25.

steigerung¹⁾ ist die Ursache dieser Erscheinung; und die Differenz des Luftdruckganges Sonnblick-München zeigt denn auch ganz den Charakter einer Temperaturkurve. Wir verstehen jetzt, wie es Hann möglich war, aus der Differenz des Luftdrucks oben und unten (vgl. S. 48) den Gang der Temperatur der zwischenliegenden Luftschicht zu berechnen.

Sehen wir von diesen durch die Temperaturdifferenzen hervorgerufenen Unterschieden ab, so ist das eigentlich Charakteristische des Luftdruckganges eine regelmäßige doppelte tägliche Welle! Woher kommt sie? Die hervorragendsten Physiker und Meteorologen haben sich vergebens um eine Erklärung derselben bemüht, aber in neuerer Zeit ist, wie wir im nächsten Paragraphen sehen werden, doch ein Anhaltspunkt zur Erklärung derselben gewonnen worden.

Von einem jährlichen Gang des Luftdrucks ist in unseren Gegenden wenig zu merken. Auf Bergen dagegen haben wir, auch wieder wegen der Temperaturunterschiede, hohen Druck im Sommer, geringen im Winter. Aber auch manche Orte an der Erdoberfläche, besonders im Innern der Kontinente, z. B. Sibirien, und in den zentralen Theilen der Ozeane, z. B. Island, weisen, wie ein Blick auf die Isobarenkarten lehrt (Fig. 29 und 30), große Druckunterschiede zwischen Sommer und Winter auf.

§ 27. Schwingungen der Atmosphäre.

Wo immer in einer abgeschlossenen Luftmenge auf irgend-eine Weise eine Druck- oder Dichteänderung hervorgebracht wird, gleicht sich diese Gleichgewichtsstörung nicht sofort wieder aus, sondern es treten, je nach der Reibung, mehr oder weniger schnell erlöschende Schwingungen ein, aber stets nur Schwingungen gewisser Art, die durch die Gestalt der Luft-

¹⁾ Nach der Tabelle auf S. 61 bewirkt ja eine Temperatursteigerung um 1° C in 3000 m Höhe schon eine Drucksteigerung von fast 1 mm.

menge bestimmt sind. Die Orgelpfeifen bieten uns diesbezüglich ein anschauliches Beispiel; durch ihre Länge sind die möglichen Schwingungen (Töne) vollständig bestimmt. Auch die Atmosphäre ist eine abgegrenzte Luftmasse in Form einer Kugelschale; wird nicht auch sie auf gewisse Schwingungen „abgestimmt“ sein?

Rayleigh hat diese Frage aufgeworfen, und Margules hat sie mit Berücksichtigung der Erdrotation und Reibung gelöst. In der That stellte sich denn heraus, daß auch in unserer Atmosphäre nur gewisse Schwingungen (d. i. wellenförmige Bewegungen) möglich sind. Es würde uns zu weit führen, diese möglichen Wellen einzeln zu besprechen, und für unsere Zwecke genügt es auch, einige wenige herauszugreifen; so sind z. B. Wellen mit einem Dichtemaximum und einem Minimum, welche in westlicher Richtung längs der Parallelkreise die Erde umkreisen, möglich, aber unter ihnen nur solche von ganz bestimmter Schwingungsdauer. Margules hat die Schwingungsdauer dieser möglichen Wellen zu 13,87, 9,22, 6,63... Stunden berechnet¹⁾. Aber auch doppelte Wellen (zwei Maxima und Minima) sind möglich und wieder unter ihnen nur bestimmte Schwingungsdauern, wie 11,94 usw. (alle folgenden kleiner).

Was bedeutet das nun? Zunächst haben wir es allerdings mit einer zwar interessanten, aber nur theoretischen Untersuchung zu tun, obwohl es denkbar wäre, daß durch einen besonders heftigen Vulkanausbruch auch tatsächlich solche Schwingungen der Atmosphäre angeregt würden. Im Hinblick auf die tägliche Luftschwankung aber hat diese Untersuchung auch ein großes praktisches Interesse.

Es ist höchst wahrscheinlich, daß die Ursache des täglichen Barometerganges in der täglichen Temperaturschwankung zu suchen ist. Diese letztere können wir ja als eine Wärmewelle

¹⁾ Alle folgenden haben kleinere Schwingungsdauer.

auffassen, die mit der Sonne um die Erde wandert. Die Rechnung lehrt nun in der That, daß, wenn eine Temperaturwelle die Erde umkreist, durch dieselbe auch eine Druckwelle von gleicher Gestalt und Schwingungsdauer erzeugt wird, eine Welle, die wir — im Gegensatz zu den früheren „freien“ — als „erzwungene“ Schwingung bezeichnen wollen. Eine einfache Temperaturwelle erzeugt eine einfache Druckwelle, eine doppelte wieder eine doppelte usw.

Wir wissen, daß die tägliche Temperaturschwankung der Hauptsache nach eine einfache Welle ist; betrachten wir sie aber näher, so erkennen wir, daß sie keineswegs eine reine einfache Sinuswelle ist, sondern daß auch sie sich mathematisch als Übereinanderlagerung verschiedener Wellen

$$a_1 \sin(A_1 + x) + a_2 \sin(A_2 + 2x) + \dots$$

darstellen läßt, nur überwiegt a_1 die Amplitude der einfachen Welle beträchtlich.

Jede dieser Temperaturwellen wird nun eine entsprechende Druckwelle erzeugen, wir werden also eine solche von 24 Stunden und eine solche von 12 Stunden zu erwarten haben.

Wie kommt es nun, daß, obwohl bei der Temperatur die einfache Welle überwiegt, doch beim Luftdruck die doppelte Welle die Haupterscheinung ist?

Für die Beantwortung dieser Frage ist nun die obige Untersuchung sehr lehrreich. Es geht nämlich aus der Rechnung hervor, daß die Amplitude einer erzwungenen Druckwelle um so größer wird, je näher ihre Schwingungsdauer der Schwingungsdauer einer möglichen freien Welle liegt.

Bei der erzwungenen einfachen Druckwelle ist nun die Schwingungsdauer 24 Stunden, diese liegt weit weg von 13,87, der größten Schwingungsdauer der möglichen einfachen Wellen; die Schwingungsdauer von 12 Stunden bei

der erzwungenen doppelten Welle liegt aber zufällig sehr nahe jener der freien Wellen 11,94; es wird also die kleine doppelte Temperaturwelle zu einer verhältnismäßig viel größeren doppelten Druckwelle Veranlassung geben, als dies bei der einfachen Temperatur- und Druckwelle der Fall ist. Hierin liegt nach Margules die Erklärung der doppelten täglichen Luftdruckschwankung.

Bewegungserscheinungen der Atmosphäre.

§ 28. Windmessung.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit charakterisieren die Bewegung der Luft. Die Windrichtung ermitteln wir mittels der Windfahne. Wir beschränken uns dabei meist

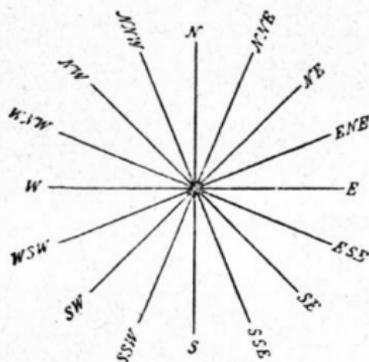


Fig. 26. Windrose.

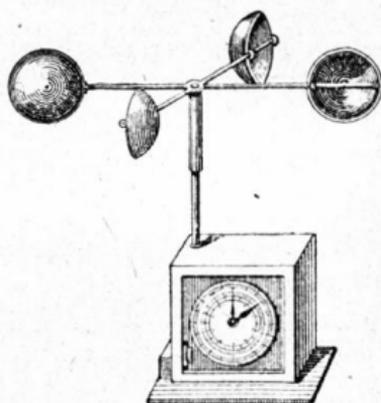


Fig. 27. Anemometer.

auf die Feststellung von acht verschiedenen Windrichtungen: Nord, Nordost, Ost, Südost, Süd, Südwest usw.; bei genaueren Angaben pflegt man aber noch Zwischenrichtungen: Nord-Nordost, Ost-Südost usw. einzuschalten. Fig. 26 gibt eine übersichtliche Darstellung der Windrichtungen und ihre