



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

## **Joh. Müller's Lehrbuch der kosmischen Physik**

**Müller, Johann Heinrich Jacob**

**Braunschweig, 1894**

229. Abweichung barometrisch berechneter Höhen von den wahren

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-96939](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-96939)

ist also die Luft schon so verdünnt, wie wir es kaum mit den besten Luftpumpen erreichen können.

228 **Höhe der Atmosphäre.** So nimmt denn die Dichtigkeit der Luft mit zunehmender Erhebung über den Boden fortwährend ab, bis sie allmählich unmerklich wird und selbst auf die empfindlichsten physikalischen Instrumente nicht mehr zu wirken vermag. Was von Luft über die Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen hinausgeht, ist jedenfalls ein verschwindend kleiner Bruchtheil der übrigen Atmosphäre, und deshalb nimmt man in der Regel an, dass die Atmosphäre eine Höhe von 10 bis 12 geographischen Meilen habe.

Eben weil die Luft expansibel ist, kann sie nicht eine scharfe obere Grenze haben wie die Gewässer, welche die Erdoberfläche bedecken. Es findet eben in den höheren Luftregionen ein allmählicher Uebergang zur unendlichen Verdünnung statt, und deshalb ist auch die Höhe der Atmosphäre keine absolut gegebene und präcis bestimmbare; man kann höchstens sagen, in welcher Höhe die Dichtigkeit der Luft unmerklich wird.

Nehmen wir in diesem Sinne die Höhe der Atmosphäre zu 10 bis 12 geographischen Meilen an, so sehen wir, dass diese Höhe sehr gering ist im Vergleich zum Durchmesser der Erde, welcher nahe 1700 geographische Meilen beträgt. Um sich ein klares Bild von dem Verhältniss der Erdkugel zu ihrer Atmosphäre zu machen, denke man sich eine Kugel von 1 m Durchmesser, welche von einer ungefähr 6 mm dicken luftigen Hülle umgeben ist.

Aber weit unter der angegebenen Grenze verschwindet die letzte Spur des organischen Lebens, welches weder eine solche Luftverdünnung, noch eine so niedrige Temperatur ertragen kann, wie sie in jenen Höhen herrscht und welches schwerlich bis auf die Gipfel der höchsten Berge hinaufsteigt.

229 **Abweichung barometrisch berechneter Höhen von den wahren.** Die Gleichung (*A*) des §. 227 würde nur dann richtige Werthe für die Höhendifferenz *H* zweier nicht allzu weit von einander entfernten Orte geben, an welchen man gleichzeitig die Barometerstände *B* und *b* beobachtet hat, wenn die Temperatur der ganzen Luftsäule von der unteren Station bis zur Höhe der oberen gleich 0° wäre. Wäre die Temperatur dieser ganzen Luftsäule aber gleich *T*, d. h. gleich der Temperatur am unteren Beobachtungsorte, so würde die Höhendifferenz  $H = 18363 (1 + \alpha T) \log \frac{B}{b}$  sein, wenn  $\alpha$  den Ausdehnungscoefficienten der Luft bezeichnet. Ist aber nun *t* die Temperatur der Luft an der oberen Station, so würde die verticale Luftsäule von dem unteren Beobachtungsorte bis zur Höhe des oberen sich gerade so verhalten wie eine Luftsäule von gleicher Höhe und der mittleren Temperatur  $\frac{T + t}{2}$ , wenn man annehmen könnte, dass die Temperatur von der unteren

Grenze dieser Luftsäule bis zur oberen gleichförmig abnahme. Für diesen Fall hätte man dann

$$H = 18363 \left(1 + \alpha \frac{T+t}{2}\right) \log \frac{B}{b} \text{ m} \dots \dots \dots (B)$$

Es ist dies die von Laplace aufgestellte Höhenformel, wenn man in derselben die unwesentliche Correction wegen der Veränderlichkeit der Schwere weglässt.

Ramond erhöhte den Coëfficienten dieser Formel auf 18393, wofür Rühlmann später 18400 annahm, so dass die Formel übergeht in

$$H = 18400 \left(1 + \alpha \frac{T+t}{2}\right) \log \frac{B}{b} \text{ m} \dots \dots \dots (C)$$

wofür er endlich setzte

$$H = 18400 \left(1,00157 + 0,00367 \frac{T+t}{2}\right) \log \frac{B}{b} \text{ m} \dots (D)$$

Wenn man nach einzelnen, gleichzeitig an zwei ungleich hohen Stationen angestellten Barometer- und Thermometerbeobachtungen die Höhendifferenz der beiden Stationen nach einer der obigen Formeln berechnet, so erhält man meist so stark von einander abweichende Resultate, dass die Differenzen weit über die durch Beobachtungsfehler erklärlichen Grenzen hinaus gehen. Ja selbst die aus mittleren Barometer- und Thermometerständen der beiden Stationen berechneten Höhenunterschiede weichen beträchtlich von den trigonometrisch genau bestimmten ab.

Schon Saussure's Beobachtungen am Col du géant zeigten, dass die aus Barometer- und Thermometer-Beobachtungen berechneten Höhen im Allgemeinen am Tage grösser sind als bei Nacht, dass sie also eine tägliche Periode zeigen. Ebenso ergaben die genauen Beobachtungen, welche Ramond in den Pyrenäen angestellt hatte, und auch die Vergleichung der gleichzeitig zu Clermont und zu Paris angestellten Beobachtungen, dass die barometrisch bestimmten Höhen sowohl von der Tageszeit als auch von der Jahreszeit abhängen.

Am eingehendsten hat R. Rühlmann diesen Gegenstand behandelt und die Resultate seiner Untersuchungen in einem Schriftchen „Die barometrischen Höhenmessungen u. s. w. Leipzig 1870“ publicirt. Als Beobachtungsmaterial benutzte er sowohl die Barometer- und Thermometerbeobachtungen, welche er gleichzeitig mit einem Freunde im September 1864 auf dem Valtenberg bei Bischofswerda in Sachsen und dem nahegelegenen Neukirch angestellt hatte, als auch die gleichzeitigen Beobachtungen an den schweizerischen meteorologischen Stationen St. Bernhard und Genf, deren trigonometrisch bestimmte Höhendifferenz 2070 m beträgt.

Als Mittel aus den sechs Beobachtungsjahren 1860 bis 1866 ergeben sich für die beigeschriebenen Tagesstunden für Lufttemperatur und Barometerstand in den Monaten Januar und Juli die in folgender Tabelle zusammengestellten Werthe:

	Lufttemperatur		Barometerstand auf 0° red.		Berechn. Höhe	<i>D</i>	
	Genf	St. Bernh.	Genf	St. Bernh.			
	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>H</i>		
J a n u a r	0h Mittag	+ 2,1 <sup>0</sup> C.	— 6,5 <sup>0</sup> C.	727,53	560,91	2069,2 m	— 0,8 m
	2	+ 2,65	— 6,4	726,85	560,70	2068,5	— 1,5
	4	+ 2,2	— 7,6	726,91	560,88	2059,2	— 10,8
	6	+ 1,15	— 8,2	727,15	561,00	2055,8	— 14,2
	8	+ 0,55	— 8,3	727,39	561,15	2053,5	— 16,5
	10	+ 0,1	— 8,35	727,49	561,21	2051,8	— 18,2
	12	— 0,3	— 8,5	727,34	561,08	2050,1	— 19,9
	14	— 0,5	— 8,6	727,10	560,78	2050,3	— 19,7
	16	— 0,6	— 8,6	726,96	560,55	2051,5	— 18,5
	18	— 0,8	— 8,7	727,15	560,66	2051,1	— 18,9
	20	— 0,7	— 8,4	727,42	560,93	2051,6	— 18,4
	22	+ 0,6	— 7,6	727,65	561,20	2058,5	— 11,5
Mittel	+ 0,50	— 7,97	727,24	560,93	2056,0	— 14,0	
J u l i	0h	+ 22,1	+ 8,8	727,66	568,52	2099,9	+ 29,9
	2	+ 23,0	+ 9,0	727,27	568,53	2099,1	+ 29,1
	4	+ 22,9	+ 8,5	727,00	568,53	2093,7	+ 23,7
	6	+ 21,8	+ 7,3	726,94	568,57	2084,2	+ 14,2
	8	+ 19,5	+ 6,1	727,36	568,73	2074,0	+ 4,0
	10	+ 17,5	+ 5,7	727,82	568,89	2068,3	— 1,7
	12	+ 16,0	+ 5,1	727,97	568,77	2064,0	— 6,6
	14	+ 14,5	+ 4,3	727,87	568,42	2059,3	— 10,7
	16	+ 13,8	+ 3,8	727,85	568,14	2059,2	— 10,8
	18	+ 15,0	+ 4,4	727,98	568,14	2067,0	— 3,0
	20	+ 18,4	+ 5,9	728,13	568,34	2083,7	— 13,7
	22	+ 20,4	+ 7,9	727,97	568,45	2094,8	+ 24,8
Mittel	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568,0	2079,0	+ 9,0	

Das Rühlmann'sche Werkchen enthält die entsprechenden Tabellen für alle 12 Monate des Jahres.

Die sechste Verticalreihe obiger Tabelle enthält unter *H* die aus den in gleicher Horizontalreihe stehenden Daten berechnete Höhe von St. Bernhard über Genf, während die letzte Verticalreihe unter *D* angiebt, um wie viel die barometrisch berechnete Höhe grösser (+) oder kleiner (—) ist, als die trigonometrisch bestimmte.

In dieser Tabelle tritt nun die schon erwähnte tägliche Periode sehr deutlich hervor; das Maximum der berechneten Höhen fällt auf die Mittagsstunde, das Minimum dagegen auf die Nachtstunden und zwar in den meisten Monaten auf 4 Uhr Morgens. Ferner ergibt sich aus

der Betrachtung dieser Tabellen, dass in unseren Zonen die günstigsten Zeiten zur Anstellung barometrischer Höhenmessungen in den verschiedenen Monaten folgende sind:

Im Januar:	Mittags	12 <sup>h</sup>		
Februar	Vormittags	10 <sup>h</sup>	und Nachmittags	4 <sup>h</sup>
März	"	8	"	" 6
April	"	7	"	" 7
Mai	"	7	"	" 7
Juni	"	6	"	" 9
Juli	"	6	"	" 9
August	"	7	"	" 8
September	"	8	"	" 6
October	"	10	"	" 4
November	"	11	"	" 2
December	Nachmittags	1 <sup>h</sup>		

Der Unterschied zwischen dem täglichen Maximum und Minimum der berechneten Höhen beträgt für den Monat

Januar . . . . .	19,1 m	Juli . . . . .	40,7 m
Februar . . . . .	39,8 "	August . . . . .	40,6 "
März . . . . .	32,4 "	September . . . . .	35,7 "
April . . . . .	41,8 "	October . . . . .	26,1 "
Mai . . . . .	37,1 "	November . . . . .	18,5 "
Juni . . . . .	35,9 "	December . . . . .	11,1 "

Die Amplitude, um welche die berechneten Werthe der Höhendifferenz zwischen St. Bernhard und Genf schwanken, sind also am kleinsten in den Monaten December, November und Januar, am grössten im April, Juli und August.

Die aus den Tages- und Monatsmitteln der meteorologischen Beobachtungen berechneten Höhen zeigen eine jährliche Periode, wie man aus der folgenden Tabelle (S. 676) ersieht, welche auch zeigt, dass die Amplitude der jährlichen Periode viel kleiner ist, als die der täglichen.

Die Jahresmittel der meteorologischen Beobachtungen geben Höhen, welche sich von den wahren Werthen nur wenig entfernen.

Die Monatsmittel geben im Winter zu kleine, im Sommer zu grosse Höhen.

Weichen selbst die aus Mittelwerthen der Barometer- und Thermometer-Beobachtungen berechneten Höhenunterschiede nicht unbedeutend von den wahren ab, so lässt sich erwarten, dass dies für isolirte Beobachtungen noch weit mehr der Fall sein wird und zwar selbst für Orte, deren Entfernung in horizontaler Richtung nur gering ist. So finden wir z. B. im 4. Jahrgange der Schweizerischen meteorologischen Beobachtungen für den 26. December 1866 Morgens 7 Uhr

	Temperatur		Barometerstand		Berechn. Höhe	<i>D</i>
	Genf	St. Bernh.	Genf	St. Bernh.		
	<i>T</i>	<i>t</i>	<i>B</i>	<i>b</i>	<i>H</i>	
Januar . . . . .	+ 0,50	− 7,97	727,24	560,93	2056,0	− 14,0
Februar . . . . .	+ 0,91	− 9,12	727,23	560,37	2061,2	− 8,8
März . . . . .	+ 4,63	− 7,82	723,08	558,02	2069,2	− 0,8
April . . . . .	+ 9,82	− 2,56	726,69	563,52	2070,9	+ 0,9
Mai . . . . .	+ 14,50	+ 1,63	726,10	565,35	2072,4	+ 2,4
Juni . . . . .	+ 16,64	+ 3,82	727,07	566,83	2078,5	+ 8,5
Juli . . . . .	+ 18,75	+ 6,39	727,66	568,50	2079,5	+ 9,0
August . . . . .	+ 18,13	+ 6,56	727,71	568,71	2075,0	+ 5,0
September . . . . .	+ 14,62	+ 3,82	728,35	568,06	2068,0	− 2,0
October . . . . .	+ 10,56	+ 0,17	726,59	565,21	2059,8	− 10,2
November . . . . .	+ 5,20	− 4,64	725,60	561,64	2060,6	− 9,7
December . . . . .	+ 0,65	− 8,13	727,55	561,13	2056,7	− 13,3
Mittel . . . . .	+ 9,57	− 1,47	726,74	564,02	2067,2	− 2,8

in Zürich (Sternwarte)

$$B = 726,1 \text{ mm}$$

$$T = - 6,8^{\circ} \text{ C.}$$

auf dem Uetliberg

$$b = 692,2 \text{ mm}$$

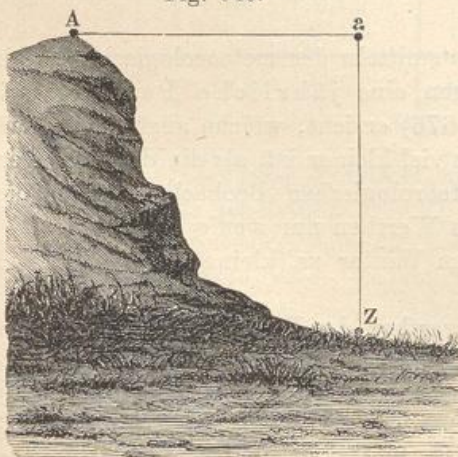
$$t = + 1,5^{\circ} \text{ C.}$$

woraus sich aus Gl. (C) Seite 673 ergibt

$$H = 377 \text{ m,}$$

während der wahre Höhenunterschied zwischen der Züricher Sternwarte und dem Uetliberg 394 m beträgt. Die berechnete Höhe ist also um

Fig. 346.



17 m, also um  $\frac{1}{23}$  des wahren Höhenunterschiedes zu klein, während der kleinste der in der Tabelle auf Seite 674 zusammengestellten berechneten Höhenunterschiede zwischen Genf und St. Bernhard nur um  $\frac{1}{133}$  des wahren Höhenunterschiedes falsch ist.

Die Ursache der Abweichung der barometrisch bestimmten Höhen von den wahren liegt, wie Rühlmann nachgewiesen hat, darin, dass die Wärme der Luftsäule über der unteren Beobachtungsstation sich nicht so rasch ändert, wie das arithmetische Mittel der Thermometerablesungen an den oberen und unteren Stationen. Es

sei  $A$ , Fig. 346, die obere,  $Z$  die untere der beiden Stationen und  $a$  ein Punkt, welcher mit  $A$  in gleicher Höhe vertical über  $Z$  liegt, so setzt man bei der Berechnung nach der Gleichung

$$H = 18400 (1 + \alpha \tau) \log \frac{B}{b} \dots \dots \dots (E)$$

voraus, dass

$$\tau = \frac{T + t}{2},$$

d. h. dass die mittlere Temperatur der Luftsäule  $Za$  gleich sei dem arithmetischen Mittel zwischen den beiden gleichzeitig in  $Z$  und in  $A$  beobachteten Temperaturen. Setzt man in Gl. (E) für  $H$  die wahre Höhe, so ergibt sich für die wahre mittlere Temperatur der Luftsäule  $Za$  der Werth:

$$\tau = \frac{1}{\alpha} \left( \frac{H}{18400 \log \frac{B}{b}} - 1 \right) \dots \dots \dots (F)$$

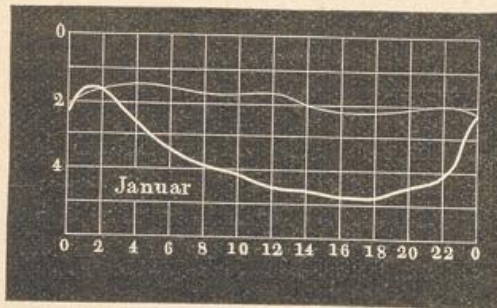
Die nach Gl. (F) berechneten Werthe von  $\tau$  weichen aber wesentlich von den entsprechenden Werthen von  $\frac{T+t}{2}$ , die wir als die beobachteten mittleren Temperaturen bezeichnen wollen, ab, wie man aus der folgenden Zusammenstellung für die Monate Januar und Juli ersieht:

Mittlere Lufttemperatur			Mittlere Lufttemperatur			
	Beobachtete	Wahre		Beobachtete	Wahre	
	$\frac{T+t}{2}$	$\tau$		$\frac{T+t}{2}$	$\tau$	
J a n u a r	0h	-2,2 <sup>0</sup> C.	J u l i	0h	15,5	11,4
	2	-1,8		2	16,0	12,0
	4	-2,7		4	15,7	12,4
	6	-3,5		6	14,5	12,6
	8	-3,8		8	12,8	12,3
	10	-4,1		10	11,6	11,9
	12	-4,4		12	10,5	11,4
	14	-4,5		14	9,4	10,9
	16	-4,6		16	8,8	10,3
	18	-4,7		18	9,7	10,1
	20	-4,5		20	12,1	10,3
22	-4,1	22	14,1	10,8		
Mittel	-3,7	-1,9	Mittel	12,5	11,3	

Nach dieser Tabelle ist in Fig. 347 und Fig. 348 (a. f. S.) der tägliche Gang der wahren und der beobachteten mittleren Lufttemperatur für die Monate Januar und Juli graphisch dargestellt und zwar stellt die stark

ausgezogene Curve den Gang der beobachteten, die fein ausgezogene dagegen den Gang der wahren Lufttemperatur dar. Die beiden Curven schneiden sich für diejenigen Stunden, für welche die barometrisch

Fig. 347.



berechnete Höhe mit der trigonometrisch bestimmten übereinstimmt.

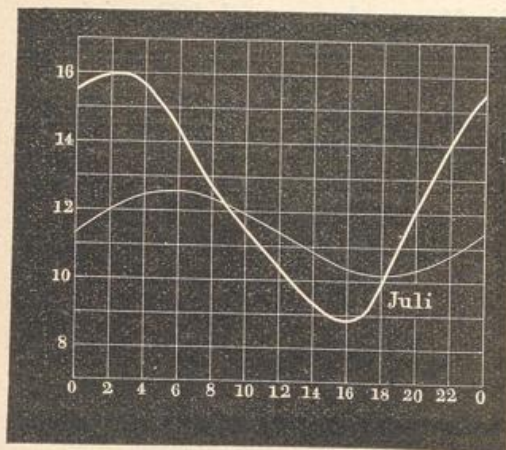
Vergleicht man auf die angegebene Weise die wahre mittlere Lufttemperatur der Monate mit der beobachteten, so findet man die Werthe der folgenden Tabelle (a. f. S.).

Man erkennt aus dieser Tabelle, dass sich die Luft

bei weitem nicht in dem Maasse und nicht so rasch erwärmt, wie es die Thermometer an den Beobachtungsstationen zeigen, sie nimmt nur wenig und gleichsam zögernd Antheil an den täglichen und jährlichen Schwankungen der Temperatur an der Erdoberfläche.

Die Maxima und Minima der Lufttemperatur treten sowohl bei der täglichen als auch bei der jährlichen Periode später ein, als die an den

Fig. 348.



Thermometern beobachteten Maxima und Minima. So sieht man z. B. in Fig. 348, dass das beobachtete tägliche Temperaturmaximum im Juli auf 2 Uhr, das Maximum der wahren Lufttemperatur aber erst auf 6 Uhr Nachmittags fällt, während die Zeit des wahren Minimums ungefähr um zwei Stunden später eintritt als die des beobachteten.

Der Grund dieser Erscheinung ist offenbar darin zu suchen, dass der Erdboden eine

sehr grosse Absorptionsfähigkeit für Wärmestrahlen besitzt, dass er sich also unter dem Einflusse der Sonnenstrahlen stark erwärmt, durch nächtliche Strahlung dagegen stark abkühlt, während die Luft, als ein sehr diathermaner Körper, sich unter dem directen Einfluss der Sonnenstrahlen nur wenig erwärmt, dagegen aber auch Nachts durch Strahlung wenig Wärme abgibt. Die an den Beobachtungsstationen angebrachten Thermometer sind nun sehr von der strahlenden Wärme des Erdbodens und der Umgebung influirt, sie werden also den bedeutenderen und rascheren Temperaturschwankungen der Erdoberfläche folgen müssen und können nicht den wahren Gang der Temperatur in höheren Luftschichten angeben.

M o n a t	Mittlere Lufttemperatur	
	Beobachtete	Wahre
	$\frac{T + t}{2}$	$\tau$
Januar . . . . .	— 3,6	— 1,8
Februar . . . . .	— 4,1	— 3,0
März . . . . .	— 1,6	— 1,5
April . . . . .	+ 3,1	+ 3,5
Mai . . . . .	+ 8,0	+ 7,7
Juni . . . . .	+ 10,2	+ 9,1
Juli . . . . .	+ 12,5	+ 11,3
August . . . . .	+ 12,3	+ 11,6
September . . . . .	+ 9,2	+ 9,5
October . . . . .	+ 5,3	+ 6,7
November . . . . .	— 0,3	+ 1,6
December . . . . .	— 4,4	— 2,0
Mittel . . . . .	+ 4,0	+ 4,39

**Ursachen der Barometerschwankungen.** Die letzte Ursache aller Barometerschwankungen ist in der ungleichen und sich stets ändernden Wärmevertheilung auf der Erde zu suchen. Da sich die Wärmevertheilung auf der Erde beständig ändert, so wird auch das Gleichgewicht in jedem Augenblicke gestört, es entstehen Luftströmungen, welche das gestörte Gleichgewicht herzustellen streben, und so ist denn die Luft in beständiger Bewegung; bald mehr erwärmt und deshalb leichter, bald wieder erkaltet und deshalb dichter, bald mehr, bald weniger Wasserdampf enthaltend, wird auch der Druck der Luftsäule fortwährenden Veränderungen unterworfen sein, welche uns das Barometer anzeigt.

Dass wirklich Temperaturveränderungen die Ursache der Barometerschwankungen sind, geht schon daraus hervor, dass sie in den Tropen, wo die Temperatur so wenig veränderlich ist, auch am unbedeutendsten sind; in höheren Breiten dagegen, wo die Variationen der Temperatur immer bedeutender werden, ist auch die Amplitude der zufälligen Barometerschwankungen sehr gross; ja selbst im Sommer, wo die Temperatur im Allgemeinen weniger veränderlich ist, sind die Oscillationen des Barometers kleiner als im Winter.

Im Allgemeinen kann man leicht darthun, dass die ungleiche stets sich ändernde Erwärmung der Luft beständige Veränderungen in der Grösse des Luftdrucks zur Folge haben muss.

Wenn an irgend einem Orte die Luft bedeutend erwärmt wird, so dehnt sie sich aus, die Luftsäule erhebt sich über die Luftmasse, welche