

BC Blätter

fehlend

!!!

---

Bd 1

Abhand - Math - phys  
1829 - 1830

---

DEINK BAND

1. Band  
1832  
(D10)

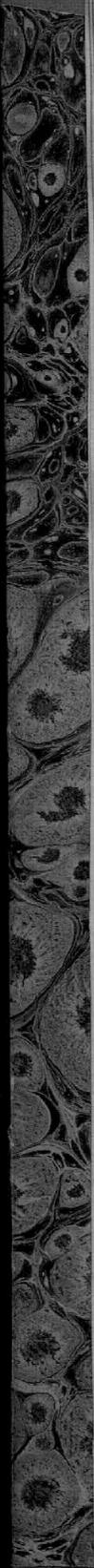
S. 15 -  
74

Ueber  
eine Methode,

die Barometerstände ohne Mitbeobachtung des Thermometers auf eine gewisse Normal-Temperatur zu reduciren.

Von  
Ludwig Thilo.

---



The page is otherwise blank, showing only the texture of the paper and some faint, illegible ghosting of text from the reverse side.

Ueber

## eine Methode,

die Barometerstände ohne Mitbeobachtung des Thermometers auf eine gewisse Normal-Temperatur zu reduciren.

---

§. 1. Die gewöhnliche Methode, die Barometerstände auf eine gewisse Normal-Temperatur zu reduciren, besteht bekanntlich darin, dass man ein der Barometerröhre möglichst nahe gebrachtes Thermometer zugleich mit dem Barometer beobachtet, und dann die beobachtete Höhe der dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht haltenden Quecksilbersäule, für jeden Grad über oder unter der angenommenen Normal-Temperatur, um einen aliquoten Theil derselben verringert oder vermehrt.

Diese Methode hat in der Ausübung zu viele Bequemlichkeit und Leichtigkeit, besonders da wir bereits gedruckte Tabellen besitzen, wodurch sich die ganze Rechnung in ein einfaches Subtractions- oder Additions-Exempel verwandelt, als dass ich zur Absicht haben könnte, für den gewöhnlichen Gebrauch eine andere an deren Stelle zu setzen. Ich würde auch die andere Methode, die ich sogleich vorschlagen werde, obgleich sie in einzelnen Fällen, z. B. bei den meisten Hö-

henmessungen, weit sichrere Resultate liefert als die bisherige, doch nie werth gefunden haben, durch den Druck bekannt zu werden, wenn sie nicht ein Hilfsmittel zu den wichtigsten und interessantesten physicalischen Beobachtungen, namentlich auch über die bei den Physikern noch allzu sehr schwankende Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme und über andere diese Ausdehnung betreffende Sätze gäbe.

#### A. Darlegung dieser Methode.

§. 2. Aufgabe. Wenn die dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht haltende Quecksilber-Säule im calibrirten Heber - Barometer, bei unveränderter Temperatur, um  $p$  Linien steigt; an welcher Scale wird diess sichtbar werden?

Auflösung. Da in diesem Falle, d. h. bei unveränderter Temperatur, die ganze Länge der Quecksilbersäule, eine überall gleich weite Röhre vorausgesetzt, unverändert bleibt, die Differenz der beiden Schenkel aber um  $p'''$  grösser wird als vorher; so nimmt der Rest der Säule, der im untern Theil der Röhre sich selbst das Gleichgewicht hält, um  $p'''$  ab. Diese  $p'''$  vertheilen sich auf beide Schenkel gleich. Mithin sinkt das Quecksilber in dem kürzeren Schenkel um  $\frac{p'''}{2}$  und steigt in dem längeren Schenkel um  $\frac{p'''}{2}$ .

Ist nun die Barometerscale, wie hier immer vorausgesetzt wird, so eingerichtet, dass von einem gewissen mittleren Punkte an, nach oben und unten gezählt wird, also, um den Barometerstand zu erhalten, die Zahlen am längeren und am kürzeren Schenkel addirt werden müssen, so zeigt die Scale an beiden Schenkeln  $\frac{p'''}{2}$  mehr.

Hätte aber die Barometerscale die andere Einrichtung, dass, von einem gewissen tiefen Punkte an, an beiden Schenkeln nach oben gezählt würde, dass also um den Barometerstand zu erhalten, die Zahl am untern Schenkel von der Zahl am obern subtrahirt werden müsste; so zeigte die Scale am obern Schenkel  $\frac{p'''}{2}$  mehr und am untern  $\frac{p'''}{2}$  weniger. Der Kürze wegen werde ich aber von nun an auf diese letzte Einrichtung der Barometerscala keine Rücksicht mehr nehmen, indem es leicht ist, die Angaben für die erste Einrichtung mit Hinsicht auf diese zweite abzuändern.

§. 3. Aufg. Wenn die, dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht haltende Quecksilbersäule im calibrirten Heber-Barometer bei unverändertem Druck der Atmosphäre, bloss durch Erhöhung der Temperatur, um  $p$  Linien steigt; an welcher Scale wird dieses sichtbar werden?

Aufl. Nach der Voraussetzung wird die Differenz zwischen beiden Schenkeln um  $p'''$  grösser. Es bleibt aber auch die Länge des Restes im untern Theile der Röhre nicht unverändert, sondern wird grösser. Das, um welches die Länge dieses Restes grösser wird, vertheilt sich auf beide Schenkel gleich.

Die Differenz zwischen beiden Schenkeln, d. i. die Länge der Quecksilbersäule, welche dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält, sey nach Erhöhung der Temperatur =  $s'''$ ; die Länge des Restes im untern Theil der Röhre, welcher sich selbst das Gleichgewicht hält, sey, ebenfalls nach Erhöhung der Temperatur, =  $r'''$ ; so ist die Zunahme der Länge dieses Restes unter unsern Voraussetzungen =  $\frac{r}{s} \cdot p'''$ . Wegen der Vergrösserung der Länge dieses Restes

steigt also das Quecksilber in beiden Schenkeln um  $\frac{r}{s} \cdot \frac{p'''}{2}$ .

Wegen der verlängerten Differenz steigt das Quecksilber im längeren Schenkel um  $p'''$ .

Die Scale wird also am längeren Schenkel um  $p + \frac{r}{s} \cdot \frac{p'''}{2}$  mehr, und am kürzeren Schenkel um  $\frac{r}{s} \cdot \frac{p'''}{2}$  weniger zeigen.

Anm. 1. Den mit  $p'''$  multiplicirten Coëfficienten  $\frac{r}{s}$  hätte man auch erhalten, wenn man für  $s$  und  $r$  die Bestimmungen vor Erhöhung der Temperatur angenommen hätte, da beide Grössen durch Erhöhung der Temperatur in demselben geometrischen Verhältniss ausgedehnt werden. Es sind aber hier die Bestimmungen nach Erhöhung der Temperatur desswegen gewählt worden, weil diese durch Beobachtung jedesmal bekannte Grössen sind. Kürzere und nach Maassgabe hinlänglich genaue Rechnungen (nach der Formel des folgenden §.) erhält man jedoch, wenn man die (freilich nicht jedesmal vollständig, sondern nur beinahe bekannten) Bestimmungen für denjenigen Temperaturgrad wählt, auf welchen man sämtliche Beobachtungen reduciren will, indem man dann dieselbe Verhältnisszahl  $\frac{r}{s}$  für eine Menge von Rechnungen brauchen kann.

Anm. 2. Hierbei, d. h., wenn man die Bestimmungen für  $s$  und  $r$  nach Erhöhung der Temperatur gebraucht, ist  $s$  jedesmal der durch die Beobachtung unmittelbar gegebene Barometerstand selbst. Die Grösse  $r$  aber setzt man immer aus 2 Theilen, einem unveränderlichen, bei einem gegebenen Barometer ein für allemal bestimmten, und einem veränderlichen, von dem jedesmaligen Barometerstande abhängigen, zusammen. Die Barometerscale sey z. B. von der Mitte aus nach oben und nach unten bis  $15''$  eingetheilt, so kann die Queck-

silbermenge, die unter dem untern Theilstriche bei 15'' in beiden Schenkeln enthalten ist, als der unveränderliche Theil von  $r$ , ein für allemal bestimmt werden. Sie sey z. B, 51''', 3. Der veränderliche Theil von  $r$  ist dann gleich dem doppelten Unterschiede zwischen 15'' und der am kürzern Schenkel beobachteten Scalenzahl.

§. 4. Aufg. Die Zunahme der Scalenzahl am längeren Schenkel sey  $= m'''$ , am kürzern  $= n'''$ . Was kommt davon auf Rechnung der Temperatur ( $y$ ), und was auf Rechnung des veränderten Drucks der Atmosphäre ( $x$ )?

Aufl. Wegen erhöhten Druckes der Atmosphäre nimmt (nach §. 2) die Scalenzahl am längeren Schenkel um  $\frac{x'''}{2}$  zu. Eben so viel nimmt sie am kürzern Schenkel zu.

Wegen erhöhter Temperatur nimmt die Scalenzahl (nach §. 3) am längeren Schenkel um

$$y''' + \frac{r}{s} \cdot \frac{1}{2} y''' = \frac{2s + r}{2s} \cdot y''' \text{ zu.}$$

Es ist also

$$1) \quad \frac{x}{2} + \frac{2s + r}{2s} y = m$$

Wegen erhöhter Temperatur nimmt die Scalenzahl (nach §. 3.) am kürzern Schenkel um

$$\frac{r}{s} \cdot \frac{1}{2} y''' \text{ ab.}$$

Es ist also

$$2) \quad \frac{x}{2} - \frac{r}{2s} y = n$$

Aus diesen beiden Gleichungen erhält man für  $x$  und  $y$  die Ausdrücke

$$y = \frac{s}{s+r} (m-n)$$

und

$$x = 2n + \frac{r}{s+r} (m-n)$$

§. 5. Es besteht nun die vorzuschlagende Methode, die am calibrirten Heber-Barometer beobachteten Barometerstände auf eine gewisse Normal-Temperatur zu reduciren, darin, dass man

a) bei dieser Normal-Temperatur die Scalenzahlen an beiden Schenkeln für einen oder mehrere Barometerstände schon genau beobachtet hat. Eine solche genaue Beobachtung des Barometers für die Normaltemperatur können wir der Kürze wegen eine Normal-Beobachtung nennen.

b) Dass man die beiden Scalenzahlen einer Normal-Beobachtung von den beobachteten Scalenzahlen der zu reducirenden Beobachtung (die obere Scalenzahl von der oberen, die untere von der unteren) subtrahirt, wodurch man die Werthe  $m$  und  $n$  (§. 4) erhält.

c) Beide beobachtete Scalenzahlen der zu reducirenden Beobachtung zusammenaddirt, geben die Grösse  $s$  (§. 3 und 4), welche mit dem zu reducirenden Barometerstande selbst einerlei ist.

d) Muss man den unveränderlichen Theil der Grösse  $r$  (vgl. §. 3, Anm. 2) bei einem gegebenen Barometer mit hinlänglicher Genauigkeit (vgl. unten §. 7.) ein für allemal bestimmt haben. Die Zahl an

der Barometerscale, bis zu welcher dieser unveränderliche Theil angenommen wurde, hat man sich ebenfalls gemerkt.

e) Die doppelte Differenz zwischen dieser Zahl und der untern Scalenzahl der zu reducirenden Beobachtung gibt den veränderlichen Theil der Grösse  $r$ . Dieser veränderliche und jener unveränderliche Theil geben zusammen die Grösse  $r$  selbst.

f) Nunmehr berechne man  $y$  (§. 4) nach der Formel

$$y = \frac{s}{s + r} (m - n)$$

g) Dieser Werth für  $y$ , von der zu reducirenden Beobachtung abgezogen, gibt den verlangten, auf die Normal-Temperatur reducirten Barometerstand.

h) Dass man bei diesen Rechnungen auf das etwaige Negativwerden der einzelnen Grössen die gehörige Rücksicht nehmen muss, versteht sich von selbst.

Erstes Exempel. Eine Normal-Beobachtung (bei  $10^{\circ}$  Reaum. der 80theiligen Scale) habe die obere Scalenzahl =  $13'' 9'''$ , 90 und die untere =  $13'' 10'''$ , 39 gegeben. Der unveränderliche Theil von  $r$ , der in dem untern Theil der Barometerröhre bis zur Scalenzahl  $15''$  enthalten ist, sey =  $51'''$ , 3.

Für die zu reducirende Beobachtung sey die obere Scalenzahl =  $14'' 0'''$ , 395 und die untere =  $14'' 0'''$ , 605 (vgl. Ex. zu §. 16.)

Gibt:  $m = + 2,495$ ;  $n = + 2,215$ ;  $m - n = + 0,28$ ;  $s = 28'' 1'''$ , 00 =  $337'''$ , 00;  $r = 74'''$ , 12;  $y = + 0,23$ ; also den reducirten Barometerstand =  $28'' 0'''$ , 77.

Zweites Ex. Eine andere Normal-Beobachtung an demselben Heber-Barometer und für dieselbe Normal-Temperatur (siehe die gleich

folgende Anm.) habe die obere Scalenzahl =  $14'' 1''',00$  und die untere =  $14'' 1''',80$  gegeben.

Für die zu reducirende Beobachtung sey die obere Scalenzahl =  $14'' 0''',24$ , und die untere =  $14'' 0''',76$ .

Gibt:  $m = - 0,76$ ;  $n = - 1,04$ ;  $m - n = + 0,28$ ;  $s = 28'' 1''',00 = 337''',00$ ;  $r = 73''',78$ ;  $y = + 0,23$ ; also den reducirten Barometerstand =  $28'' 0''',77$ .

Anm. Dass man hier statt der Normal-Beobachtung des ersten Exempels nicht ohne weiters die des zweiten, und umgekehrt, substituiren kann, darf nicht befremden, weil beide Beobachtungen an einem nicht calibrirten Heber-Barometer angestellt und absichtlich (vgl. §. 11) nicht auf einander reducirt sind. Die zur Reduction gegebenen Beobachtungen beider Exempel sind der Calibrirung wegen bereits corrigirt, und waren ursprünglich eine Beobachtung (16. Febr. 1831, Nachmittags 2 Uhr, bei  $13^{\circ}$ , 5 R.), welche die Zahlen  $14'' 0''',29$  und  $14'' 0''',71$  gab. Dass übrigens die beiden reducirten Barometerstände in diesem Beispiele gar keinen Unterschied gaben, erklärt sich aus der Vergleichung dieses Beispiels mit §. 11 und 16.

Drittes Ex. Bei der Normalbeobachtung des zweiten Exempels sey für die zu reducirende Beobachtung (20. Febr. 1831, Morgens 7 Uhr bei  $6^{\circ},8$  R.) die obere Scalenzahl =  $13'' 9''',59$  und die untere =  $13'' 10''',65$ .

Gibt:  $m = - 3,41$ ;  $n = - 3,15$ ; also  $m - n = - 0,26$ ;  $s = 27'' 8''',24 = 332''',24$ ;  $r = 78''',00$ ;  $y = - 0''',21$ ; also, da  $y$  jetzt addirt werden muss, den reducirten Barometerstand =  $27'' 8''',45$ .

B. Einige nothwendige Bemerkungen über die Anwendung dieser Methode.

§. 6. Vorerst versteht es sich von selbst, dass die Normalbeobachtungen (§. 5, a) möglichst genau angestellt und frei von allen merklichen Fehlern seyn müssen.

Um möglichst genaue Normal-Beobachtungen zu erhalten, bemerke man (ausser der Sorgfalt, welche bei allen Barometer-Beobachtungen angewandt werden muss, und worüber hier keine Anleitung gegeben werden kann),

a) dass das Barometer längere Zeit hindurch in der Normal-Temperatur erhalten worden seyn muss. Denn, wie weiter unten (§. 17 folg.) durch Beobachtungen und Versuche dargethan werden wird, nimmt die Quecksilbersäule im Barometer, ihrer ganzen Länge nach, nur sehr langsam den Grad der sie umgebenden Temperatur an. Sehr bequem ist hierzu die häufig angenommene Normal-Temperatur von  $10^{\circ}$ R. der 80theiligen Scale. In der kühleren Jahreszeit kann man in einem mässig geheizten Zimmer durch öfteres Oeffnen eines vom Barometer entfernten Fensters und durch Anwendung von Schirmen gegen den Ofen, so lange als man will, diese Temperatur unverändert erhalten, und die Beobachtungen stundenlang fortsetzen. Während dieser Zeit wird der Barometerstand selbst etwas steigen oder fallen, und da im calibrirten Heber-Barometer das Steigen in dem einen Schenkel bei unveränderter Temperatur gerade so viel betragen muss, als das Fallen im andern, so erhält man eine Menge von Beobachtungen, welche sämmtlich dazu dienen, sich von der Genauigkeit der Normalbeobachtung zu überzeugen;

b) dass man zur Normal-Beobachtung keine solche wähle, die an Stellen stattfand, wo die Glasröhre eine unregelmässige Anziehung oder Abstossung gegen das Quecksilber äussert. Wenn jene Anzie-

hung oder Abstossung regelmässig ist, so muss die Basis der convexen Quecksilberwölbung in beiden Schenkeln einen vollkommen horizontalen Kreis bilden. Man wird aber bei den meisten Barometern unzählige Stellen finden, wo dieses nicht der Fall ist, wo die Berührung des Quecksilbers mit dem Glase rechts höher hinaufreicht, als links oder umgekehrt, und wo man diesen Mangel durch kein noch so starkes Schütteln des Barometers heben kann. Ferner muss die Höhe dieser Quecksilberwölbung über der genannten Basis bei unveränderter Temperatur an allen Stellen der Glasröhre sich gleich bleiben, an welchen diese selbst nicht enger oder weiter wird. Wenn man aber die Höhe dieser Quecksilberwölbung an verschiedenen Stellen der Glasröhre misst, was ziemlich genau geschehen kann, so wird man grosse Unregelmässigkeiten finden, die ebenfalls durch kein Schütteln des Barometers beseitigt werden können. Während man nun die Normal-Beobachtung anstellt, darf man nicht unterlassen, die Höhe dieser Quecksilberwölbung zu messen, um sich zu überzeugen, dass die Normalbeobachtung auch von dieser Unregelmässigkeit nicht afficirt ist.

Merklich gemacht werden die Fehler einer Normal-Beobachtung:

a) Durch Vergleichung derselben mit andern Normal-Beobachtungen. Da alle diese bei derselben Temperatur angestellt sind, so müssten, wenn die Röhre überall vollkommen gleichweit wäre, die Differenzen der Scalenzahlen je zweier [Normalbeobachtungen an beiden Schenkeln gleich gross seyn. So genau dürfte man aber wohl keine sich überall gleich weit bleibende Glasröhre finden und Differenzen zwischen jenen Scalenzahlen werden immer statt finden. Aber aus den grösseren oder geringeren Unregelmässigkeiten, die bei diesen Differenzen vorkommen, lässt sich immer der Werth einer zu prüfenden Normalbeobachtung beurtheilen.

b) Durch Vergleichung mit andern Beobachtungen, die man mit

Hülfe jener Normalbeobachtung reducirt hat. Wenn die Werthe für  $y$  (§. 4) beständig zu klein oder zu gross ausfallen, so lässt sich vermuthen, dass der Fehler in der angewandten Normal-Beobachtung liegt. Ob aber ein Werth für  $y$  zu gross oder zu klein sey, lässt sich aus Vergleichung mit den für die gewöhnliche Methode bereits berechneten Tafeln schliessen.

Eine mit merklichen Fehlern behaftete Normalbeobachtung aber thut man am besten ganz zu verwerfen. Worin übrigens der Grund solcher Fehler, trotz aller Sorgfalt, die der Beobachter angewendet zu haben glaubt, liegen kann, ist hier nicht der Ort auseinander zu setzen.

§. 7. Der unveränderliche Theil der Grösse  $r$  (§. 5 d) dürfte selbst an einem calibrirten Heber-Barometer, durch unmittelbare Messung seiner Länge, nicht mit grosser Schärfe ausgemittelt werden können, weil durch die Umbiegung der Röhre nothwendig Unregelmässigkeiten in der Weite derselben entstehen müssen.

Auf jeden Fall lässt sich aber derselbe vor der Füllung des Barometers durch Abwägen des den begränzten untern Raum des Barometers ausfüllenden Quecksilbers mit vollkommener Genauigkeit bestimmen; eine Bestimmung, welche, sobald sie für den Gebrauch des Barometers als zweckmässig erkannt wird, von jedem Verfertiger eines zu physikalischen Beobachtungen eingerichteten Barometers mitverlangt werden könnte.

Eine Schwierigkeit bei dieser Bestimmung durch Abwägen des enthaltenen Quecksilbers entsteht aus der sogenannten Capillarität, indem hier die convexen Quecksilberwölbungen in beiden Schenkeln, nicht wie bei Barometerständen, die man am Heber-Barometer beobachtet, in ihrem Einflusse einander gegenseitig aufheben, sondern umgekehrt, einen verdoppelten Fehler veranlassen können. Wenn übrigens der Verfertiger des Barometers hinzu fügte, ob er bis zum

Scheitel, oder bis zur Basis der Wölbung, oder wie er sonst gemessen habe, so würde sich auch hier Rath finden lassen.

Am Orte ist es übrigens hier, zu bemerken, dass es, für alleinige Richtigkeit dieser Reductionen, auf eine allzugenaue Bestimmung der Grösse  $r$  gerade nicht ankommt. Denn hätte man z. B. in dem dritten Exempel (§. 5)  $r = 72'''$  statt  $78'''$  gesetzt, so hätte man  $y$  immer noch  $= - 0,21$  gefunden.

Anm. 1. Um den Werth des unveränderlichen Theils von  $r$  vor der Füllung des Barometers mit möglichster Schärfe zu bestimmen, wird es wohl auch nöthig seyn, diese Bestimmung noch vorher vorzunehmen, ehe die Röhre an ihrem obersten Theile zugeschmolzen ist. Sonst möchte es, wegen des Widerstandes der in der zugeschmolzenen Röhre durch das Quecksilber gesperrten Luft, nicht leicht möglich seyn, einen vollkommen gleich hohen Stand des Quecksilbers in beiden Schenkeln zu erhalten.

Anmerk. 2. Den unveränderlichen Theil von  $r$  hatte ich an meinem Barometer auf indirecte Weise  $= 51''',3$  bestimmt und glaubte, mich bei dieser Art von Bestimmung, für meinen Zweck, beruhigen zu können. Da ich mich aber später überzeugt hatte, dass solche indirecte Bestimmungen, bei der noch allzu unsicher bekannten Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers durchaus unzuverlässig sind (daher ich mich auch über die Art, wie ich diese indirecten Bestimmungen vornahm, nicht weiter verbreite); so entschloss ich mich endlich doch, obgleich die nicht ohne Zeitverlust und Mühe bereits gesammelten Normalbeobachtungen dadurch für spätere Beobachtungen unbrauchbar wurden, mein sehr gut ausgekochtes Barometer auszuleeren, um die im dritten und vierten Abschnitte (§. 28 und 35) behaupteten physikalischen Sätze auch in dieser Hinsicht auf einen desto sicherern Grund zu bauen. Wie ich nun, ohne die Röhre an ihrem obersten Theile zu öffnen, die Bestimmung des unveränderli-

chen Theils von  $r$  doch wenigstens bis auf eine halbe Linie genau, und zwar bis auf diesen Grad der Genauigkeit vollkommen sicher, erhielt (einer genauern Bestimmung bedurfte ich zu meinem Zwecke nicht), wäre zu weitläufig, und auch überflüssig, hier auseinander zu setzen. So ergab sich mir denn der unveränderliche, unter der untern Scalenzahl von  $15''$  befindliche Theil von  $r$ , an meinem Barometer =  $48'''$ .

Anm. 3. Ich sollte nun noch alle Rechnungen, die ich unter der Voraussetzung ausgeführt hatte, dass der unveränderliche Theil von  $r$  an meinem Barometer =  $51''{,}3$  wäre, von Neuem vornehmen. Allein der Unterschied in den Resultaten ist so gering, dass ich mich dieser Mühe wohl überheben konnte. Z. B. für die bei  $38^{\circ},9$  R. (bei welchem Grade der Wärme vielleicht früher noch nie ein Barometer beobachtet wurde) am 23. Febr. 1831, Nachmittags  $3\frac{1}{4}$  Uhr, beim stark geheizten Ofen angestellte Beobachtung beträgt dieser Unterschied für den reducirten Barometerstand nur zwischen zwei und drei Hunderttheilen einer Linie, um welche dieser Stand in der Tabelle des §. 17 zu gross angegeben worden ist.

§. 8. Von dem störendsten Einflusse hingegen auf die Richtigkeit der Resultate, bei dieser Methode der Reductionen, ist eine mangelhafte Calibrirung der Röhre.

Die zweischenkligen Reise-Barometer nach der Construction die jetzt wohl am häufigsten gebräuchlich ist, sind aus drei zusammengeschmolzenen Röhren zusammengesetzt, nämlich den beiden Schenkeln und dem umgebogenen untern Theile, welcher beide Schenkel mit einander verbindet. Diese dritte Röhre ist um vieles enger als die beiden andern, um desto leichter das Eindringen der Luft in den längeren Schenkel abzuhalten. Wenn man nämlich das Barometer schief hält, bis der ganze längere Schenkel mit Quecksilber ausgefüllt ist, so weicht das Quecksilber aus dem kürzeren Schenkel zu-

rück in diesen engeren unteren Theil, und lässt sich nun, nach der wohlbekannten Einrichtung, mit dem darauf geschobenen Stopfer verschliessen.

Dass an einem solchen Reise-Barometer (und doch möchte ich gerade bei Höhen-Bestimmungen die vorgeschlagene Methode vorzüglich angewandt wissen) der unveränderliche Theil von  $r$  (vgl. §. 7) durchaus nicht, nachdem das Barometer gefüllt ist, durch eine Messung seiner Länge, sondern mit Genauigkeit nur vor der Füllung des Barometers bestimmt werden kann, versteht sich von selbst. Dieser unveränderliche Theil von  $r$  hat z. B. an meinem Barometer die Länge von 72''', während das in ihm enthaltene Quecksilber nur einer Säule von 48''' (nach dem Caliber des längern Schenkels) seiner Masse nach entspricht.

Bei dieser Einrichtung des Reise-Barometers ist es nicht nöthig, dass sich der kürzere Schenkel nach unten zu schon an den Stellen verengere, an welchen man noch beobachtet. Umgekehrt kann gerade das Zusammensetzen der Röhre dazu dienen, desto leichter zwei Schenkel von möglichst gleicher Weite zu erhalten, falls man nicht überhaupt die Construction von Gay-Lussac für Reise-Barometer vorziehen sollte.

Ob es möglich sey, für das Caliber, das für Barometer das schicklichste ist, eine Röhre von durchaus gleicher Weite zu erhalten, weiss ich nicht. Eine grosse Schwierigkeit bleibt dabei immer durch den Umstand, dass kleine Unterschiede im Durchmesser der Weite schon einen beträchtlichen Einfluss auf die Länge der darin enthaltenen Quecksilber-Cylinder von gleicher Masse äussern, indem sich die Höhen dieser Cylinder, nach bekannten stereometrischen Sätzen umgekehrt wie die Quadratzahlen jener Durchmesser verhalten.

Auf jeden Fall ist es daher nöthig, für Röhren von nicht voll-

kommen gleicher Weite diesen Einfluss hier näher zu betrachten, und für vorkommende Fälle die nöthigen Reductionen anzugeben.

§. 9. Aufg. Bei unveränderter Temperatur steige das Quecksilber im längeren Schenkel um  $q$  Linien, und falle im kürzeren, der ungleichförmigen Weite der Röhre wegen, um  $q + k$  Linien. Wie viel hätte es in jenem Schenkel steigen und in diesem Schenkel fallen müssen, wenn die Röhre überall gleich weit gewesen wäre?

Aufl. Der Barometerstand ist im Ganzen um  $q + q + k'''$  oder um  $2q + k$  gestiegen. Wäre die Röhre überall gleichweit gewesen, so hätte das Quecksilber im längeren Schenkel um eben so viel steigen, als im kürzeren fallen müssen, (§. 2.) Es wäre also im längeren Schenkel um  $\frac{2q + k}{2}$  oder um  $q + \frac{1}{2} k'''$  gestiegen und im kürzeren Schenkel um  $q + \frac{1}{2} k'''$  gefallen.

Zusatz. Wenn also, bei unveränderter Temperatur, das Quecksilber im kürzeren Schenkel um  $k'''$  mehr fällt, als im längeren Schenkel steigt, mit andern Worten: wenn die Scalenzahl am kürzeren Schenkel um  $k'''$  mehr zunimmt, als am längeren; so muss, als Correctur wegen der Calibrirung, die Scalenzahl am längeren Schenkel um  $\frac{1}{2} k'''$  vermehrt und am kürzeren um  $\frac{1}{2} k'''$  vermindert werden.

§. 10. Als Beispiel mögen hier die beiden Normalbeobachtungen im ersten und zweiten Exempel zu §. 5 dienen. Die Beobachtung des Barometers habe bei demselben Wärmegrade einmal

am längeren Schenkel die Scalenzahl	14" 1''',00
„ kürzeren „ „ „	14" 1''',80
das andere Mal	
am längeren Schenkel die Scalenzahl	13" 9''',90
„ kürzeren „ „ „	13" 10''',39

gegeben. Man soll die letzte Beobachtung wegen der ungleichen Weite der Röhre corrigiren.

Die Scalenzahl hat am längeren Schenkel um  $3''{,}10$  und am kürzeren um  $3''{,}41$  abgenommen. Es ist also  $q = -3''{,}10$ ;  $q + k = -3''{,}41$ , also  $k = -0''{,}31$ , und  $\frac{1}{2}k = -0''{,}155$ . Es muss also die Scalenzahl am längeren Schenkel um  $-0''{,}155$  vermehrt, und am kürzeren Schenkel um  $0''{,}155$  vermindert, oder es muss von jener Scalenzahl  $+0''{,}155$  subtrahirt, und zu dieser  $+0''{,}155$  addirt werden.

Giebt für die corrigirte zweite Beobachtung	
am längeren Schenkel die Scalenzahl	13'' 9''{,}745
„ kürzeren „ „ „	13'' 10''{,}545

Als Probe, nicht blos für das Beispiel, sondern für die Auflösung des §. 9 überhaupt, kann hier dienen: während die Summe beider Scalenzahlen unverändert bleibt, erhält man  $m$  (§. 4)  $= -3,255$  und  $n = -3,255$ , also  $m - n = 0$ ; wie, bei unveränderter Temperatur und blosser Aenderung des Drucks der Atmosphäre, im calibrirten Heber-Barometer statt finden muss.

§. 11. Während obiges Beispiel hier mehr desswegen beigebracht war, um die Richtigkeit der Auflösung des §. 9 anschaulich zu machen, und während Reductionen von dergleichen an uncalibrirten Heber-Barometern bei demselben Wärmegrade beobachteten Barometerständen auf einander, an sich gar keinen Nutzen haben; geben die auf diese Weise beobachteten Barometerstände umgekehrt wohl das beste und sicherste Mittel, um die verhältnissmässige Weite der Barometerröhre an den entsprechenden Stellen beider Schenkel zu bestimmen, oder vielmehr noch unmittelbarer die nöthigen Correctionen wegen der Calibrirung vorzunehmen.

Bleiben wir nämlich bei den zwei Normalbeobachtungen des §. 10 stehen; so ist der Unterschied  $q$  der Scalenzahlen am längeren Schenkel von  $13'' 9''{,}90$  bis  $14'' 1''{,}00 = 3''{,}10$  und der Unterschied.

$q + k$  am kürzeren Schenkel von  $13'' 10''',39$  bis  $14'' 1''',80 = 3''',41$ . Wir haben hier also zwei kleine Quecksilber-Cylinder, im längeren Schenkel von  $3''',10$  und im kürzeren von  $3''',41$  Höhe, die beide einander das Gleichgewicht halten, also gleichen körperlichen Raum einnehmen. Darnach lässt sich das Verhältniss der Durchmesser beider Cylinder oder das der Weiten der Röhre an beiden Stellen bestimmen. (S. folg. §.) Für die verlangten Correctionen bedürfen wir aber dieses Verhältnisses nicht einmal selbst, sondern es genügt uns, zu wissen, dass sich, Gleichförmigkeit der Weite eines jeden der beiden kleinen Räume von 3 bis 4 Linien vorausgesetzt, innerhalb dieser kleinen Räume immer die entsprechenden Höhenänderungen im längeren oder kürzeren Schenkel, oder  $q: q + k$ , wie  $3,10: 3,41 = 1: 1,10$  verhalten.

§. 12. Die Weiten selbst an den genannten Stellen der Röhre verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus 1 und aus 1,10 oder stehen im geraden Verhältnisse von 1,049: 1.

Es möchte wohl keine directe Methode geben, das Verhältniss solcher Weiten zu messen, die sicherere Resultate lieferte als jene indirecte.

Aber auch, abgesehen davon, dass die (§. 11) angegebene Art, die verhältnissmässigen Weiten der Röhre zu bestimmen, die sicherste ist, ist sie zugleich bei Reductionen der Barometerbeobachtungen desswegen die anwendbarste, weil es dabei einerlei seyn kann, aus welchen Ursachen, bei unveränderter Temperatur, das Steigen in einem Schenkel dem Fallen im andern nicht gleich ist, weil es uns vielmehr hinreicht, die vereinigte Grösse der Wirkungen aller hier möglichen Ursachen zu kennen. Es wäre nämlich, selbst bei vollkommen gleichförmiger Weite der Röhre, noch eine Ungleichförmigkeit der Höhenänderung in beiden Schenkeln, wegen der (§. 6) schon erwähnten Unregelmässigkeit in der Anziehung oder Abstossung des Glases gegen das Quecksilber an verschiedenen Stellen der Röhre, möglich; so

wie nämlich Capillar-Attraction des Glases gegen das Wasser durch das Bestreichen desselben mit Fett in eine Capillar-Deposition verwandelt werden kann, so bewirken analoge Umstände auch Aenderungen in der Anziehung oder Abstossung des Glases gegen das Quecksilber.

Wenn wir also wissen, wie gross, bei unveränderter Temperatur, an diesen oder jenen sich entsprechenden Stellen in beiden Schenkeln der Röhre die verhältnissmässige Höhenänderung des Quecksilberstandes ist, so wissen wir alles, was nöthig ist, um für diese Temperatur die nöthigen Correctionen wegen der Calibrirung vorzunehmen.

Da aber, bei unveränderter Temperatur, um einen richtigen Barometerstand von derselben Temperatur zu erhalten, solche Correctionen für sich überflüssig sind, und eigentlich erst für die Reductionen von Barometerständen nothwendig werden, die bei einer andern Temperatur beobachtet wurden, so bleibt uns jetzt noch die wichtigere Untersuchung übrig, welchen Einfluss die ungleiche Weite der Röhre in beiden Schenkeln auf die Barometerstände der letzten Art habe, um zu einer endlichen Regel zu gelangen, wie die an einem uncalibrirten Heber-Barometer beobachteten Barometerstände, der Calibrirung wegen, zu corrigiren seyen.

§. 13. Aufg. Wenn das Barometer bei unverändertem Druck der Atmosphäre, blos durch Erhöhung der Temperatur, um 1 Linien steigt; wie wird diess an beiden Scalen sichtbar werden, unter der Voraussetzung, dass beide Schenkel für sich gleich weit sind, die Weite des längeren Schenkels (als kreisförmige Fläche) sich aber zur Weite des kürzeren wie  $q + k$  zu  $q$  verhält?

Aufl. Durch Erhöhung der Temperatur ist nicht nur die Quecksilbersäule, die dem Drucke der Atmosphäre das Gleichgewicht hält, länger geworden, sondern auch der Rest des Quecksilbers im untern Theil der Röhre hat sich ausgedehnt.

Es verhält sich nach der Bezeichnung des §. 3,  $s : r = 1$ : zur Zunahme des Quecksilbers im untern Theil der Röhre.

Diese Zunahme ist also  $= \frac{r}{s} \cdot 1''''$ .

Setzt man den kreisförmigen Durchschnitt des längern Schenkels  $= a$ ; und nimmt man an, dass die Grösse  $r$  in Längenmaass so gegeben sey, als hätte sie den Durchschnitt  $a$  des längern Schenkels (siehe sogleich unten die 2te Anm.): so ist jene Zunahme der Masse nach  $= \frac{r}{s} \cdot a l$ .

Diese Zunahme vertheilt sich, der Masse nach, in den beiden Schenkeln in dem Verhältnisse von  $q + k : q$ .

Es sey der Theil im längern Schenkel, der Masse nach,  $= x$ ; so ist der Theil im kürzeren  $= \frac{q}{q + k} \cdot x$ , und man hat

$$x + \frac{q}{q + k} x = \frac{r}{s} \cdot a l,$$

woraus

$$x = \frac{q + k}{2q + k} \cdot \frac{r}{s} \cdot a l,$$

also der Theil im kürzern Schenkel

$$= \frac{q}{2q + k} \cdot \frac{r}{s} \cdot a l.$$

Die Höhe beider Theile ist sich gleich. Sie sey  $= z$ .

Da der kreisförmige Durchschnitt des längern Schenkels  $= a$ , so ist der des kürzeren  $= \frac{q}{q + k} \cdot a$ . Man hat also entweder

$$az = \frac{q + k}{2q + k} \cdot \frac{r}{s} \cdot a l$$

oder

$$\frac{q}{q+k} \cdot az = \frac{q}{2q+k} \cdot \frac{r}{s} \cdot al$$

Aus beiden Gleichungen ergibt sich

$$z = \frac{q+k}{2q+k} \cdot \frac{r}{s} \cdot l''$$

oder

$$z = \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l''' + \frac{k}{2q+k} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l'''$$

Der Ausdruck  $\frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l'''$  wäre die Zunahme von  $r$  in beiden Schenkeln, wenn beide gleich weit wären. Unter der Voraussetzung aber, dass der kürzere enger ist, beträgt die Zunahme um die kleine Grösse

$$\frac{k}{2q+k} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l'''$$

mehr.

Anm. 1. Wäre der längere Schenkel enger als der kürzere, so könnte man das Verhältniss beider Weiten =  $q - k : q$ , und also in dem gefundenen Ausdruck für  $z$ , nur  $-k$  statt  $+k$  setzen. Dann erhielte man

$$z = \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l - \frac{k}{2q-k} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l$$

und es betrüge die Zunahme in beiden Schenkeln um die kleine, von der vorigen wenig verschiedene, Grösse

$$\frac{k}{2q-k} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l$$

weniger, als sie bei gleicher Weite beider Schenkel gewesen wäre.

Anm. 2. Eigentlich hätte man in obiger Auflösung nur dem unveränderlichen Theile der Grösse  $r$  (vgl. §. 5. d) nebst dem einen,

im längern Schenkel enthaltenen, veränderlichen Theile derselben den Durchschnitt  $a$  des längern Schenkels beilegen dürfen; und man musste den andern, im kürzern Schenkel enthaltenen veränderlichen Theil von  $r$ , da dieser Schenkel als enger vorausgesetzt wird, mit Rücksicht auf das gegebene Verhältniss beider Weiten, um etwas vermindern. Es würde aber ein schon sehr oberflächlich gefertigtes Heber-Barometer voraussetzen, wofür diese Correctur nicht viel unter 3 Linien betrüge, bei deren Vernachlässigung man also, da  $s$  fast immer mehr als 300

Linien beträgt, in dem Werthe des Verhältnisses  $\frac{r}{s}$  nicht um weniger als  $\frac{3}{300}$ , d. i. um weniger als  $\frac{1'''}{100}$  fehlte. Ein Fehler, welcher, da er bei der gegenwärtigen Untersuchung seinen Einfluss wieder nur in dem Verhältnisse von  $k$  zu  $q + k$  (vgl. unten §. 16. d) äussert, in welchem Verhältnisse er in dem einen Schenkel mehr als in dem andern beträgt, hier nicht weiter berücksichtigt zu werden braucht,

§. 14. Exempel. Der Barometerstand oder  $s$  sey =  $28'' = 336'''$ ;  $r$  sey =  $72'''$ , also  $\frac{r}{s} = \frac{72}{336} = \frac{3}{14}$ . Wenn bei unverändertem Druck der Atmosphäre das Barometer um eine Linie steigt (was, nach den grössten Angaben der Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme, schon einer Wärmezunahme von mehr als  $10^\circ$  entspricht); wie viel steigt es im kürzern, hier als enger vorausgesetzten, Schenkel, wenn (wie im §. 11)  $q = 1$  und  $k = 0,10$  ist?

Hier ist also  $l = 1'''$ ; also  $\frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l = \frac{3'''}{28} = 0''',1071$ ; daher

$\frac{k}{2q+k} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{s} \cdot l = \frac{0,1}{2,1} \cdot 0,1071 = 0''',0051$ ; folglich

$z = 0''',1122$ .

§. 15. Aus diesem Beispiele lässt sich der Einfluss der ungleichen Weite der Röhre in beiden Schenkeln auf die, bei unverändertem Druck der Atmosphäre, blos durch die Wärmezunahme erhöhten Barometerstände zur Genüge beurtheilen.

Bei Unterschieden in den Weiten der Röhre, die den im §. 14 angenommenen nahe kommen (und die eigentlich schon grösser sind, als sie der Capillar-Depression wegen überhaupt seyn sollten, deren Einfluss auf den Barometerstand man durch den Gebrauch des Heber-Barometers ja gern ganz aufheben möchte) und bei sonstigen, den hier angenommenen ähnlichen Verhältnissen, hätte man für jede 10° Abweichung von der Normal-Temperatur für  $z$  einen Werth von bei-  
läufig  $\frac{1''}{10}$ .

Nun ist die Zunahme des Barometerstandes durch die Wärme, die in jenem Beispiele = 1'' gesetzt wurde, ganz unabhängig von der gleichförmigen oder ungleichförmigen Weite der Röhre, indem nämlich jetzt, wegen des Leichterwerdens des Quecksilbers durch die Wärme nur eine nach Verhältniss höhere Quecksilbersäule erforderlich wird, um mit dem Druck der Atmosphäre im Gleichgewicht zu stehen.

Der Einfluss der ungleichen Weite der Röhre erstreckt sich blos auf die Werthe für  $z$ . Da aber diese Werthe für  $z$  selten einige Zehnthelle einer Linie betragen, und diese wieder nur in dem Verhältnisse von  $k$  zu  $q + k$  (in unserm Beispiele von 0,1 zu 1,1, d. i. mit ihrem eilften Theile, vgl. unten §. 16. d), als Correctur der Calibrirung wegen in Rechnung kommen; da also diese Correctur selten einige Hunderttheile einer Linie betragen möchte: so kann diese Correctur in allen Fällen um so eher vernachlässigt werden, als bei grossen Abweichungen von der Normal-Temperatur (wenn für dieselbe, was wohl am zweckmässigsten, ein von der mittlern Temperatur nicht sehr abweichender Wärmegrad angenommen wird) ganz andere Gründe der Unsicherheit hinzu kommen (vgl. unten §. 28 und §. 35).

§. 16. So ergeben sich endlich, um alle Barometerstände, die an einem Heber-Barometer von nicht überall gleichförmiger Weite genommen sind, vor der Reduction auf die Normal-Temperatur, der Calibrirung wegen zu corrigiren, folgende Regeln:

a) Je mehr zuverlässige Normal-Beobachtungen man hat, desto besser. Denn man hat einen gegebenen Barometerstand nicht auf diese oder jene Normalbeobachtung, sondern auf die Temperatur aller dieser Normal-Beobachtungen zu reduciren. Unter diesen Normalbeobachtungen wähle man diejenige, deren untere Scalenzahl, d. i. deren Scalenzahl am kürzeren Schenkel, der entsprechenden Scalenzahl der zu reducirenden Beobachtung am nächsten kommt. (Würde eine von jenen mit dieser ganz übereinstimmen, und würde man dieselbe zur Reduction gebrauchen, so bedürfte es gar keiner Correctur wegen der Calibrirung.)

b) Die untere Scalenzahl der gewählten Normal-Beobachtung und die untere Scalenzahl der zu reducirenden Beobachtung subtrahire man von einander, welche Differenz oben (§. 4) mit  $+n$  bezeichnet worden. Von der Grösse dieser Differenz hängt die ganze Correctur wegen der Calibrirung ab. Diese Differenz wird nun so betrachtet, als beruhe sie allein auf dem von der Normal-Beobachtung abweichenden Drucke der Atmosphäre, indem auf die durch den Wärmeunterschied hervorgebrachte Aenderung des Quecksilberstandes im kürzeren Schenkel (nach §. 15) in keinem Falle von uns Rücksicht genommen zu werden braucht.

c) Aus der Vergleichung zweier Normal-Beobachtungen kennt man bereits (nach §. 11) die zu dieser Correctur erforderlichen Verhältnisszahlen, welche wir oben (§. 9 bis 11) mit  $q:q+k$  bezeichnet haben. Ob man hiezu am sichersten diejenigen beiden Normalbeobachtungen wähle, deren untere Scalenzahlen zunächst kleiner und zunächst grösser als die untere Scalenzahl der zu reducirenden

Beobachtung sind, oder zwei Beobachtungen, deren untere Scalenzahlen sehr weit auseinander liegen, hängt von der besondern Beschaffenheit des gebrauchten Barometers ab. Wäre bei den Normalbeobachtungen das Steigen und Fallen des Quecksilbers in den beiden Schenkeln, wenn auch ungleich, doch so regelmässig, dass man beide Schenkel für sich als gleichförmig weit ansehen dürfte; dann würden Normal-Beobachtungen mit sehr weit auseinander liegenden Scalenzahlen wohl am sichersten gebraucht werden. Im entgegengesetzten Falle hätte man aber die näher liegenden vorzuziehen, und, je nach dem untern Quecksilberstande der zu reducirenden Beobachtung, die diesem Stand entsprechende Verhältnisszahl  $q: q + k$  zu nehmen.

d) Aus dem Unterschiede  $+ n$ , den man (nach b) erhalten hat, und aus der (nach c) bekannten Verhältnisszahl  $q: q + k$  bestimme man die Grösse der Correctur

$$= + \left( 1 - \frac{q}{q + k} \right) n = + \frac{k}{q + k} \cdot n$$

Verlangt man nun die corrigirten obern und untern Scalenzahlen der zu reducirenden Beobachtung selbst, so muss man (vermöge §. 9 Zus.) die Hälfte dieser Correctur oder  $+ \frac{1}{2} \cdot \frac{k}{q + k} \cdot n$  zu der obern Scalenzahl addiren, und von der untern Scalenzahl subtrahiren.

Gewöhnlich macht man aber von diesen corrigirten Scalenzahlen selbst keinen Gebrauch, sondern man bedarf nur, wegen der Reduction auf die Normal-Temperatur, die man nach der Formel des §. 4 vornimmt, des corrigirten Werthes der Differenz  $m - n$ . Für diese Differenz aber ist es einerlei, ob ich den Minuendus um die halbe Correctur vermehre und den Subtrahendus um die halbe Correctur vermindere, oder ob ich mit einem Male den Subtrahendus

um die ganze Correctur vermindere, oder den Minuendus um die ganze Correctur vermehre.

e) Verlangt man, um die Formel des §. 4 anzuwenden, nur den corrigirten Werth des Factors  $m - n$ , so vermindere man den Werth von  $n$  um die Correctur  $\frac{k}{q + k} n$ , oder, was einerlei ist, man vermehre die mittelst der uncorrigirten Scalenzahlen erhaltene Differenz  $m - n$  um die Correctur  $\frac{k}{q + k} \cdot n$ .

f) Bei dieser ganzen Untersuchung wurde immer angenommen, dass der längere Schenkel der weitere sey, und dass man diese Weite des längeren Schenkels corrigire. Für andere Verhältnisse werden sich alle die auf diese Voraussetzungen gegründeten Angaben leicht abändern lassen.

Exempel. Eine Beobachtung habe die obere Scalenzahl =  $14'' 0''' 29$  und die untere =  $14'' 0''' 71$  gegeben. Man soll unter der Voraussetzung, dass sich an dieser Stelle des Barometers  $q : q + k = 1 : 1,10$  (vgl. §. 11) verhalte, die Correctionen wegen der Calibrirung mit Rücksicht auf die beiden Normal-Beobachtungen des ersten und zweiten Exempels (§. 5) angeben.

Für die erste dieser beiden Normal-Beobachtungen hat man  $n = + 2,32$ , also die Grösse der Correctur

$$= + \frac{k}{q + k} \cdot n = + \frac{0,1}{1,1} \cdot 2,32 = + 0,21.$$

Davon die Hälfte oder  $+ 0,105$  zur obern Scalenzahl addirt und von der untern Scalenzahl subtrahirt, giebt die beiden corrigirten Scalenzahlen =  $14'' 0''' 395$  und =  $14'' 0''' 605$ , wie sie im ersten Exempel (§. 5) angenommen wurden. Hätte man die Correctur (nach e) zu der mittelst der uncorrigirten Scalenzahlen er-

haltenen Differenz  $m - n$  oder zu 0,07 unmittelbar addirt, so hätte man, wie dort (§. 5),  $m - n = 0,28$  erhalten.

Für die zweite der beiden Normal-Beobachtungen hat man  $n = -1,09$ , also die Grösse der Correctur  $= -0,10$ . Davon die Hälfte oder  $-0,05$  zur oberen Scalenzahl addirt, und von der unteren subtrahirt (was so viel ist, als  $+0,05$  von der oberen subtrahiren und zu der unteren addiren), gibt die beiden corrigirten Scalenzahlen  $= 14'' 0''',24$  und  $= 14'' 0''',76$ , wie sie im zweiten Exempel (§. 5) angenommen wurden.

An m. Eigentlich müsste man auch den veränderlichen Theil von  $r$ , der in dem kürzeren Schenkel enthalten ist, der Calibrirung wegen reduciren. Allein, da ein Unterschied von einigen Linien, im Werthe von  $r$  fast keinen Unterschied im Resultate gibt, so kann man diese Correctur ohne allen Nachtheil durchaus ganz vernachlässigen.

#### C. Beobachtungen und Versuche über die Ungleichförmigkeit der durch Wärme hervorgebrachten Ausdehnung des Quecksilbers im Barometer.

§. 17. Statt nunmehr zu Vergleichen zwischen der vorgeschlagenen und der gewöhnlichen Reductions-Methode überzugehen, will ich von gewissen Beobachtungen und Versuchen reden, bei welchen sich die erste beider Methoden vorzüglich bewährt hat. Da diese Versuche von der Art sind, dass sie von Jedermann leicht wiederholt werden können, und da ich gerade keine solche Data daraus ableiten will, auf welche Andere ohne weitere Prüfung zu bauen hätten; so brauche ich in der Erzählung derselben nicht mit protocollarischer Umständlichkeit zu verfahren, sondern kann mich mit demjenigen begnügen, was zu meinem speciellen Zwecke gehört.

Ich brachte nämlich das Barometer mit seinem Thermometer in die Nähe eines möglichst stark geheizten eisernen Ofens und beobach-

tete von Viertelstunde zu Viertelstunde. Die Resultate einer solchen Beobachtungsreihe (vom 23. Febr. 1831 Nachmittags) findet man in folgender Tabelle zusammengestellt.

Stunde.	Thermom. am Barom. = t Grade.	Barom. am Ofen.		Werthe für y.	Reducirter Stand		Vergli- chenerBa- rometer.	y t — 10°
		Längerer Schenkel.	Kürzerer Schenkel.		nach §. 4.	nach Winkler.		
12 Uhr	5,8	0,32	1,50	— 0,33	2,15	2,14	—	0,0785
12 $\frac{1}{2}$ —	5,1	0,30	1,59	— 0,32	2,00	2,06	—	0,0653
1 —	11,8	0,60	1,50	+ 0,05	1,85	1,84	—	0,0625
1 $\frac{1}{4}$ —	18,1	1,28	1,26	0,63	1,91	1,92	1,6	0,0777
1 $\frac{1}{2}$ —	24,6	1,90	1,20	1,19	1,91	1,98	1,6	0,0813
1 $\frac{3}{4}$ —	29,5	2,42	1,10	1,70	1,82	2,03	1,6	0,0871
2 —	31,3	2,67	1,09	1,90	1,80	2,12	1,5	0,0892
2 $\frac{1}{4}$ —	32,8	2,88	1,10	2,07	1,91	2,23	1,5	0,0908
2 $\frac{1}{2}$ —	35,6	3,10	1,09	2,25	1,94	2,23	1,5	0,0878
2 $\frac{3}{4}$ —	36,0	3,30	1,10	2,42	1,98	2,51	1,5	0,0930
3 —	36,8	3,38	1,04	2,53	1,89	2,37	1,5	0,0936
3 $\frac{1}{4}$ —	37,6	3,41	1,00	2,58	1,83	2,30	1,5	0,0934
3 $\frac{1}{2}$ —	38,6	3,55	1,03	2,67	1,91	2,39	—	0,0933
3 $\frac{3}{4}$ —	38,9	3,60	1,07	2,68	1,99	2,45	1,5	0,0927
3 $\frac{1}{2}$ —	37,0	3,46	1,12	2,53	2,05	2,51	—	0,0937
3 $\frac{3}{4}$ —	34,5	3,21	1,13	2,32	2,02	2,46	1,5	0,0946
4 —	31,7	2,89	1,18	2,02	2,05	2,41	1,4	0,0930
4 —	28,0	2,50	1,12	1,74	1,88	2,24	1,4	0,0966
4 $\frac{1}{4}$ —	25,3	2,19	1,20	1,43	1,96	2,22	1,4	0,0934
4 $\frac{1}{2}$ —	23,7	2,00	1,16	1,30	1,86	2,11	1,4	0,0948
4 $\frac{3}{4}$ —	22,6	1,90	1,22	1,18	1,94	2,15	1,4	0,0936
5 —	21,9	1,70	1,22	1,01	1,91	2,01	1,4	0,0848
5 $\frac{1}{4}$ —	21,2	1,61	1,21	0,95	1,87	1,97	1,4	0,0848
5 $\frac{1}{2}$ —	20,4	1,49	1,20	0,86	1,83	1,90	—	0,0826
5 $\frac{3}{4}$ —	19,6	1,47	1,22	0,82	1,87	1,96	1,4	0,0854
6 —	18,8	1,39	1,22	0,76	1,85	1,94	—	0,0863
6 $\frac{1}{4}$ —	18,0	1,30	1,21	0,69	1,82	1,90	1,4	0,0862
6 $\frac{1}{2}$ —	17,5	1,40	1,40	0,63	2,17	2,23	—	0,0840
6 $\frac{3}{4}$ —	17,3	1,40	1,38	0,64	2,14	2,22	1,5	0,0876
7 —	17,3	1,39	1,38	0,63	2,14	2,21	—	0,0863
7 $\frac{1}{4}$ —	16,7	1,35	1,38	0,60	2,13	2,22	1,5	0,0895
7 $\frac{1}{2}$ —	16,3	1,31	1,41	0,54	2,18	2,24	—	0,0857
7 $\frac{3}{4}$ —	15,8	1,29	1,41	0,53	2,17	2,26	—	0,0913
8 —	15,2	1,21	1,40	0,47	2,14	2,21	—	0,0903
8 $\frac{1}{4}$ —	14,7	1,11	1,40	0,39	2,12	2,15	—	0,0829
8 $\frac{1}{2}$ —	14,4	1,11	1,40	0,39	2,12	2,17	—	0,0886
8 $\frac{3}{4}$ —	13,7	1,05	1,41	0,33	2,13	2,18	—	0,0891
9 —	13,2	1,00	1,41	0,29	2,12	2,16	—	0,0906

§. 18. Die zweite Columné in dieser Tabelle enthält die Beobachtungen des am Barometer befindlichen Thermometers in Graden der 80theiligen Reaumur'schen Scale, die in der Ueberschrift der 9ten Columné mit  $t$  bezeichnet sind.

Die dritte und vierte Columné enthalten die beiden Scalenzahlen für das in die Nähe des Ofens gebrachte Heber-Barometer, gerade so, wie sie abgelesen wurden. Die Scalenzahl des längeren Schenkels der ersten Beobachtung sollte vollständig  $14'' 0''32$  und die des kürzeren Schenkels vollständig  $14'' 1''50$  heissen. Da in beiden Schenkeln die Scalenzahl immer grösser als  $14''$  war, so konnte der Abkürzung wegen diese Zahl durchaus wegbleiben.

Die 5te Columné enthält die nach §. 4 berechneten Werthe für  $y$ , die Normal-Temperatur =  $10^0$  angenommen. Für Denjenigen, der nachrechnen wollte, ist zu bemerken, dass für diese Rechnungen die Scalenzahlen der Calibrirung wegen zuerst nach §. 16 corrigirt worden sind. Es konnte für diese Correcturen bei dem gebrauchten Barometer das Verhältniss der Weiten des längeren und kürzeren Schenkels hier durchaus =  $1, 1 : 1$  gesetzt werden. Als Normal-Beobachtung für diese Rechnungen wurde die des 2ten und 3ten Exempels (§. 5) gebraucht. Dabei ist für die zwei ersten Beobachtungen, wo die Wärme unter  $10^0$  war,  $y$  natürlich negativ geworden. In allen übrigen Beobachtungen ist  $y$  positiv. (Bemerkenswerth ist hierbei, dass der unveränderliche Theil von  $r$  unter  $15'' = 51''3$  angenommen, in allen diesen Rechnungen der Werth von  $\frac{s}{s+r}$  immer  $> 0,823$  und  $< 0,824$  herauskam, durch welches Gleichbleiben für nicht sehr von einander abweichende Barometerstände die Rechnungen nach der vorgeschlagenen Methode sehr erleichtert werden).

Die 6te Columné enthält nun die nach der vorgeschlagenen Methode vollständig reducirten Barometerstände. Die Zahlen dieser

Columnne wurden also dadurch erhalten, dass man die Zahlen der dritten und vierten addirte, und von dieser Summe die Zahlen der fünften subtrahirte. Vollständig sollte die Zahl der ersten Beobachtung  $28'' 2''',15$  heissen, wo aber die Zahl 28, als sich durchaus immer gleich bleibend, wieder weggelassen werden konnte.

Die 7te Columnne enthält dieselben, nach Winkler's Tafeln (Halle 1820) reducirten Barometerstände, um den Unterschied zwischen den Resultaten beider Reductions-Methoden anschaulich zu machen. Winkler hat für seine Tafeln die Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers, für jeden Grad der 80theiligen Reaumur'schen Scale, nach Dulong und Petit =  $\frac{1}{4440}$  angenommen.

Die 8te Columnne enthält die Beobachtungen an einem andern, bei fast unveränderlicher Temperatur beobachteten, Barometer. Bei diesem war die Theilung der Scale ziemlich unvollkommen, und die Genauigkeit konnte kaum bis auf  $0''',1$  getrieben werden. Ferner ist der Zoll daran in 10 Linien getheilt. Sein Thermometer, nach der 100theiligen Scale, fiel während den Beobachtungen allmählig von  $14^{\circ},4$  bis  $15^{\circ},1$ . Um  $3\frac{1}{4}$  Uhr stand es auf  $14^{\circ},0$ . So trug ich, mit Auslassung der Hundertheile und mit Vernachlässigung jeder Reduction wegen der Wärme, die Barometerstände, wie sie die Ablesung gab, in diese Tabelle ein. Vollständig sollte übrigens die erste Zahl dieser Columnne  $28'' 1''',7$  heissen. — Als, um 12 Uhr, bei  $5^{\circ},8$  der unreducirte Stand des ersten Barometers =  $28'' 1''',82 = 28''',151$  war, war der Stand dieses, noch ganz in seiner Nähe hängenden, Barometers =  $28'' 1''',4 = 28''',14$ , während sein Thermometer  $7^{\circ},7$  zeigte; was hier zur beiläufigen Vergleichung beider Barometer und Thermometer dienen mag.

Die 9te Columnne endlich enthält die Quotienten, welche man bekommt, wenn man die Zahl der Thermometergrade der zweiten

Columnne um 10 vermindert, und mit dieser Differenz in die Zahlen der fünften Columnne dividirt. Da nämlich  $y$  die Correctur für die durch jene Differenz bezeichnete Zahl von Graden ist, um den Barometerstand auf die Normaltemperatur von  $10^{\circ}$  zu reduciren, so sind die Quotienten dieser neunten Columnne die Correcturen für einen Grad. Würde sich die Quecksilbersäule im Barometer proportionirt und gleichförmig mit der umgebenden Temperatur verändern, so müssten, sonstige Vollkommenheit der Beobachtungen vorausgesetzt, diese Zahlen unter einander gleich seyn.

§. 19. So unvollkommen die Data des verglichenen Barometers (in der 8ten Columnne) sind, so reichen sie doch hin, um zu zeigen, dass der Druck der Atmosphäre während der Beobachtung von  $1\frac{3}{4}$  Uhr bis 4 Uhr etwa um  $0''{,}2$  abnahm, und dann wieder zunahm, welche Zunahme schon um 7 Uhr wieder wenigstens  $0''{,}1$  betragen hatte.

Mit dieser wirklichen Ab- und Zunahme des Drucks der Atmosphäre sollten nun die nach beiden Methoden reducirten Barometerstände in Einklang stehen. Beiderlei Stände weichen auf eine auffallende Art davon ab.

§. 20. Ehe ich von dem hauptsächlichsten Grunde dieser Abweichungen rede, muss ich zuerst einige andere Umstände berühren, welche zum Theil gewisse Unregelmässigkeiten in den Barometerständen veranlasst haben können.

Vorerst waren die Beobachtungen selbst, zum Nachtheil für deren Genauigkeit, mit ziemlich grossen Beschwerlichkeiten verknüpft. Das Barometer hieng ziemlich tief, so dass ich mich für die Einstellung und Ablesung bei dem untern Nonius auf den Boden knieen musste. Dabei war es in ziemlicher Entfernung vom Fenster, und die Ablesung musste auf der vom Lichte abgekehrten Seite geschehen. Die heberförmige Barometerröhre liegt nämlich in einer ziemlich massi-

ven, beim obern und untern Nonius durchbrochenen, hölzernen Fassung, und über die Röhre ist die aus einem Stücke bestehende metallene Scale an der hölzernen Fassung, oben, unten und in der Mitte festgeschraubt. Das ganze Barometer ist, abstehend von jeder Wand, mittelst zweier langen Kloben oben und unten befestigt. Die Genauigkeit der Einstellung der Nonien wird mittelst je zweier horizontal gestellter Fäden hervorgebracht, deren Visierlinie den Scheitel der convexen Quecksilberwölbung berührt. Dieses Visiren geschieht gegen das Tageslicht, das Ablesen dagegen immer auf der vom Tageslichte abgekehrten Seite. — Dazu kam nun noch, dass gegen die Zeit, die auch durch den tiefern Stand des verglichenen Barometers angedeutet wird, der Himmel trübe und mit Wolken überzogen wurde. Endlich musste die letztere Hälfte der Beobachtungen beim Kerzenlichte angestellt werden.

Nicht weniger wurden die Beobachtungen durch den hohen Grad der Hitze beschwerlich, und namentlich dadurch, dass Kopf und Auge dem heissen Ofen entgegengerichtet werden mussten. Auch möchte ein mir bisher an mir ganz unbekanntes Augenübel (Phlyktänen, zuerst auf dem linken, dann auf dem rechten Auge), das ungefähr acht Tage nach dem zweiten und letzten Versuche dieser Art, den ich anstellte, anfieng und mich zehn Tage das Zimmer zu hüten nöthigte, eine Folge dieser Beobachtungen gewesen seyn, die beständig mit den Beobachtungen am verglichenen Barometer im benachbarten kühleren Zimmer abwechselten.

§. 21. Eine andere Art von Unregelmässigkeiten entstand dadurch, dass sich die hölzerne Fassung des Barometers durch die starke, gewissermaassen einseitige, nämlich auf der dem Ofen zugekehrten Seite viel grössere, Hitze nach Art einer Fassdaube bog, so dass ich, wenn die Barometerröhre unmittelbar an dieser hölzernen Fassung befestigt gewesen wäre, die Versuche nicht hätte fortsetzen können, ohne einen Bruch der Röhre befürchten zu müssen. Dage-

gen bog und krümmte sich nun die metallene Scale aus dieser hölzernen Fassung heraus. Hätte ich dabei das Instrument ganz sich selbst überlassen, so wären wohl dadurch eben so grosse Unrichtigkeiten, aber vielleicht kleinere Unregelmässigkeiten entstanden, als nunmehr, wo ich bisweilen die metallene Scale in die hölzerne Fassung zurückzwängte. Hieher gehören ohne Zweifel die Unregelmässigkeiten, die man an den nach §. 4 reducirten Ständen zwischen 4 und 5 Uhr bemerkt.

Unter so bewandten Umständen, wo ich nicht weiss, ob die metallene Scale durch die Befestigung an der hölzernen Fassung mehr verkürzt oder durch die Wärme mehr ausgedehnt war, konnte eine Reduction wegen Ausdehnung der metallenen Scale durch die Wärme nicht zur Verbesserung der Barometerstände dienen; daher auf solche bei den Berechnungen obiger Tabelle auch durchaus keine Rücksicht genommen wurde.

§. 22. Ferner musste die Entstehung der Quecksilberdämpfe im luftleeren Raume des oberen Schenkels bei dem schnellen und starken Temperaturwechsel, unter welchem diese Beobachtungen angestellt wurden, weit bedeutendere Unregelmässigkeiten hervorbringen, als dergleichen unter gewöhnlichen Umständen bemerkt werden können. Insbesondere musste sich auch der vom Quecksilber nicht berührte oberste Theil der Glasröhre weit schneller erhitzen und bei der Abnahme der Temperatur wieder weit schneller erkälten, als der übrige Theil der Barometeröhre mit dem darin enthaltenen Quecksilber. Während also im ersten Falle die Quecksilberdämpfe ausgedehnt bleiben, und eine noch grössere Spannkraft erhalten mussten, mussten sie im zweiten Falle wieder niedergeschlagen werden, und ihren Druck auf die Quecksilbersäule verlieren.

Hierbei kann ich ein Phänomen nicht unberührt lassen, dessen Entstehen bei den gewöhnlichen Barometer-Beobachtungen wohl nie

so schnell vor sich geht, als hier der Fall war. Um  $5\frac{1}{2}$  Uhr nämlich, nachdem die umgebende Temperatur von  $3\frac{1}{4}$  Uhr an wieder um  $18\frac{1}{2}^{\circ}$  abgenommen hatte, nahm ich (wahrscheinlich fand das Phänomen auch schon vor dieser Stunde statt, ohne von mir bemerkt worden zu seyn) eine ausserordentliche Menge Quecksilberkügelchen wahr, die sich über dem Quecksilber im längeren Schenkel zu oberst an der Glasröhre niedergeschlagen hatten. Diese Kügelchen hiengen mit einer Kreisfläche von zum Theil  $\frac{1}{30}$  Linie Durchmesser (meiner Schätzung nach) an der Glasröhre fest. Die Glasröhre fühlte sich ganz oben auch ziemlich viel kühler an, als der oberste Theil der Quecksilbersäule, welcher gleichfalls wärmer anzufühlen schien, als das Quecksilber im untersten Theil der Röhre.

Um dieses Phänomen des Niederschlagens von Quecksilberkügelchen nicht zu stören, habe ich bis  $6\frac{1}{2}$  Uhr, bis wohin sich die Menge derselben sehr vermehrt hatte, das Barometer vor den einzelnen Beobachtungen zu wenig geklopft, so dass man sich auf die Barometerstände von  $5\frac{1}{2}$  bis  $6\frac{1}{4}$  Uhr ganz und gar nicht verlassen kann, was ich um so mehr bedaure, da gerade hierdurch der Einfluss, den das schnelle Verdichten der Quecksilberdämpfe auf den Barometerstand hatte, für diessmal der Beurtheilung entzogen wurde.

Ogleich übrigens jener Quecksilberkügelchen unzählige waren, so war doch die ganze Masse von Quecksilber, die sich zu oberst in der Röhre angehängt hatte, zu unbedeutend, um in Betracht gezogen werden zu müssen.

§. 23. Durch die Entwicklung und die Elasticitätszunahme der Quecksilberdämpfe während der Erwärmung wird das Quecksilber etwas nach dem kürzeren Schenkel zurück gedrängt werden, und umgekehrt wird bei deren Verdichtung eine umgekehrte Bewegung des Quecksilbers statt finden.

Es ist der Mühe werth, zu untersuchen, ob die in der Tabelle zwischen  $1\frac{1}{4}$  und 3 Uhr auffallende Abnahme der Scalenzahlen für den kürzeren Schenkel, oder das Steigen des Quecksilbers in diesem Schenkel, wirklich seinen Grund in einem Zurückdrängen des Quecksilbers aus dem längeren Schenkel durch die Elasticität der bei der Wärmezunahme entwickelten Quecksilberdämpfe habe.

Der unreducirte Barometerstand war um  $1\frac{1}{4}$  Uhr =  $14'' 1''',28 + 14'' 1''',26 = 28'' 2''',54$ . Dem verglichenen Barometer zu Folge fiel er bis 3 Uhr um  $0''',1$  nach der Eintheilung dieses Barometers (vgl. §. 18), d. i. um  $0''',12$  nach der Eintheilung des ersten Barometers. Der unreducirte Barometerstand wäre also, bei unveränderter Temperatur, um 3 Uhr =  $28'' 2''',54 - 0''',12 = 28'' 2''',42$  gewesen. Durch Veränderung der Temperatur war er aber um 3 Uhr auf  $14'' 3''',41 + 14'' 1''',00 = 28'' 4''',41$  gestiegen. Es beträgt also die bloß durch die Wärme hervorgebrachte Zunahme des Barometerstandes =  $28'' 4''',41 - 28'' 2''',42 = 1''',99$ ; eine Grösse, welche oben (§. 3) mit  $p$  bezeichnet wurde. Nun beträgt, unter der Voraussetzung, dass das Barometer bei unverändertem Druck der Atmosphäre, bloß durch die Erwärmung um  $p$  steigt, die durch diese Wärmezunahme hervorgebrachte Abnahme der Scalenzahl am kürzeren Schenkel (nach §. 3) =  $\frac{r}{s} \cdot \frac{p'''}{2}$ , also hier =  $0''',21$ ; oder vielmehr, mit Rücksicht auf die Correctur wegen Calibrirung, indem man diesen Werth (nach §. 13) um  $\frac{k}{2q+k}$ , d. i. um  $\frac{1}{21}$  desselben vermehrt, =  $0''',22$ . Die beobachtete Abnahme der Scalenzahl beträgt aber  $0''',26$ ; also  $0''',04$  mehr, als durch die bloße Wärmezunahme hervorgebracht wird.

Da die Wärme bis  $3\frac{1}{4}$  Uhr immer noch zunahm, so muss die Wirkung der Elasticität der Quecksilberdämpfe noch grösser werden. Der Barometerstand um  $3\frac{1}{4}$  Uhr war =  $28'' 4''',67$ . Davon  $28'' 2''',42$

abgezogen, bleiben  $2''{,}25 = p$ ; also die durch die Wärmezunahme seit  $1\frac{1}{4}$  Uhr hervorgebrachte Abnahme der Scalenzahl am kürzeren Schenkel  $= 0''{,}24$ ; oder vielmehr, mit Rücksicht auf die Correctur wegen Calibrirung (nach §. 13),  $= 0''{,}25$ . Die beobachtete Abnahme der Scalenzahl beträgt aber jetzt nur  $1,26 - 1,07 = 0''{,}19$ , also, gegen die Erwartung und abweichend von dem vorigen Resultate,  $0''{,}06$  weniger, als durch die blosse Wärmezunahme hervorgebracht wird.

Wir sehen also, dass das Zurückdrängen des Quecksilbers im kürzeren Schenkel, so weit es durch die Elasticität der Quecksilberdämpfe hervorgebracht wird, im Allgemeinen nur geschlossen, aber mittelst dieser vorliegenden Reihe von Beobachtungen, in welcher so viele unbekannte Grössen ihren Einfluss äussern, nicht bewiesen werden kann (vgl. unten §. 30).

Gleichwohl scheint jenes Zurückdrängen während der Erwärmung durch die Abnahme der Scalenzahlen am kürzeren Schenkel zwischen 1 und 3 Uhr, so wie die umgekehrte Richtung während der Erkältung durch die Zunahme dieser Scalenzahlen, wenigstens angedeutet zu werden.

§. 24. Noch dunkler als der Einfluss der Quecksilberdämpfe auf den Barometerstand in der vorliegenden Reihe von Beobachtungen ist der Grad und die Art, wie eine andere Ursache neue Unregelmässigkeiten hervorgebracht hat; ich meine nämlich das Weiter- und Engerwerden der Glasröhre durch die Zunahme und Abnahme der umgebenden Temperatur. Daher schweige ich hievon lieber ganz. Nur so viel scheint mir ausgemacht, dass diese Ursache wenigstens keine Erhöhung des Barometerstandes zur Folge hat.

§. 25. Unter den bisher angeführten Ursachen zu Unregelmässigkeiten ist überhaupt keine einzige, welche erhöhend auf die Ablesung des

Barometerstandes wirkte, es müsste denn das in §. 21 erwähnte Gebogenwerden der metallenen Scale seyn, was auf keinen Fall von einiger Bedeutung ist. Im Gegentheile wirken die meisten der erwähnten Ursachen erniedrigend auf den Barometerstand ein. Um so entschiedener ist daher noch das Daseyn einer andern Ursache erwiesen, welche die, nach beiden Methoden wegen der Ausdehnung durch die Wärme schon reducirten, Barometerstände um ein beträchtliches erhöht.

§. 26. Ein nach der vorgeschlagenen Methode reducirter Barometerstand wird zu gross ausfallen, wenn  $y$  (positive Werthe dieser Grösse, wie in den vorliegenden Beobachtungen voraus gesetzt) zu klein berechnet wird.

Gesetzt nun, es wirke die Erhöhung der das Barometer umgebenden Temperatur nur auf die Quecksilbersäule, die dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält, und gar nicht auf den Rest des Quecksilbers im untern Theil des Barometers; so wäre, wenn (nach der Bezeichnung des §. 4) die Zunahme der Scalenzahl am längeren Schenkel  $= m'''$  und am kürzeren  $= n''$  ist, der durch die Temperatur-Erhöhung hervorgebrachte Theil der Zunahme des Barometerstandes vollständig  $= m - n$ , und wenn wir dafür  $\frac{s}{s+r} (m - n)$  setzten, so wäre dieser gesetzte Werth zu klein. Dieser gesetzte Werth ist nur dann der richtige, wenn der in beiden Schenkeln sich das Gleichgewicht haltende Rest des Quecksilbers in demselben Grade durch die Temperatur-Erhöhung ausgedehnt wird, wie die dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht haltende Quecksilbersäule im längeren Schenkel. Er wird also in allen Fällen zu klein seyn, wo jener Rest in einem geringeren Grade ausgedehnt wird, als diese Quecksilbersäule im längeren Schenkel, d. h., wenn die Temperatur-Erhöhung zwar auf beide Quecksilbermassen wirkt, aber doch auf diese Quecksilbersäule schneller und stärker, als auf jenen Rest.

§. 27. Obgleich nun der Schluss von der Möglichkeit auf die Wirklichkeit noch keineswegs statt findet, so werden doch, wenn wir die analogen Erfahrungen an andern Flüssigkeiten zu Hülfe nehmen, keine Zweifel übrig bleiben, dass jene, nach der vorgeschlagenen Methode zu hoch gefundenen Barometerstände vorzüglich in der ungleichförmigen Ausdehnung und Zusammenziehung des Quecksilbers bei der Aenderung der umgebenden Temperatur ihren Grund haben.

Das Aufsteigen der wärmeren Luft in der kälteren ist vollkommen anerkannt. Das Aufsteigen des wärmeren Wassers im kälteren ist durch die Versuche Alexanders von Humboldt bewiesen. Warum sollte nicht eben so das wärmere Quecksilber im kälteren aufsteigen? Freilich können solche Bemerkungen im durchsichtigen und sehr schweren Quecksilber nicht auf eine ähnliche Weise den Augen wahrnehmbar gemacht werden, wie im Wasser.

Die Erwärmung und Erkältung der Quecksilbersäule im Barometer geschieht nur immer von aussen, und zwar, dem grössten Theile nach, von der Seite her. Es werden die dem Glase der Röhre zunächst liegenden Quecksilbertheilchen bei der Erwärmung zuerst ausgedehnt werden, und in die Höhe steigen. So wird an der krummen Oberfläche der Säule eine Bewegung von wärmerem Quecksilber nach oben, und umgekehrt in der Axe der Säule eine Bewegung von kälterem Quecksilber nach unten entstehen. Es wird also der obere Theil der Säule im längeren Schenkel sehr schnell die erhöhte Temperatur der Umgebung annehmen, während unten im Barometer, durch das Herabkommen von kälterem Quecksilber, die Erwärmung längere Zeit hindurch aufgehalten wird.

Umgekehrt werden, bei der Abnahme der umgebenden Temperatur, die Quecksilbertheilchen an der krummen Oberfläche der Säule zuerst dichter und schwerer werden, und sich senken. Es wird al-

so aussen an der Säule eine Bewegung von kälterem Quecksilber nach unten, und im Innern der Säule eine Bewegung des wärmern Quecksilbers nach oben hervorgebracht werden. Jetzt wird daher das Quecksilber im untern Theile des Barometers schneller erkalten, dagegen wird diese Erkältung im obern Theile des längeren Schenkels desto mehr verzögert werden.

§. 28. Es entstehen also, sowohl durch die Erhöhung als durch die Erniedrigung der umgebenden Temperatur, ganz in demselben Sinne Einwirkungen auf die Höhe des reducirten Barometerstandes, indem eine jede Aenderung der Temperatur, ausser der regelmässigen Ausdehnung durch die Wärme und der regelmässigen Zusammenziehung durch die Kälte, blos durch den Uebergang aus dem einen Zustande in den andern, jedesmal erhöhend auf den reducirten Barometerstand wirkt. Es mag nämlich die umgebende Temperatur zu - oder abnehmen, so bleibt die dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht haltende Quecksilbersäule im längeren Schenkel immer wärmer und ausgedehnter, als der Rest des Quecksilbers im untern Theil des Barometers.

§. 29. Angenommen nun (und ich wenigstens zweifle nicht daran), dass die angegebene Ursache von der Erhöhung des reducirten Barometerstandes die richtige sey, dass nämlich, nachdem wegen der regelmässigen und gleichförmigen Ausdehnung durch die Wärme die Reduction mittelst der vorgeschlagenen Methode schon vorgenommen worden, die immer noch zu hoch gefundenen Barometerstände nur eine Folge von der ungleichförmigen Ausdehnung des Quecksilbers im Barometer seyen (die im folgenden Abschnitte zu erwähnende Ursache einer Verlängerung der Quecksilbersäule im Barometer zeigt wenigstens ihren Einfluss auf den nach §. 4 reducirten Barometerstand auch nur in so ferne, als die durch sie bewirkte Ausdehnung ebenfalls ungleichförmig ist); so ist diese Ungleichförmigkeit der Ausdehnung sehr gross.

Wir wollen in dieser Hinsicht die Beobachtungen um 1 Uhr und um  $3\frac{3}{4}$  Uhr vergleichen. Das wirkliche Fallen des Barometerstandes während dieser Zeit können wir, vermöge des verglichenen Barometers, =  $0''{,}2$  setzen (ich übergehe die Reduction auf die Eintheilung des andern Barometers, nach welcher ich eigentlich  $0''{,}24$  setzen müsste, hier darum, weil die Zahl 1,4 in der Tabelle bei  $3\frac{3}{4}$  Uhr zum erstenmal vorkommt, also das Barometer in seinem Fallen diese Tiefe noch nicht erreicht hatte). Da nun der Barometerstand um 1 Uhr =  $28'' 1'''{,}85$  war, so hätte der wegen Ausdehnung durch die Wärme reducirte Barometerstand um  $3\frac{3}{4}$  Uhr =  $28'' 1'''{,}65$  seyn sollen. Die Reduction nach der vorgeschlagenen Methode gab aber dafür  $28'' 2'''{,}05$ , d. i.  $0''{,}4$  zu hoch; nachdem sich die umgebende Temperatur innerhalb  $2\frac{3}{4}$  Stunden von  $10^{\circ}{,}8$  bis auf  $38^{\circ}{,}9$  erhöht und wieder bis auf  $31^{\circ}{,}7$  erniedrigt hatte.

Einen noch höhern Stand gibt die reducirte Beobachtung um  $6\frac{1}{2}$  Uhr, auf die man sich (vgl. §. 22) verlassen kann, da ich das Barometer nicht bloß wieder geklopft, sondern auch aus der untern Schraube losgemacht und um die obere herumgedreht hatte.

Da überdem die Quecksilberdämpfe den Barometerstand nicht wenig herabgedrückt haben mögen, so ist die Annahme einer Erhöhung durch die Ungleichförmigkeit der Ausdehnung von  $0''{,}5$  bei vorliegendem Versuche gewiss nicht zu gross.

Anmerkung. Jene Erhöhung entspricht nach Winkler's Tafeln einer Wärmezunahme von beiläufig  $7^{\circ}$ . Dürften wir nun annehmen, dass (was in der Wirklichkeit natürlich nicht der Fall ist), die dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht haltende Quecksilbersäule für sich gleichförmig erwärmt, und dass eben so der Rest des Quecksilbers im untern Theil der Röhre für sich gleichförmig erwärmt gewesen sey; so wie, dass die ungleichförmige Ausdehnung nur Folge der ungleichförmigen Erwärmung (vgl. jedoch den folgenden

Abschnitt, insbesondere §. 37. Anm. 2) sey; so wäre das Quecksilber im längeren Schenkel um  $7^{\circ}$  wärmer als das Quecksilber im untern Theil der Röhre. Um so grösser müsste der Unterschied der Wärme des Quecksilbers ganz oben und ganz unten im Barometer gewesen seyn. Auch glaube ich, wenn ich mich nicht sehr täusche, wenigstens einigen Unterschied mittelst des Gefühls, beim Berühren mit der Hand, empfunden zu haben. Versuche in hohen mit Quecksilber angefüllten Cylindern, in welchen oben und unten Thermometer angebracht wären, deren Kugeln ganz von dem Quecksilber überflossen sind, könnten, wenn die Cylinder, gleich meinem Barometer, einer grossen von der Seite her wirkenden Erwärmung ausgesetzt würden, hierüber genaueren Aufschluss geben.

§. 30. Ueber die Grösse dieser Ungleichförmigkeit möchte man sich eben nicht wundern, wenn man bedenkt, dass die Höhe des Quecksilbers im Barometer über 31 Zoll betrug, und dass das Quecksilber ein so bedeutendes specifisches Gewicht hat. An der kleinen Kugel des Thermometers könnten allerdings solche Ungleichförmigkeiten nicht bemerkt werden.

Auch darf es jetzt, wo das grössere specifische Gewicht des Quecksilbers im untern Theil der Röhre, verglichen mit dem Quecksilber im längeren Schenkel, dargethan ist, nicht befremden, dass ein Zurückdrängen des Quecksilbers aus dem längeren Schenkel und ein Steigen desselben im kürzeren wegen des Drucks der im luftleeren Raume des längeren Schenkels entwickelten Quecksilberdämpfe durch die Messung und Rechnung (§. 23) nicht bemerkt werden kann.

§. 31. Die noch weit beträchtlichere Höhe der nach Winckler's Tafeln reducirten Barometerstände hat übrigens, ausser der Ungleichförmigkeit der Ausdehnung, und ausser der vielleicht nicht ganz richtigen Angabe der Grösse der regelmässigen Ausdehnung des Quecksilbers (welche Unrichtigkeit jedoch auch, falls Winckler die Grösse

der regelmässigen Ausdehnung zu gross angenommen hätte, dazu beigetragen haben könnte, die Höhe der Barometerstände wieder etwas zu mildern, indem z. B. die Grösse der Ausdehnung  $= \frac{1}{5412}$ , welche Biot empfiehlt, den reducirten Barometerstand um  $3\frac{1}{4}$  Uhr, der nach Winckler's Reduction  $= 28'' 2''',45$  ist, noch um  $0''',4$  grösser, nämlich  $= 28'' 2''',85$  gibt) noch einen andern Grund, wovon im folgenden Abschnitte die Rede seyn wird.

Worin aber auch am Ende der Grund der Abweichungen der nach beiderlei Methoden reducirten Barometerstände von den wirklichen liegen mag, so ist wenigstens so viel gewiss, dass die vorgeschlagene Reductions-Methode in der vorliegenden Reihe von Beobachtungen viel geringere Abweichungen von der Wahrheit gab als die gewöhnliche, und dass sie also hier wenigstens einen Vorzug vor dieser bewährt, der ihr auch in allen den Fällen zukommen wird, wo man genaue Barometerstände verlangt, während die Beobachtung des Barometers beträchtlichen Aenderungen in der umgebenden Temperatur ausgesetzt war. Das letzte ist aber namentlich bei den Höhenmessungen mittelst des Barometers der Fall. Ich selbst habe auf einer Gletscherreise, die ich im Jahre 1812 mit Rudolph Meyer von Aarau in den Schweizeralpen machte, an einem den Sonnenstrahlen sehr ausgesetzten Orte, wo sie sich fast wie in einem Brennspiegel vereinigten, das Thermometer  $= 34^{\circ}$  beobachtet; und nach einer bis zwei Stunden, die ich mit Zeichnen der Gebirgsprofile zubrachte, war das Schneewasser neben mir schon wieder zu Eis gefroren.

D. Merkwürdiges physikalisches Gesetz, das sich bei Gelegenheit obiger Versuche zu erkennen gab.

§. 32. Insofern obige Versuche, am stark geheizten Ofen, gerade in der Absicht angestellt wurden, um die Bewegungen und Strö-

mungen in dem wärmer und kälter werdenden Quecksilber, durch ihre Folgen auf den Barometerstand, zu beweisen, nannte ich sie Beobachtungen und Versuche über die Ungleichförmigkeit der durch die Wärme hervorgebrachten Ausdehnung dieses Körpers. Mir hatte zu richtigen Ergebnissen aus diesen Versuchen die vorgeschlagene Reductions-Formel besonders brauchbar geschienen, weil sie ganz unabhängig von der allzu unsicher bekannten Grösse der durch die Wärme hervorgebrachten Ausdehnung des Quecksilbers ist. Auch hat sie in dieser Hinsicht, wie aus dem vorigen Abschnitte zu ersehen, das Erwartete einigermaßen geleistet. Ganz unerwartet aber zeigte die Anwendung jener Formel auf eine sehr bemerkbare Weise noch eine Art von Ausdehnung des Quecksilbers, die auf die gleiche Weise während der Erkältung wie während der Erwärmung statt findet.

§. 33. Die nach der vorgeschlagenen Methode reducirten Barometerstände wurden (§. 26) desswegen zu gross, weil die Werthe für  $y$  zu klein berechnet wurden.

Nun ist aber  $y$  (§. 4) die durch die Erhöhung der Wärme über die Normal-Temperatur hervorgebrachte Verlängerung derjenigen Quecksilbersäule, welche dem Druck der Atmosphäre das Gleichgewicht hält.

Wenn man diesen Werth für  $y$  durch die Zahl der Grade dividirt, um welche sich die Temperatur über den angenommenen Normalstand erhöht hat, so erhält man die Verlängerung jener Quecksilbersäule für den einzelnen Wärmegrad, in Linien. Diese Divisionen für die einzelnen vorliegenden Beobachtungen findet man in der 9ten Columne der Tabelle (§. 17).

Aus den Zahlen dieser Columnen und aus den zugehörigen un-reducirten Barometerständen (diese ebenfalls in Linien ausgedrückt) findet man die Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers für jeden

Wärmegrad, welche die Physiker verschieden, von  $\frac{1'}{5500}$  bis  $\frac{1'}{4000}$  angeben.

Für den Fall nun, dass man  $y$  zu klein berechnet hat, muss man auch einen zu kleinen Werth für die zuletzt genannte Grösse erhalten.

Macht man aber für einzelne vorliegende Beobachtungen die Rechnung, so findet man weit grössere Werthe, als die grössten unter denjenigen sind, welche die verschiedenen Physiker angegeben haben.

Z. B. für die Beobachtung um 4 Uhr findet man mittelst des Regel de tri Exempels

$$966 : 10000 = 339,62 : x$$

jene Grösse =  $\frac{1}{3514}$ , was viel grösser als  $\frac{1}{4000}$  ist.

§. 34. Aus allem diesem ergibt sich, dass durch die ganze Reihe der vorliegenden Beobachtungen, bei welchen in Zeit eines Nachmittags auf eine schnelle Temperatur-Erhöhung von  $5^{\circ},1$  bis  $38^{\circ},9$  wieder eine ziemlich schnelle Temperatur-Erniedrigung folgte, die Ausdehnung des Quecksilbers immer viel grösser war, als sie bei unveränderter Temperatur von dem jedesmal entsprechenden Grade hätte seyn sollen.

§. 35. Worin hat nun diese grössere Ausdehnung, die nicht nur bei zunehmender, sondern auch bei abnehmender umgebender Temperatur statt findet, ihren Grund?

Ich wage zu antworten:

Diese grössere Ausdehnung hat ihren Grund eben in den Bewegungen, welche sowohl bei Erhöhung als bei

Erniedrigung der Temperatur durch die ganze Quecksilbersäule des Barometers hindurch statt finden. Bei diesen Bewegungen müssen die hinauf und die hinunter gehenden Quecksilbertheilchen einander ausweichen. Bei diesem Ausweichen müssen mehr oder weniger leere Zwischenräume entstehen. Die ganze Quecksilbermasse, in welcher solche Bewegungen, sey es durch Erhöhung oder Erniedrigung der Temperatur, hervorgebracht werden, muss also gerade durch diese Bewegungen eine grössere Ausdehnung erleiden, als sie bei demselben Wärmegrade, aber unveränderter Temperatur angenommen haben würde.

§. 36. Vergleicht man die Zahlen in der 9ten Columne (der Tabelle §. 17) hinsichtlich ihrer Grösse mit der Schnelligkeit der Wärmezunahme oder Wärmeabnahme, nicht gerade von Viertelstunde zu Viertelstunde, sondern mit Rücksicht auf den noch fortdauernden Einfluss aus früheren Viertelstunden, so mag man wohl erkennen, dass ein schneller Wechsel in der Temperatur im Ganzen auch den Werth dieser Zahlen vergrössert. Diese Zahlen wachsen bis gegen 3 Uhr, obgleich hier die Wärme noch nicht ihr Maximum erreicht hat. Um die Zeit, wo dieses Maximum eintritt, nachdem die Wärme schon etwas langsamer zugenommen hatte, bleiben sich diese Zahlen auch ziemlich gleich, und um  $3\frac{1}{4}$  Uhr selbst, wo der höchste Wärmegrad und fast ein Stillstehen in der Wärmezunahme statt fand, ist diese Zahl sogar auch etwas kleiner als unmittelbar vorher und nachher.

Wenn ein Körper mit den ihn umgebenden ungleiche Temperatur hat, so ändert sich seine Temperatur nach diesen desto schneller, je verschiedener dieselbe von der der letzten ist, oder sein Streben sich hinsichtlich der Temperatur mit diesen in's Gleichgewicht zu setzen, ist desto grösser, je mehr das Gleichgewicht gestört war. Nachdem die Hitze des Ofens bereits auf einen hohen Grad gestiegen

war, hielt es schwer, dieselbe noch höher zu treiben, und die Hitze nahm nur langsam zu. Als nun aber mit dem Heitzen des Ofens abgebrochen wurde, nahm auch die Hitze wieder mit raschen Schritten ab, von  $3\frac{1}{4}$  bis  $3\frac{1}{2}$  Uhr um  $4^{\circ},4$ ; von  $3\frac{1}{2}$  bis  $3\frac{3}{4}$  Uhr um  $2^{\circ},8$ ; von  $3\frac{3}{4}$  bis 4 Uhr um  $3^{\circ},7$ . Diese letzte schnelle Abnahme, verbunden mit dem Einfluss der vorhergehenden Viertelstunden hat auch die Zahl 0,0066 als Maximum unter allen Zahlen dieser Columne zuwege gebracht.

Die Grösse dieser Zahlen in der 9ten Columne scheint sich auch nicht blos nach der Grösse der durch die Temperaturänderung hervorgebrachten Bewegung, sondern auch nach der durch diese Bewegung hervorgebrachten Verwirrung der durch einander bewegten Quecksilbertheilchen zu richten. Zum Theil aus diesem Grunde mögen diese Zahlen im Anfange der Erhitzung, um 1 Uhr, wo die Wärmezunahme viel schneller war, als nachher die Abnahme nach  $3\frac{1}{4}$  Uhr, noch lange nicht so gross seyn, weil die Bewegung noch regelmässiger vor sich ging, als zu der Zeit, wo sich (wie um 4 Uhr) beiderlei Bewegungen, die durch die Wärmezunahme und die durch die Wärmeabnahme hervorgebrachte, in ihren Richtungen durchkreuzten und einander im Wege waren.

Vgl. jedoch unten §. 42.

§. 37. Die erhöhten Werthe, welche die vorgeschlagene Reductions-Methode für die Barometerstände gibt, haben (man darf es so aussprechen, falls auch noch einige unbedeutende Nebenursachen hiezu kämen) ausschliesslich ihren Grund in der Ungleichförmigkeit der durch die Temperatur-Aenderung hervorgebrachten Ausdehnung und Zusammenziehung des Quecksilbers in der hohen Säule des Barometers.

Diese Ungleichförmigkeit der Ausdehnung und Zusammenziehung hat aber wieder ihren Grund,

theils in dem Umstande, dass sich bei der Erwärmung und Erkältung des Quecksilbers die wärmeren und leichteren Quecksilbertheilchen immer oben und die kälteren oder schwereren immer unten

ansammeln, oder dass die ganze Quecksilbersäule immer oben wärmer und ausgedehnter, dagegen unten kälter und zusammengezogener ist, wovon im vorigen Abschnitte die Rede war,

theils in dem Umstande, dass die Bewegungen in der ganzen Quecksilbersäule oben, unten und in der Mitte, in dem längeren und in dem kürzeren Schenkel nicht überall gleich stark sind; dass, wovon im gegenwärtigen Abschnitte die Rede ist, diese Bewegungen immer im Verhältniss zu ihrer Grösse und zu der Verwirrung, die sie unter den Quecksilbertheilchen hervorbringen (einerlei, ob sie durch Zunahme oder Abnahme der Wärme veranlasst werden), eine Ausdehnung der bewegten Masse zur Folge haben; und dass also auch die durch die innere Unruhe der Masse verursachte Ausdehnung, der ganzen Länge der Quecksilbersäule nach, nicht gleich gross ist.

Liesse sich der Fall denken, dass die durch die Bewegung der Quecksilbertheilchen unter einander hervorgebrachte Ausdehnung der Quecksilbermasse, der ganzen Länge der Quecksilbersäule nach, gleichförmig wäre, so würde sie, obgleich stattfindend, doch allein durch die Formel  $y = \frac{s}{s + r} (m - n)$  gar nicht wahrgenommen werden können, weil es für diese einerlei ist, durch was für einen Wärmeunterschied die Ausdehnung hervorgebracht wird, und weil nur die Grösse dieser Ausdehnung, ihre Ursache mag seyn, welche sie will, einen Einfluss auf den Werth von  $y$  hat. Dagegen würde sich diese Ausdehnung, falls sie (wie in der Wirklichkeit) beträchtlich genug ist, durch den Quotienten  $\frac{y}{t - 10^{\circ}}$  (unter  $t$  die am Reaumurischen 80theiligen Thermometer mitbeobachteten Grade verstanden) nothwendig zu erkennen geben, indem dann in diesem Quotienten  $y$  nicht mehr mit dem Werthe von  $t - 10^{\circ}$  proportional bliebe, sondern dieser Quotient immer grösser ausfallen müsste, wenn durch schnelleren Temperaturwechsel die Bewegungen in der Quecksilbermasse grösser geworden waren.

Anm. 1. Ueberhaupt bitte ich den Leser, nicht zu übersehen, dass die Wirkungen, welche durch die im vorigen Abschnitte, und die Wirkungen, welche durch die in diesem Abschnitte betrachtete Ursache hervorgebracht werden, sollten sie auch zum Theil in einander überfliessen und sich gegenseitig unkenntlich machen, doch in der Hauptsache leicht auseinander zu halten sind. Es darf nicht befremden, dass Werthe für  $y$ , die in einer Hinsicht zu klein ausfallen, in einer andern Hinsicht zu gross erscheinen. In Hinsicht auf den zu reducirenden Barometerstand sind die Werthe für  $y$  zu klein, wenn bei der Subtraction dieser Werthe die reducirten Barometerstände zu gross bleiben. In Hinsicht auf die daraus zu schliessende Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme sind die Werthe für  $y$  zu gross, wenn, bei der Division durch die um 10 verminderte Zahl der beobachteten Thermometergrade, zu grosse Quotienten herauskommen. Dass beides neben einander statt finden kann und wirklich statt findet, zeigen die Zahlen der sechsten und neunten Columne in der Tabelle zu §. 17. Der Umstand nun, dass die Werthe für  $y$  in jener Hinsicht zu klein sind, gibt uns deutlich die Ungleichförmigkeit in der Ausdehnung der Quecksilbersäule, und der andere Umstand, dass die Werthe für  $y$  in dieser Hinsicht zu gross sind, gibt uns deutlich die durch den Temperaturwechsel hervorgebrachten Bewegungen und die dadurch veranlasste grössere Ausdehnung des Quecksilbers zu erkennen. Fände ausschliesslich die Ursache des vorigen Abschnittes statt, so könnten die Zahlen der 9ten Columne nicht zu gross werden, und fände ausschliesslich die Ursache des gegenwärtigen Abschnittes statt, so könnten die Zahlen der 6ten nicht zu gross werden. Die Umstände, dass die Zahlen beider Columnen zugleich zu gross sind, lässt auch auf ein Nebeneinanderbestehen der beiden Ursachen schliessen.

Anm. 2. In einander greifend und sich gegenseitig unkenntlich machend, sind aber die Wirkungen beider Ursachen darin, dass beide

eine Ungleichförmigkeit in der Ausdehnung der Quecksilbersäule hervorbringen. Es ist nämlich die grössere Ausdehnung im obern Theil der Säule nicht blos Folge einer grössern Wärme, verglichen mit dem untern Theil der Säule, sondern auch Folge der, durch die innere Bewegung bei jedem Temperaturwechsel verursachten Ungleichförmigkeit der Ausdehnung, indem diese letzte Art der Ausdehnung da am stärksten seyn wird, wo diese Bewegung selbst am stärksten ist. Wir dürfen daher, selbst ohne die, in der Anm. zu §. 29, erwähnten Versuche schon angestellt zu haben, zum voraus annehmen, dass der Wärmeunterschied in dem obern und untern Theil der Säule lange nicht so beträchtlich ist, als ihn dort die Vernachlässigung dieser letzten Ursache gab.

§. 38. Die erhöhten Werthe, welche die gewöhnliche Reductionsmethode für die Barometerstände (Tabelle zu §. 17), wenigstens nach Wincklers Tafeln, gibt, können ihren Grund nicht in der Ungleichförmigkeit der durch die Temperaturänderung hervorgebrachten Ausdehnung des Quecksilbers haben. Es wäre wenigstens sehr auffallend, wenn bei der Zunahme der Temperatur ein Theil der Quecksilbersäule eine höhere Temperatur annähme, als durch das dabei befindliche Thermometer angezeigt wird. Die Temperatur des Quecksilbers im untern Theil der Röhre bleibt dagegen entschieden niedriger, als das Thermometer angibt. Also hat die ganze Säule noch nicht die Ausdehnung angenommen, die ihr nach dem Thermometer zukommen sollte. Die Ungleichförmigkeit der Ausdehnung des Quecksilbers in der Säule des Barometers während der Wärmezunahme kann demnach nicht erhöhend auf den nach der gewöhnlichen Methode reducirten Barometerstand, sondern muss im Gegentheil erniedrigend auf denselben wirken. Jene erhöhten Werthe, die sich (in der Tabelle zu §. 17) schon gleich im Anfange, während der Zunahme der Wärme zeigen, müssen mithin einen andern Grund haben.

Sie könnten nun noch ihren Grund haben:

entweder darin, dass Winckler's Tabellen eine zu niedrige Bestimmung für die Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers voraussetzen;

oder in dem oben (§. 35) ausgesprochenen Gesetze;

oder in beiden zugleich.

Wir wollen die Möglichkeit und Wirklichkeit dieser Gründe näher betrachten.

§. 39. Ausschliesslich in einer zu niedrigen Annahme der Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers kann der Grund nicht liegen, wenn wir nicht annehmen, dass sich die Physiker in der Bestimmung dieser Grösse um das Doppelte geirrt haben.

Denn wählen wir aus der Beobachtungsreihe des §. 17 die Beobachtung um  $3\frac{3}{4}$  Uhr, so war der wirkliche Barometerstand nach dem verglichenen Barometer seit 1 Uhr um  $0''{,}24$  (vgl. §. 29) gefallen. Also der Barometerstand, der um 1 Uhr bei  $10^{\circ},8 = 28''{,}1''{,}84$  war, hätte bei unveränderter Temperatur um  $4\frac{3}{4}$  Uhr  $= 28''{,}1''{,}60$  seyn müssen. Er wurde aber bei  $22^{\circ},6$  Wärme  $= 28''{,}3''{,}12$  d. i. um  $1''{,}52$  höher beobachtet. Der Wärmeunterschied bei beiden Beobachtungen war nun  $= 22^{\circ},6 - 10^{\circ},8 = 11^{\circ},8$ . Dividirt man nun mit  $11,8$  in  $1''{,}52$ ; so erhält man die Ausdehnung der Quecksilbersäule von  $28''{,}3''{,}12$  oder von  $330''{,}12$  für jeden Grad  $= 0''{,}1288$ . Diess gäbe mittelst eines Regeldetri-Exempels (wie in §. 33) die Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers  $= \frac{1}{2633}$  d. i. so gross, als sie sicherlich nicht ist.

Die erhöhten Werthe, welche die Reduction nach Winckler's Tabellen gibt, können also auch nicht ausschliesslich ihren Grund in einer zu niedrigen Annahme für die Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers haben.

Die nach der gewöhnlichen Methode vorgenommenen Reductionen der durch grosse Wärme erhöhten Barometerstände können also durch Zusammenstellung derselben mit, in niedrigerer Temperatur an einem verglichenen Barometer angestellten, Beobachtungen ebenfalls dazu dienen, das Vorhandenseyn von einer Ursache zu beweisen, durch welche das Quecksilber, unabhängig von der regelmässigen, durch die Wärme hervorgebrachten Ausdehnung, bei jeder Temperatur-Aenderung, sowohl bei der Erhitzung als bei der Erkältung, ausgedehnt wird.

Sie dienen aber auch noch weiter, um zu zeigen, dass die Wirkung dieser Ursache sehr gross ist.

§. 40. Es lag mehr oder weniger ausserhalb der Sphäre meiner bisherigen Versuche und Beobachtungen, eine genaue Bestimmung der Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers zu liefern, obgleich Beobachtungen an jedem Heber-Barometer, bei dem man den unveränderlichen Theil von  $r$  genau bestimmt hat, dazu gebraucht werden können, diese Grösse wenigstens genauer und sicherer anzugeben, als es bisher geschehen ist. Ich habe überdem zur Absicht, zu solchen Versuchen, um sie desto genauer zu erhalten, dem Barometer eine kleine Abänderung zu geben, und mir ein andermal gerade diese Versuche zur Aufgabe zu machen.

Immerhin aber scheint es mir, als habe Winckler die Grösse der Ausdehnung des Quecksilbers für seine Tabellen eher zu gross als zu klein angenommen (vgl. §. 41).

Unter dieser letzten Voraussetzung hätten gar die nach Wincklers Tabellen erhaltenen zu hohen Barometerstände nicht nur ausschliesslich in dem oben (§. 35) ausgesprochenen physikalischen Gesetze ihren Grund, sondern es wäre die Einwirkung dieser Ursache sogar noch grösser, als sie sich ohnedem schon aus der Tabelle

(§. 17) zu erkennen gab. Vermöge der Einwirkung dieser Ursache würden nämlich die Barometerstände zu hoch gefunden werden, obgleich die Ungleichförmigkeit der Ausdehnung der Quecksilbersäule im Barometer (nach §. 38) und eine zu hohe Annahme für die Ausdehnung des Quecksilbers erniedrigend auf die nach Winckler's Tabellen reducirten Barometerstände einfließen.

§. 41. Da diejenige Ausdehnung der Quecksilbermasse, die nur allein durch den Uebergang aus der niederen in die höhere und aus der höheren in die niederere Temperatur, und durch die dadurch veranlassten Bewegungen im Innern der Masse hervorgebracht wird, ohne bisher erkannt worden zu seyn, so ganz und gar nicht unbedeutend ist; so kann man sich auch nicht wundern, dass die Angabe der Physiker über die regelmässige bloß durch die Wärme hervorgebrachte Ausdehnung, die von jenen Bewegungen unabhängig ist, so ausserordentlich verschieden sind.

Wirklich stundenlanges Beharren des Quecksilbers in derselben unveränderten Temperatur gehört dazu, dass sich eine durch den Temperaturwechsel in ihrem Innern bewegte Quecksilbermasse ganz zur Ruhe begeben, und ganz diejenige Ausdehnung, weder eine kleinere noch eine grössere, erhalte, die dem Quecksilber im Zustande vollkommen innerer Ruhe und durchaus gleichförmiger Erwärmung bei einem gegebenen Wärmegrade zukommt.

Welche von den verschiedenen Angaben der Physiker für die regelmässige Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme kann man nun, ehe neue Versuche mit Rücksicht auf die (§. 28 und §. 35) angegebenen physikalischen Gesetze angestellt sind, wahrscheinlicher Weise als die richtigeren ansehen? — Fände das Gesetz des §. 35 nicht statt, und hätte man bloß eine ungleichförmige Ausdehnung des Quecksilbers, die so lange dauert, bis die ganze Masse durch stundenlanges Beharren in derselben Temperatur sich durchaus bis zu die-

ser Temperatur durchwärmt hat, so könnte man annehmen, dass die höchsten Angaben die grösste Wahrscheinlichkeit für sich hätten. Liesse sich aber der Fall denken, dass die erwähnten Bewegungen im Innern der Quecksilbermasse statt fänden, ohne dass das Quecksilber längere Zeit hindurch oben wärmer bliebe als unten, so würden umgekehrt, die niedrigsten Angaben die grösste Wahrscheinlichkeit für sich haben. Da aber nun bei allen Versuchen, bei welchen die Temperatur nicht stundenlang sich gleich erhalten worden, beide Ursachen zugleich wirken, und da die eine Ursache, wodurch das Quecksilber in seiner Ausdehnung verzögert, und die andere Ursache, wodurch seine Ausdehnung vorüber gehend vergrössert wird, einander in ihren Wirkungen entgegen sind: so lässt sich über die grössere oder geringere Wahrscheinlichkeit für die einen oder andern Angaben, mit einiger Gründlichkeit, dormalen noch nichts sagen.

Mit Rücksicht auf die Beobachtungsreihe (in der Tabelle zu §. 17) wo man sehr schnell zu erhöhten Barometerständen und zu grossen Zahlen in der 9ten Columne gekommen ist, möchte man die grössten Angaben (wie die Zahl  $\frac{1}{4000}$  ist) vorerst wohl zu verwerfen geneigt seyn, indem die zu grossen Angaben leicht dadurch entstanden seyn könnten, dass die beobachtenden Physiker diesen Umstand nicht berücksichtigt hatten. Ob man aber gerade den kleinsten den Vorzug geben solle, ist eine andere Frage, die nicht geradezu bejaht werden darf, da die Ungleichförmigkeit in der Ausdehnung des Quecksilbers für sich zu kleine Angaben zur Folge haben muss, und da bei der einen oder andern Bestimmung sehr leicht der Einfluss dieser Ungleichförmigkeit grösser seyn könnte, als der Einfluss der durch die blosse innere Bewegung hervorgebrachten Ausdehnung.

Vergleicht man in der 9ten Columne (der Tabelle zu §. 17) die Zah-

len für 12 bis  $1\frac{1}{4}$  Uhr, so findet man die Zahl für 1 Uhr am niedrigsten, obgleich das Barometer schon in die Nähe des Ofens gebracht, und die Wärme in einer halben Stunde um  $5^{\circ},7$  gestiegen war. Hier scheint also der Einfluss der Ungleichförmigkeit grösser als der Einfluss der unregelmässigen Bewegung gewesen zu seyn.

§. 42. In dem zuletzt Gesagten ist auch der Hauptgrund (vgl. §. 36 am Ende) zu suchen, warum die Zahlen der 9ten Columne während der Wärmeabnahme im Ganzen immer viel grösser, als während der Wärmezunahme sind, obgleich die Wärmeabnahme langsamer vor sich ging, als die Zunahme, und also die Ausdehnung wegen der innern Bewegung sicherlich geringer war, als während der viel schnelleren Zunahme. Es hatte aber die ganze Quecksilbersäule bei gleichen Thermometergraden während der Abnahme der Temperatur eine viel grössere Wärme als während der Zunahme, war also ausgedehnter musste also grössere Werthe für  $y$ , folglich auch für den in der 9ten Columne ausgestellten Quotienten geben.

§. 43. Ich muss nun noch von den Beobachtungen reden, welche mich zuerst auf den Gedanken einer durch innere Bewegung der Quecksilbermasse bewirkten Ausdehnung brachten.

Als ich nämlich die oben (§. 6) erwähnten Normalbeobachtungen anstellte, und schon von der Ungleichförmigkeit der durch die Wärme hervorgebrachten Ausdehnung der Quecksilbersäule überzeugt war, dachte ich nicht anders, als dass durch stundenlanges Beharren bei derselben Temperatur, wenn derselben eine niedrigere Temperatur vorausging, die Quecksilbersäule dadurch, dass sie allmählig ihrer ganzen Länge nach die höhere Temperatur annahm, immer noch etwas ausgedehnt werden musste. Aber gerade die erste Beobachtungsreihe (14. Febr. 1831 Morgens) gab mir schon ein entgegengesetztes Resultat. Ich setze sie aus dem Tagebuche ganz hierher:

Stunde.	Längerer Schenkel.	Kürzerer Schenkel.	Grade R.
7½ Uhr	14'' 0,0080	14'' 1,0076	7°,5
9 —	14 0,08	14 1,75	10,0
9¼ —	14 0,09	14 1,75	10,0
9½ —	14 0,09	14 1,77	10,0
9¾ —	14 0,09	14 1,76	10,0
10 —	14 1,00	14 1,78	10,0
10¼ —	14 1,00	14 1,79	10,0
10½ —	14 1,00	14 1,80	10,0

Hier hat von 9 bis 10½ Uhr die Quecksilbersäule im längeren Schenkel um 0''',02 zugenommen und im kürzeren Schenkel um 0''',05 abgenommen; sie hat also in einem Schenkel um 0''',03 mehr ab als im andern zugenommen. Es ist also die ganze Quecksilbersäule, während die Temperatur unverändert blieb, um 0''',03 kürzer geworden.

Wenn diese Grösse freilich so unbedeutend ist, dass sie noch als Beobachtungsfehler gelten könnte, so ist doch wenigstens so viel gewiss, dass sich die Quecksilbersäule nicht, wie ich erwartet hatte, noch ausgedehnt hat.

§. 44. Gegen die Beobachtungsreihe des vorigen §. halte man folgende Reihe, wo der unveränderten Temperatur eine höhere Wärme vorausging.

Nachdem das Barometer (20. Febr. 1831 Nachmittags) eine Zeitlang beim Ofen gehängt, nachher auch dessen unterer Theil ganz nahe an den Ofen gehalten worden war, und das Thermometer 18½° zeigte; wurde es wieder an seinen gewöhnlichen Platz gebracht, und gab folgende Beobachtungen:

Stunde.	Längerer Schenkel.	Kürzerer Schenkel.	Grade R.
4 $\frac{1}{4}$ Uhr	13'' 10, ''14	13'' 9, ''04	15,° 0
4 $\frac{1}{2}$ —	13 9, 83	13 9, 93	11, 8
4 $\frac{3}{4}$ —	13 9, 70	13 9, 94	10, 0
4 $\frac{7}{8}$ —	13 9, 60	13 9, 96	10, 0
5 $\frac{1}{8}$ —	13 9, 55	13 9, 90	10, 0
5 $\frac{1}{4}$ —	13 9, 52	13 10, 00	10, 0
5 $\frac{1}{2}$ —	13 9, 50	13 9, 98	9, 8

Die stärkere Abwechslung in den Scalenzahlen bei dieser Beobachtungsreihe, verglichen mit der des vorigen §., kann zum Theil darin ihren Grund haben, dass es das eine Mal schwieriger als das andere Mal ist, die Temperatur unveränderlich zu erhalten, je nachdem die Temperatur der Atmosphäre ausserhalb der Stube mehr oder weniger von der Normal-Temperatur abweicht.

Von 4 $\frac{3}{4}$  bis 5 $\frac{1}{2}$  Uhr hat die Quecksilbersäule im längeren Schenkel um 0''',20 und im kürzeren Schenkel um 0''',04 abgenommen; also ist die ganze Quecksilbersäule während der unveränderten Temperatur um 0''',24 kleiner geworden, wovon der eine Theil auf Rechnung der Ungleichförmigkeit der Zusammenziehung bei der Wärmeabnahme, und der andere Theil auf Rechnung der Zusammenziehung wegen eintretender innerer Ruhe in der Quecksilbermasse kommt.

§. 45. In der Beobachtungsreihe des §. 44 war (falls eine fort-dauernde, durch die Abnahme der Temperatur verursachte, Verengung der Glasröhre unsere Schlüsse nicht unsicher macht) die Verkürzung der ganzen Quecksilbersäule während der unveränderten Temperatur so beträchtlich, weil sich hier die Wirkungen zweier Ursachen vereinigten. In der Beobachtungsreihe des §. 43 war die Verkürzung so geringe, weil der verkürzenden Ursache eine verlängernde entgegen wirkte, welche jene zum grössten Theile aufhob.

Dürfen wir annehmen, dass in der Beobachtungsreihe des §. 44 die ganze Quecksilbersäule noch lange nicht die Temperatur hatte, die das Thermometer anzeigte, und dass auf diese Weise die Wirkung der Zusammenziehung durch die Erkältung die Wirkung der Ausdehnung durch die Erwärmung in der Beobachtungsreihe des §. 45 nicht übertrifft; so erhalten wir durch Verbindung beider Beobachtungsreihen, als Durchschnitt für beide eine Zusammenziehung wegen eintretender innerer Ruhe in der Quecksilbermasse =

$$\frac{0''',03 + 0''',24}{2} = 0''',135.$$

Darnach müssen die Resultate aus andern Beobachtungsreihen, mit voran gehender niedrigerer Temperatur, beurtheilt werden, wo vielleicht für die Quecksilbersäule am Ende noch eine kleine Ausdehnung übrig bleibt, dergleichen auch mir, und zwar häufiger als der andere Fall, vorgekommen sind.

§. 46. Ein Beispiel der Art, das besonders instructiv ist, kann ich nicht unterlassen, hier mitzutheilen, obgleich es mich nöthigt, einige Bemerkungen vorzuschicken, die ich lieber übergangen hätte. Um nämlich den unveränderlichen Theil von  $r$  auf eine indirecte Weise zu bestimmen, hatte ich genaue Beobachtungen bei  $15^{\circ}$  R. angestellt, die nun, nachdem ich später jenen unveränderlichen Theil von  $r$  auf directe Weise bestimmt habe (vgl. oben §. 7 Anm. 2), umgekehrt benützt werden könnten, um wenigstens einen beiläufigen Werth für die Grösse der regelmässigen Ausdehnung des Quecksilbers durch die Wärme zu erhalten, wenn ich noch eine Normalbeobachtung bei  $10^{\circ}$  hätte, welche mit derselben sicher zusammengestellt werden könnte. Allein einige Tage später, als ich die Versuche am 23. Febr. (§. 17) angestellt hatte, hatte ich, um die Scale meines Barometers, die von einigen kleineren Unvollkommenheiten nicht ganz frei war, streng zu revidiren, die Nonien sehr verschoben, wobei durch den Widerstand, den der durchbrochene Theil der hölzernen Fassung (vgl. oben

§. 18) leistete, an dem, ohne allen Zweck, etwas zu wenig Holz weggenommen war, die oben (§. 18) erwähnten, horizontal gestellt seyn sollenden Fäden oder Haare aus ihrer Richtung gebracht wurden; so dass, wenn es auch möglich war, sie in die richtige Stellung zu bringen, immer noch die Frage blieb, ob sie auch vorher die nämliche Stellung hatten. Während man sich nun auf die Versuche, die vorher angestellt worden waren, für den Zweck, zu welchem ich sie benützt habe, vollkommen verlassen kann, und während die nachher angestellten Versuche wieder für sich vollkommen brauchbar sind, lassen sich jedoch beiderlei Versuche nicht mit Sicherheit zusammenstellen. An neuen Normal-Beobachtungen bin ich aber durch die oben (§. 18) erwähnten Folgen der Versuche beim stark geheizten Ofen verhindert worden.

Die Beobachtungsreihe (vom 2. März 1831 Nachmittags) selbst ist nun folgende:

Stunde.	Längerer Schenkel.	Kürzerer Schenkel.	Grade R.
2 Uhr	13'' 10,38	13'' 11,10	7,7
2 $\frac{1}{2}$ —	13 10, 38	13 11, 02	8, 9
2 $\frac{3}{4}$ —	13 10, 45	13 10, 99	11, 3
3 —	13 10, 55	13 10, 89	13, 6
3 $\frac{1}{4}$ —	13 10, 60	13 10, 80	15, 0
3 $\frac{1}{2}$ —	13 10, 65	13 10, 80	15, 0
3 $\frac{3}{4}$ —	13 10, 61	13 10, 78	15, 0
4 —	13 10, 64	13 10, 78	15, 0
4 $\frac{1}{4}$ —	13 10, 65	13 10, 78	14, 9
4 $\frac{1}{2}$ —	13 10, 62	13 10, 77	15, 0
4 $\frac{3}{4}$ —	13 10, 61	13 10, 74	15, 0
5 —	13 10, 59	13 10, 68	15, 0
5 $\frac{1}{4}$ —	13 10, 52	13 10, 60	15, 0
5 $\frac{1}{2}$ —	13 10, 50	13 10, 60	15, 0
5 $\frac{3}{4}$ —	13 10, 50	13 10, 60	15, 0
6 —	13 10, 40	13 10, 50	15, 0

Hier hat also die Hitze in Zeit von fünf Viertelstunden ziemlich schnell von 7,7 bis 15,0 zugenommen. Der Einfluss der durch die

Wärmezunahme hervorgebrachten noch fortdauernden Ausdehnung des Quecksilbers zeigt sich deutlich an der nach  $3\frac{1}{4}$  Uhr noch fortdauernden Zunahme des Standes im längeren Schenkel, während von  $3\frac{1}{2}$  bis  $3\frac{3}{4}$  der Stand im längeren Schenkel fast unverändert bleibt. Es scheinen hier beide Ursachen, wodurch die Quecksilbersäule verlängert wird, die fortdauernde Erwärmung des untern Theils dieser Säule und die noch fortdauernde innere Bewegung der Masse zusammen zu wirken. Die Wirkung der ersten Ursache dauert bis  $4\frac{3}{4}$  Uhr fort. Die Wirkung der andern Ursache hat aber schon früher aufgehört, merklich zu seyn. In den anderthalb Viertelstunden von  $3\frac{5}{8}$  Uhr bis 4 Uhr hatte sich die Quecksilbersäule im längeren Schenkel um  $0''{,}02$  bis  $0''{,}03$  verlängert. Es hatte sich also die Quecksilbersäule im Ganzen etwas verkürzt. Das Begeben der inneren Bewegung zur Ruhe war in seinem Einflusse auf die Verkürzung während dieser Zeit also überwiegend über die durch die Erwärmung des untern Theils der Säule bewirkte Verlängerung. Nachdem nun aber die innere Bewegung unmerklich geworden ist, dauert diese Erwärmung des untern Theils noch fort, und wird nun durch den ungestörten Einfluss auf die Verlängerung der Säule sehr kenntlich. Von 4 bis  $4\frac{7}{8}$  Uhr nämlich verkürzt sich die Säule (durch eine Abnahme des Drucks der Atmosphäre veranlasst) im längeren Schenkel um  $0''{,}13$  und verlängert sich im kürzeren Schenkel um  $0''{,}18$ ; so dass nun die Verlängerung der ganzen Säule, in dieser Zeit von fast einer Stunde,  $0''{,}05$  beträgt.

Betrachtet man den Einfluss beider Ursachen während der ganzen Zeit von  $3\frac{1}{4}$  bis  $4\frac{7}{8}$  Uhr, so hat sich die Säule im längeren Schenkel um  $0''{,}11$  verkürzt, und im kürzeren Schenkel um  $0''{,}21$  verlängert, ist also um  $0''{,}1$  länger geworden. Eine Verlängerung, welche, wenn ihr nicht durch das Begeben der inneren Bewegung zur Ruhe entgegengewirkt worden wäre, bei der grossen vorangegangenen Temperatur-Erhöhung weit mehr hätte betragen müssen.