

Pyrometrische Versuche
über
die Ausdehnung
des Eisens und der Holzkohle.

Von
Placidus Heinrich
Professor der Physik und Mathematik zu St. Emmeram
in Regensburg. 1803.

Plus nous voyons de près la Nature , plus nous appercevons les difficultés qu' elle oppose à se laisser dévoiler. C'est ainsi que dans les affaires mêmes de la vie , il n' y a personne , qui les trouve plus difficiles que ceux . qui les voyent le mieux.. Le Microscope , physique ou moral , est bien fait pour rendre l' homme circonspect dans ses théories.

De Luc, Essai sur la Pyrometrie.

Erster Theil.

Vom Eise.

I.

Es ist eine sehr bekannte Erscheinung, daß Wasser, wenn es aus dem tropfbaren Zustand in den festen übergeht, merklich an Raumesinhalt zunehme; allein mit dieser unbestimmten Angabe begnügt sich der Naturforscher nicht, und es bleiben ihm noch drei Fragen zu beantworten übrig; nämlich:

a) Hat diese Ausdehnung ihre Gränzen? Dauert sie vielleicht noch so lang fort, bis alles im Gefaße enthaltene Wasser zu Eis gefroren ist? Oder aber, wird das Eis, wider die allgemeine Regel, bey einem höhern Grade der Kälte noch weiter ausgedehnt?

b) Gesetzt nun, Eis verhalte sich wie andere feste Körper, die sich wechselweis ausdehnen und zusammenziehen, so wie die Temperatur

des

des sie umgebenden Mittels steigt oder sinkt: in welchem Verhältnisse geschieht diese Raumesänderung?

c) Wie lassen sich die so verschiedenen Angaben vom specifischen Gewichte des Eises ausmitteln, oder berichtigen?

Die Beantwortung dieser drei Fragen macht den Hauptgegenstand des ersten Theiles gegenwärtiger Abhandlung aus.

2.

Was die erste Frage betrifft, so scheint es mir, die Naturforscher haben etwas zu unbedingt angenommen, daß nicht nur Wasser beim wirklichen Gefrieren, sondern auch festes Eis bei zunehmender Kälte sich noch ferner ausdehne. Mairan, welcher sich mit diesem Gegenstande beschäftigt hat, will dieses aus Versuchen gefunden haben. Mir ist nur ein Versuch von ihm bekannt, welcher in seiner vortreflichen Abhandlung, vom Eise, und in der Hist. de l'Acad. Roy. des sc. 1749. p. 76. vorkommt; der aber, wie ich weiter unten zeigen werde, nichts beweiset.

Muschen:

Muschenbroek — Introductio ad Philosophiam naturalem S. 1506. — ist eben dieser Meinung; glacies, sagt er, semper eo plus tumet, quo gelu est asperius et longioris durationis.

Diesen zween Gewährsmännern, welche allerdings von Gewicht sind, folgten andere ohne Mißtrauen. Ich wollte mich von der Richtigkeit dieses Satzes, oder vom Gegentheile, durch eigene Versuche überzeugen, und benützte dazu die kalte Witterung des gegenwärtigen Hornungs 1803. Mein Verfahren dabei war folgendes.

3.

Eine 33 Pariserzoll lange, und 5 Linien weite Glasröhre wurde bis auf vier Zoll mit ungekochtem Brunnenwasser gefüllt, und im physikalischen Kabinet, wo die Temperatur dermaßen immer zwei bis drei Grade unter dem natürlichen Gefrierpunkte steht, vertikal aufgestellt, um das Wasser langsam gefrieren zu machen. Die Röhre blieb zwölf Stunden lang unverrückt in obiger Temperatur. Das Wasser war nun ganz in Eis verwandelt, und hatte sich von 29 Zoll bis auf 31 Zoll 7 Linien verlängert. Jetzt brachte ich die Glasröhre in die freie Luft, wo
das

das Thermometer — 11, 5 R. zeigte. Nach zwei Stunden, während deren die Kälte nur um $\frac{3}{10}$ eines Grades abgenommen hatte, fand ich den Eisylinder in der Röhre beynahe um eine halbe Linie kürzer; so wie ich aber die Glasröhre in das physikalische Cabinet zurücknahm, und dort einige Stunden ruhig stehen ließ, dehnte sich das Eis wieder aus, und erreichte endlich die durch einen Seidenfaden bemerkte Stelle von 31 Zoll 7 Linien, wie zuvor.

Dieser Versuch wurde vom 8ten bis den 14ten Hornung sechsmal wiederholt, und gab immer dieselben Resultate. Die Glasröhre war stark genug, den Druck auszuhalten, ohne zu zerspringen. Eine andere von einem Zoll im Lichten gieng in Stücke.

4.

Mithin dehnt sich Eis, wenn es einmal vollkommen gebildet ist, bei zunehmender Kälte nicht mehr aus, sondern zieht sich vielmehr zusammen, wie andere feste Körper, und es erreicht das Maximum seiner Ausdehnung, wenn es dem Aufthauungspunkte sehr nahe kommt, ohne doch in Wasser zurückzukehren.

Dieser

Dieser Umstand scheint den Naturforschern bisher entgangen zu seyn, wenigstens finde ich ihn nirgends angeführt. Nur der scharfsichtige Lichtenberg sagt in einer Note zu Erleben's Naturlehre — S. 429, 6te Auflage: „Sehr kaltes Eis dehnt sich in der Wärme aus, aber zieht sich endlich beim Uebergang in Wasser zusammen.“

5.

Wenn man Eis, welches sich in einem ungeheizten Zimmer langsam gebildet hat, der merklich kältern Atmosphäre ausgesetzt hat, so wird man bemerken, daß es Sprünge erhält, und wenn das Gefäß geraumig ist, sich wohl gar von den Wänden losreißt, so wie es auf gefrorenen Flüssen vom Ufer zurücktritt und Klüfte bildet. In meiner Glasröhre war der Eisenlinder unter diesen Umständen immer an mehreren Stellen, senkrecht auf seine Länge zersprungen; Erscheinungen, welche sich aus der Zusammenziehung des Eises erklären lassen.

Da man die Ausdehnung des in den festen Zustand übergehenden Wassers zum Theil den beim Gefrieren sich entwickelnden Luft : oder Dampfblasen zuschreibt, so vermuthete ich, ein mehrmal nacheinander gefrierendes und wieder aufthauendes Wasser wurde zuletzt von aller ihm bewohnenden Luft befreit werden, und also beim ferneren Gefrieren ein immer geringeres Volumen einnehmen; allein der Erfolg entsprach meiner Erwartung nicht; die Zunahme am Raumesinhalt war beim zweiten und dritten Gefrieren so groß, als beim ersten; oder es war der Unterschied so klein, daß ich ihn bey einer 30 Zoll langen Röhre nicht bemerkte; und ich schließe daraus, daß die im Eise sich zeigenden Blasen vielmehr Dampfblasen sind *). Uebrigens sieht ein solches Eis ganz anders aus. Es ist nicht mehr so durchsichtig, und enthält keine so große, aber ungleich mehrere kleine Luftblasen, beynähe wie dasjenige, welches sich im luftleeren Raume, oder aus gekochtem Wasser, bildet.

*) Nach Mairan beträgt die Ausdehnung eines durch die Luftpumpe von Luft gereinigten Wassers um den zwey und zwanzigsten Theil weniger, als bey gemeinem Wasser. Hist. de l' Acad. des sc. 1749. p. 76

7.

Aus diesen vorläufigen Versuchen scheint mir auch die zweite Frage zum Theil beantwortet zu seyn; allein da die Vorrichtung S. 3. keiner großen Genauigkeit fähig ist, so wollte ich mich von dem Satze, daß Eis, so lange es bleibt, wie die Metalle seine Ausdehnung mit der Temperatur ändert, durch genauere Versuche mittelst des Pyrometers versichern.

8.

Mein Pyrometer ist so gebauet, daß fünf volle Umdrehungen des Zeigers die Ausdehnung von $\frac{6}{10}$ einer Pariser Linie geben. Da nun das Zifferblatt in 360 Theile oder Grade eingetheilt ist, so beträgt das Vorrücken des Weisers um einen ganzen solchen Grad den 3000sten Theil, und $\frac{1}{4}$ Grad, welcher noch sehr kennbar ist, den 12000sten Theil einer Linie. Obwohl also die Metallstängelchen, welche man bey den Versuchen aufzulegen pflegt, nur 8 Pariser Zoll lang sind, so bleiben doch bey diesem sehr empfindlichen Werkzeuge auch die geringsten Veränderungen der Ausdehnung noch kennbar.

Um nun das Eis bequem pyrometrischen Versuchen unterwerfen zu können, ließ ich in einer Glasröhre, wie S. 3, Wasser gefrieren, brachte sie alsdann in eine gemäßigte Temperatur, machte dadurch das Eis von den innern Wänden der Röhre los, und so erhielt ich einen Eisenzylinder von 30 Zoll, aus welchem ich mir bequem Stücke von 8 Zoll in der Länge und 2 Linien im Durchmesser zubereiten konnte; welche mit gehöriger Sorgfalt auf dem Pyrometer befestiget, und der freien Luft ausgesetzt, die Veränderungen der Ausdehnung gaben. Erst will ich die dabei bemerkten Hauptsächlichheiten anführen, und dann die hieher gehörigen Resultate genauer bestimmen.

Erster Versuch.

Den 8ten Hornung um 9 U. wurde der Apparat in die freie Luft gebracht, in welcher damals das Thermometer — 8° R. zeigte; die ganze Nacht hindurch blieb er im Freien. Den 9ten um 7 U. früh, bei einer Kälte von — 9° R., hatte der Weiser des Pyrometers 240 Theile oder Grade rückwärts, das heißt, zur Zusammenziehung, gemacht.

Zwei-

Zweiter Versuch.

Den 9ten 8 U. früh legte ich ein neues Eisstängelchen auf; das Thermometer stand damals $-10,5^{\circ}$. Nach Verlauf einer Stunde betrug die Zusammenziehung 63 Grade des Pyrometers.

Dritter Versuch.

Den 10ten 8 U. 30 M. früh bereitete ich einen neuen Eiscylinder. Der Apparat blieb diesen ganzen Tag und die folgende Nacht im Freien stehen. Den 11ten 5 U. früh erfolgte die größte Zusammenziehung des Eises, bey $-9,3^{\circ}$ des Thermometers. Sie betrug 55 Grade, und nahm bis 8 U. früh wieder um $3\frac{1}{4}$ Gr. ab.

Vierter Versuch.

Den 11ten 8 U. Abends begann ein neuer Versuch, welcher bis auf den 12ten fortbauerte. Das Stängelchen zog sich zusammen, und dehnte sich aus, so wie die Temperatur der Luft sich änderte. Diese Veränderungen waren beym Sonnenschein sehr auffallend; so wie ich den Apparat von der Sonne beschneiden lies, oder in den Schatten brachte, entstand Ausdehnung oder Zusammenziehung. Die ganze Veränderung betrug 148 Grade

Grade des Pyrometers, und der Unterschied der Temperatur $12\frac{1}{2}^{\circ}$ R.

Fünfter Versuch.

Dieser dauerte vom 12ten 6 U. Abends, bis auf den 13ten $9\frac{1}{2}$ früh. Das Maximum der Zusammenziehung erfolgte den 13ten um 7 früh, bei -10° des Thermometers, und war 198 Gr. des Pyrometers.

Sechster Versuch.

Vom 13ten abends 5 U. bis den 14ten 11 U. Vormittags, bemerkte ich die Veränderungen mit einem neuen Eisstängelchen. Das Maximum der Zusammenziehung stieg auf 68 Grade, und jenes der Wiederausdehnung auf 66 Grade. Erstes erfolgte bei $-11, 2^{\circ}$, letzteres bei -3° des Thermometers.

10.

Aus diesen Versuchen folgt nun im Allgemeinen so viel, daß beim Eise so gut wie bei Metallen, Ausdehnung und Zusammenziehung erfolgt, so wie sich die Temperatur der Luft ändert: nur muß jene immer unter dem Aufthauungs-

ungspunkte stehen; denn es ist begreiflich, daß das Eis, sobald es zu schmelzen anfängt, zu Untersuchungen solcher Art ungeschickt wird. Auch bin ich meiner Sache so gewiß, daß ich jeden Naturforscher, dem es weder an einem empfindlichen Werkzeuge, noch an den nöthigen Vorsichtsregeln mangelt, für den guten Erfolg bürgen kann.

Uebrigens erfordern diese Versuche allerdings Behutsamkeit und Geduld. Das Eis läßt sich nicht so lang behandeln, wie die Metalle. Die Hände des Beobachters bringen es zum schmelzen. Selbst die wärmere Ausdünstung hat einen Einfluß; daher man den Gang des Instruments nur durch das geschlossene Fenster bemerken darf. Ferner kann es leicht geschehen, daß das Eisstängchen auf den Unterstützungspunkten des Pyrometers angefriert, und so die Versuche vereitelt, oder trüglich macht. Auch wirkt die strenge Kälte gar sehr auf das Räderwerk des Instruments, und hemmt den Gang desselben.

Um mich, so gut ich konnte, zu versichern, daß die Zusammenziehung nicht vom Gestelle des Pyrometers sondern vom Eise herrührte, brachte ich die Maschine allemal einige Stunden früher

in die freye Luft, ehe das Eisstängelchen aufgelegt wurde.

Doch genug hievon. Eine kleine Uebung wird jeden bald belehren, auf welche Nebenumstände vorzüglich zu achten sey.

II.

Nun sollte ich auch bestimmen, wie viel die Zusammenziehung des 8zölligen Eiscylinders bey einer bestimmten Temperaturänderung betrage. Da ich den Werth der Grade oder der Eintheilungen des Instruments durch vorläufige Prüfungen schon bestimmt hatte, und während der obigen Versuche den Gang des Zeigers von Stunde zu Stunde, ja zuweilen von zehn zu zehn Minuten, aufzeichnete, so war es leicht, mehrere Data miteinander zu vergleichen, und aus allen ein Mittel zu nehmen. Ich setze dabey voraus, daß sich die Ausdehnung und Zusammenziehung gleichförmig ergebe, oder daß das Eis bey gleichen Temperaturveränderungen auch gleiche Veränderungen seiner Ausdehnung leide, welches innerhalb der engen Gränzen von zwölf Graden keine übertriebene Forderung ist, und vermuthlich

lich zutrifft, wenn auch die folgenden Angaben etwas verschieden aussehen.

12.

Gesezt also, ich bemerkte, daß der Zeiger des Pyrometers um 47 Theile der Zifferscheibe vor- oder rückwärts gewichen sey, indessen daß sich die Temperatur der Luft um fünf Grade des Thermometers änderte, so konnte ich schließen, daß das Eisenstängelchen seine Länge um $\frac{47}{3000}$ Theile einer Linie geändert habe. Dieß war die Wirkung von fünf Graden der Temperaturveränderung; zehn Grade würden das doppelte, oder $\frac{47}{1500}$ gegeben haben. Auf diese Art erhielt ich folgende Tabelle, welche aus mehr als hundert Beobachtungen gezogen ist.

Veränderung der Tempe- ratur nach Reaumur's Thermo- meter.	Veränderung der Länge des 830li- gen Eis- cylinders nach dem Pyro- meter.	Werth der Verände- rung in Theilen ei- ner Pari- ser Linie.	Reduktion der Länge an- derung auf eine Tem- peraturänderung von 10° Reaumur.
1°	10	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{30} = \frac{1}{30}$
1, 5	16	$\frac{2}{375}$	$\frac{8}{225} = \frac{1}{28,1}$
2	20	$\frac{2}{150}$	$\frac{1}{30} = \frac{1}{30}$
3	23	$\frac{23}{3000}$	$\frac{23}{900} = \frac{1}{38,3}$
4	29	$\frac{29}{3000}$	$\frac{29}{1200} = \frac{1}{41,4}$
5	41	$\frac{41}{3000}$	$\frac{41}{1500} = \frac{1}{34,6}$
5	43	$\frac{43}{3000}$	$\frac{43}{1500} = \frac{1}{36,9}$
5	47	$\frac{47}{3000}$	$\frac{47}{1500} = \frac{1}{31,9}$
7	50	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{42} = \frac{1}{42}$
8	66	$\frac{11}{300}$	$\frac{11}{400} = \frac{1}{36,4}$
13	149	$\frac{149}{3000}$	$\frac{149}{3900} = \frac{1}{26,2}$
Mittel aus allen : : : : :			$\frac{1}{34}$

13.

Ein acht Zoll langer Eisencylinder zieht sich also — der Länge nach — um den vier und dreißigsten Theil einer Linie, oder um 0,0003064 seiner ganzen Länge zusammen, wenn die Temperatur des ihn umgebenden Mittels um zehn Grade des Reaumur'schen Quecksilberthermometers abnimmt.

Wäre

Wäre es erlaubt, von zehn bis auf achtzig Grade zu schließen, so gäbe beim Eis eine Temperaturänderung von achtzig Graden eine Längenänderung von 0,0024512 des Ganzen.

14.

Das dreifache dieser Zahl, nämlich 0,0073536 gäbe das Verhältniß der körperlichen Ausdehnung ohne merklichen Fehler an, wenn man mit anderen Substanzen eine Vergleichung machen wollte.

Z. B. nach de Lüc dehnt sich das Wasser von 0° bis 80° R. um 0,045176 seines Volumens aus; mithin sechsmal mehr als Eis.

Nach Schmidt in Gießen (Gren's N. Journal der Physik B. I. S. 216.) wächst die Ausdehnung des Wassers durch eine Temperaturerhöhung von 15 bis 45 R. um 0,01328 seines Volumens; also beynahe um fünfmal mehr als beim Eis, welches Verhältniß der Wahrheit näher kommen dürfte.

Auf gleiche Art könnte man Eis mit Metallen vergleichen, und es würde daraus folgen,
daß

das Eis mehr als alle feste Körper, mit welchen man bisher Versuche gemacht hat, durch die Kälte zusammengezogen werde.

Nehme ich aus Musschenbroek's, Bouguer's und Smeaton's Resultaten das Mittel, so erhalte ich die Ausdehnungen nach der Länge vom Gefrier bis zum Siedpunkt für

Silber =	0, 000730	Kupfer	0, 001250
Glas	0, 000805	Messing	0, 001470
Eisen	0, 000843	Zinn	0, 001745
Gold	0, 000940	Blei	0, 001790
Eis vom Gefrierpunkt abwärts.	0, 002451		

Allein diese Vergleichung ist nur hypothetisch; denn die wirklichen Erfahrungen reichen nicht weit; — ja sie ist auch sehr gewagt und unzulässig, theils, weil man alle Versuche bey flüssigen und festen Körpern über den Gefrierpunkt gemacht hat, jene mit dem Eis aber schlechterdings nur unter demselben möglich sind; theils auch, weil die verhältnißmäßige oder gleichförmige Ausdehnung der Körper in sehr enge Gränzen eingeschlossen wird, wie aus vielen Versuchen bekannt ist. Das Steigen und Sinken des Quecksilberthermometers ist für uns ein Maaß der Wärme. Wir nehmen dabey stillschweigend an,

an, daß gleiche Zunahmen der freien Wärme auch gleiche Gradeserhöhungen des Thermometers bewirken, allein ich halte dafür, daß diese Voraussetzung viele Einschränkungen leide, und daß wir uns diese Freiheit nur darum erlauben, weil wir nichts Zuverlässigeres kennen.

15.

Man sieht aus der obigen Tabelle (S. 12.) daß die ersten Grade, welche näher bey dem Aufthauungspunkte liegen, eine viel größere Zusammenziehung des Eises bewirken, als die weiter entfernten.

Kömmt endlich das Eis gar auf die Temperatur des Schmelzpunktes, so zieht es sich augenblicklich sehr auffallend zusammen. Zweymal kam mir dieser Fall im Verlaufe meiner Versuche vor, den 11ten und 13ten Hornung. Einmal tratt der Zeiger des Pyrometers um 575, das zweitemal um 400 Abtheilungen zurück, als ich zwischen 9 und 10 Uhr früh die Sonnenstrahlen auf das Eisstängelchen fallen lies. Die Zusammenziehung betrug aber noch viel mehr; denn in beiden Fällen war der Zeiger an seiner äußersten Gränze.

Um

Um die nähern Umstände dieser Erscheinung zu erfahren, ließ ich Wasser in einer Glasröhre gefrieren. Die Eisstange hatte 31 Zoll 8 Linien in der Länge, und vier Linien in der Dicke. Nachdem ich die obere Oefnung der Röhre geschlossen hatte, brachte ich sie in ein warmes Zimmer von 18° R. Es verstrichen einige Minuten, bis ich eine Zusammenziehung des Eises bemerken konnte. Sobald es sich aber von den innern Wänden der Röhre durch Schmelzen losgemacht hatte, fieng es auch an, sich merklich zusammenzuziehen. Als der Eiscylinder die Hälfte seiner Dicke verloren hatte, war er bereits um einen Pariser Zoll kürzer; von dieser Verkürzung darf man etwa zwei Linien dem Schmelzen zuschreiben, die übrigen zehn Linien sind eine wahre Zusammenziehung. Aus diesem Versuche erklärt sich die Stelle, welche ich S. 4. aus Lichtenberg angeführt habe.

16.

Hiemit wäre also auch die zweite Frage S. 1. beantwortet, und nun sollte ich über das specifische Gewicht des Eises Untersuchungen anstellen. In der That eine schwere Aufgabe! Denn man kann hier das Verfahren nicht anwenden

wenden, welches bei andern festen Körpern beobachtet wird.

Beim Versenken in kaltes Wasser schmelze das Eis, und verliert während dem Versuche immer an Volumen.

Wählt man geistige Flüssigkeiten, welche einen höhern Grad der Kälte ertragen, so werden dieselben dichter, und bringen neue Unrichtigkeiten in die Resultate; nichts davon zu sagen, daß viele Flüssigkeiten chemisch auf das Eis wirken.

Will man endlich die gemeine Wage dazu brauchen, so soll das Volumen des dem Versuche unterworfenen Eises auf das genaueste bekannt seyn, welches eben so schwer hält, als es schwer ist, einem Körper die vollkommen kubische Gestalt zu geben.

Zu allen diesen Hindernissen kommt noch der besondere Umstand, daß das Eis, wie die Metalle, bei jeder Temperaturänderung sein Volumen ändert, mithin andere Resultate liefert, und daß endlich Eis, wie Wasser, verschieden ist.

Daraus läßt sich nun erklären, warum die in physikalischen Schriften vorkommenden Angaben vom specifischen Gewichte des Eises sich einander nicht gleichen.

Musschenbroek giebt das gewöhnlichste Verhältniß des Wassers zu Eis $= 9 : 8$ an, welches schon Robert Boyle empfahl; setzt aber hinzu, Eis sey desto leichter, je mehr Luftblasen es enthalte. Introd. ad Phil. nat. S. 1493.

Mairan fand dieses Verhältniß veränderlich, bald $= 19 : 18$; bald $= 14 : 13$. Bei seinen Versuchen wählte er das Versenken im Wasser.

Brisson hat in seinem schätzbaren Werke: Sur la Pesanteur specifique des Corps, das Eis ganz übergangen.

Am sichersten und zugleich am bequemsten wird man wohl verfahren, wenn man Wasser in einer langen und, so viel möglich, gleichweiten Glas:

Glasröhre, gefrieren läßt, und so die Längen der Eis- und Wassersäule miteinander vergleicht. Nur muß man dabei nicht vergessen, das Gefrieren langsam zu befördern, in einer Temperatur nämlich, welche nur um ein Paar Grade unter dem Eispunkte steht; oder wenn dieses bei einer niedrigen Temperatur geschehen ist, die Eis- säule nicht eher abzumessen, als nachdem die Glasröhre bereits einige Stunden in einem Zimmer gestanden hat, welches ungefähr -1° R. kalt ist.

19.

Unter diesen Umständen machte ich drei Versuche, indem ich gemeines Brunnenwasser in gut kalibrirten Glasröhren gefrieren lies.

Erster Versuch.

Länge der Wassersäule = 486'''

— — — Eissäule = 544'''

Verhältniß = 243: 272 = nahe 8, 1: 9, 1

Zweiter Versuch.

Länge der Wassersäule = 348'''

— — — Eissäule = 380'''

Verhältniß = 87: 95 = 8, 7: 9, 5

Dritter

Dritter Versuch.

Länge der Wassersäule = 240''

— — — Eissäule = 262''

Verhältniß = 120 : 131 = 12, 0 : 13, 1.

Das arithmetische Mittel aus diesen drei Resultaten ist genau = 75 : 83, oder sehr nahe = 9 : 10, welches der Boyle'schen Angabe am nächsten kommt.

So weit giengen meine Versuche, als gelindere Witterung meinen ferneren Untersuchungen über das Eis für diesen Winter ein Ende machte.

20.

Aus dem bisher Gesagten ersehen wir, daß Eis, so lange es im festen Zustande bleibt, keine Ausnahme von der allgemeinen Regel mache, sondern gleich andern festen und flüssigen Körpern nach Beschaffenheit der Temperatur sein Volumen ändere. S. 3. Nur in dem Falle, daß Wasser zu Eis, oder Eis zu Wasser wird, er giebt sich eine besondere Erscheinung, und zwar im ersten Falle Ausdehnung, und im zweiten Zusammenziehung. S. 15.

Wir

Wir wissen ferner die Grösse der Zusammensziehung bey einem bestimmten Grade der Kälte S. 13., und das ohngefähre Verhältniß des Eises zu Wasser und Metallen; wiewohl über diesen Punkt noch gar keine directe Versuche mit Metallen sind gemacht worden S. 14.

Was endlich das specifische Gewicht des Eises betrifft, so können wir uns damit begnügen, weil doch bey diesem, wie bey jedem andern, Körper alles auf individuelle Umstände ankommt.

21.

Woher mag es wohl gekommen seyn, daß man bisher so unbedingt annahm, das Eis dehne sich bey zunehmender Kälte immer mehr aus? — Mairan S. 2. stützte sich auf folgenden Versuch: Er ließ in einem Gefäße Wasser gefrieren. Sobald sich die Eiskruste gebildet hatte, ließ er das übrige Wasser durch den Boden des Gefäßes ablaufen, und stellte es neuerdings in die Kälte. Die Eiskruste erhob sich nun, und bildete eine konvexe Wölbung, welche, wie er glaubt, nur von der Ausdehnung des Eises, und dem Widerstand der Seitenwände des Gefäßes entstehen konnte.

Dage-

Dagegen läßt sich freylich viel einwenden. So oft Wasser in einem etwas geräumigen Gefäße gefriert, welches den Druck des Eises aushält, entsteht in der Mitte eine Wölbung, wenn nur der Grad der Kälte hinreicht, das Wasser in Eis zu verwandeln. Seit dem 1ten Hornung stand hier das Thermometer im Freyen nie unter -2° R., und dennoch ergab sich die obige Erscheinung, als ich bey dieser mäßigen Temperatur den 24ten und 25ten Wasser in einem prismatischen Gefäße von 36 Quadratzoll Grundfläche gefrieren ließ. Das Gefrieren fängt bekanntlich an der Oberfläche und den Seitenwänden an; die mittlere Wassersäule gefriert zuletzt, und diese muß nothwendig an Länge vor allen andern zunehmen, indem sich die Luft: oder Dampfblasen, welchen der Ausgang bereits versperret ist, von allen Seiten gegen die Mitte drängen und das Volumen vermehren helfen. Deswegen ist Eis in Gefäßen allemal in der Mitte am meisten undurchsichtig und mit Blasen durchwebt.

Allein diese Antwort scheint nicht ganz auf Mairan's Versuch zu passen; denn er hatte die mittlere Wassersäule abgezapft, und nur die äußere Kruste beybehalten.

Daraus

Daraus folgt aber noch nicht, daß sich in der Mitte gar keine Erhöhung hätte ergeben sollen; denn in dem Augenblicke, als das rückständige Wasser weggeschafft wurde, waren die innern Gläschen der Eiskruste noch naß; so wie sie aber in Eis übergingen, dehnten sie sich aus, und verursachten eine Wölbung. Wurde nun dieses Eis einer größern Kälte unterworfen, und war das Gefäß merklich höher als dick, welches gewöhnlich der Fall ist, so verkürzte sich das Eis mehr an den Seitenwänden als auf der Oberfläche, und so konnte die Wölbung noch sichtbarer werden.

Uebrigens scheint es mir, der ganze Versuch gehöre nicht zur Sache, wenigstens ist es kein direkter Versuch, wie der meinige. S. 3.

22.

Mairan führt noch einen andern Versuch zur Unterstützung seines Satzes an. Er fand nämlich, daß ein Stück Eis, gleich nach seinem Entstehen auf der hydrostatischen Wage im Wasser abgewogen, sich zu diesem verhielt, wie 13 zu 14, nach acht Tagen aber wie 11 zu 12. Ich habe schon oben erinnert S. 16., wie schwer es hält,

hält, das specifische Gewicht des Eises auf diese Art zu bestimmen. Was soll man nun aber von einem Versuche halten, wo weder von der Temperatur des Eises, noch von jener des Wassers Meldung geschieht, und wo zugleich der Unterschied beider Angaben so gering ist?

Daraus, fährt Mairan fort, erklären sich auch die Spalten und Risse, welche sich mit einem fürchterlichen Knall auf dem Eise ergeben, womit Teiche, und andere Gewässer bedeckt sind; allein wäre es überhaupt nicht natürlicher, dergleichen Spalten vom Zusammenziehen des Eises herzuleiten, wie beim trocknen Erdreiche, das bei anhaltender Sonnenhitze springt? Ich will übrigens gern zugeben, daß diese Erscheinung auch von der Ausdehnung herrühren kann. Man darf sich nur erinnern, daß Eis auf großen Teichen immer von unten Zuwachs erhält; dieses untere in Eis übergehende Wasser bewirkt dann die Spalte, nicht das längst gefrorne.

23.

Endlich ist der Umstand S. 15. merkwürdig, daß sich das Eis beim Aufthauen eben so zusammenzieht, wie es sich beim Gefrieren ausdehnt.

Die

Die Ausdehnung schreibe ich vorzüglich der bestimmten Lage seiner Theile und der Krystallform zu. Findet man diese reguläre Anordnung der Theile, so wird sich kein Eis bilden, und das Gefrieren des Wassers wird nicht vor sich gehen. So bald nun das Eis wieder seine tropfbar-flüssige Gestalt annimmt, so verliert es seine Krystallisationsform, die Theile kommen sich wieder näher, es entsteht Zusammenziehung.

24.

Es giebt bey den Körpern Grade der Flüssigkeit wie der Festigkeit. Gäbe es einen vollkommen flüssigen Körper, so würde er seinen Raum vollkommen ausfüllen. In diesem Falle wäre es nicht möglich, daß Wasser in seinen Zwischenräumen Luft enthielte, wie man gewöhnlich voraussetzt; denn es hätte keine Zwischenräume.

Ueberhaupts ist es noch nicht erwiesen, daß Wasser Luft in sich enthalte, welches durch Kochen und durch die Luftpumpe kann weggeschafft werden; und daß die Blasen, welche
M sich

sich allemal im Eise zeigen, wahre Luftblasen sind. Allein diese Frage gehört nicht hieher, und ich schließe mit dem Wunsche zur nähern Kenntniß der Natur einen kleinen Beitrag geliefert zu haben.

Zweiter Theil.

Pyrometrische Versuche mit der Holzkohle.

1.

In der Natur hängt alles zusammen. Eine Erscheinung folgt aus der andern, und bewirkt wieder eine neue. Ein ähnlicher Zusammenhang wäre auch in dem Lehrgebäude der Wissenschaft der Natur zu wünschen. Allein unsere Kenntnisse sind zur Zeit noch zu isolirt, und zu einseitig, als daß wir das allgemeine Band, welches die ganze Natur umschlingt, auffinden, und die Art der Verbindung angeben könnten.

Der aufmerksame Naturforscher wird übrigens im Verlaufe seiner Untersuchungen hundertmal bemerken, daß zulezt alles auf eine einzige Grundursache zurückkommen muß, indem ihn vielfältig, auch ohne Absicht, ein Versuch auf den andern leitet, und eine Erscheinung der andern die Hand biethet.

Als ich die obigen Versuche mit dem Eise machte, so wollte ich gelegentlich dem Einwurfe begegnen, daß vielleicht alle meine Resultate betrüglich wären, indem die bemerkten Veränderungen eben so gut von der Maschine, deren Theile gegen die Temperaturänderungen gleichfalls empfindlich sind, als vom Eise, entspringen könnten.

Ich hatte mich zwar vom Gegentheile schon längst überzeugt; allein da ich die ehemals gemachten Versuche nicht anführen wollte, ohne sie neuerdings wiederholt zu haben, so kam ich jetzt auf ganz besondere Erscheinungen, welche, mir wenigstens, neu waren, und die nicht unwürdig seyn dürften, den Naturforschern mitgetheilt, und einer fernern Prüfung unterworfen zu werden.

2.

Beim Gebrauche des Pyrometers tritt allemal der Umstand ein, daß man zugleich auf die Ausdehnung der Maschine selbst Rücksicht nehmen muß, was freilich nicht immer geschehen ist; deswegen scheinen mir Smeaton's pyrometrische

trische Versuche (Philosoph. Transact. Vol. 48. p. 598. etc.) vor andern den Vorzug zu verdienen.

Ich brauchte zwar bey den Versuchen S. 9. die Vorsicht, daß ich das Werkzeug immer einige Stunden früher als die Eisstange, der freien Luft aussetzte, um es noch vor dem Versuche auf die Temperatur derselben zurückzubringen. Allein da auch diese Temperatur veränderlich war, so blieb noch immer ein Zweifel übrig, den ich nothwendig heben mußte, wenn anders meine Versuche Glauben verdienen sollten.

3.

Man giebt astronomischen Uhren, des gleichförmigen Ganges wegen, ein rostförmiges Pendel (Kompensationspendel). Gäbe es einen festen Körper, welcher bey der gewöhnlichen Temperatur unsers Klima gegen den täglichen Wechsel von Wärme und Kälte unempfindlich bliebe, so würde er dieselben Dienste leisten, und zugleich manche Kosten ersparren. Holz schien mir von dieser Art zu seyn; direkte Versuche mußten hierüber entscheiden.

Allein um dieses Material pyrometrisch zu prüfen, wird eine besondere Vorrichtung erfordert; denn man kann es nicht, wie Metalle, durch Lampenfeuer erhitzen, auch nicht in heißes Wasser versenken, sofern man es höhern Graden der Wärme unterwerfen will. Hierzu bediene ich mich folgender Vorrichtung.

Das zu prüfende Holzstängelchen wird mit einem Cylinder von Messingblech umgeben, welcher ringsherum anderthalb Linien davon absteht, und an beiden Enden mit Kork geschlossen und in seiner Lage befestigt ist: das Holz steht auf beiden Seiten einen Zoll lang vor, um es auf den Pyrometer gehörig befestigen zu können. Auf diese Art steckt das Holzstängelchen in einer messingnen Hülse, ohne sie zu berühren: das Lampenfeuer des Pyrometers wirkt unmittelbar auf das Messing, und die dadurch erregte Wärme wird dem Holzcylinder nach seiner ganzen Länge gleichförmig zugeführt. Dieser kann einen hohen Grad von Hitze aushalten, ohne Feuer zu fangen, und zu verbrennen. An dem einen Ende wird der Kork so sanft angebracht, daß das Holz noch Freiheit hat, sich auszudehnen oder zusammen

menzuziehen. Weiter unten wird noch von einer andern Vorrichtung Meldung geschehen.

5.

Ich schränkte meine Versuche auf die drei gemeinsten Holzarten ein, auf Tannen; Eichen- und Buchenholz. Die Versuche, so wie die dabei gemachten Bemerkungen, sind kürzlich folgende:

a) Alle drei Holzstängelchen, nach der eben beschriebenen Art auf dem Pyrometer befestigt, und durch vier brennende Dochte, welche mit Weingeist unterhalten wurden, erhitzt, dehnten sich anfangs ein wenig aus, und zwar Tannenholz um 40, Eichenholz um 1 bis 2, Buchenholz um 10 Grade des Pyrometers.

b) Diese Ausdehnung erreichte in weniger als einer Minute ihr Maximum; dann stand der Zeiger des Pyrometers einige Sekunden still.

c) Bei fortdauernder Erhitzung ergab sich nun eine plötzliche und schnelle Zusammenziehung; indem das Holz verkohlt wurde. Sie betrug ohngefähr den zehnten Theil der ganzen Länge.

d)

d) Nach geendigter Verkohlung löschte ich die Dochte aus, und brachte alles auf die Temperatur 15° R. zurück. Dann erhitzte ich das Kohlenstängelchen neuerdings, und fand, daß die Kohle durch einen beträchtlichen Grad der Wärme sich stark ausdehnte, so bald aber der Prozeß des Verkohlens oder der Zersetzung wieder eintrat, auch die Zusammenziehung wieder erfolgte.

e) Bei einer Temperaturerhöhung von 10 bis 30. Gr. R. hingegen schien die Kohle eine wesentliche Ausnahme von andern festen Körpern zu machen; Sie zog sich nämlich zusammen, so wie im Gegentheile sie sich ausdehnte, wenn die Temperatur wieder sank. Ich will mich über diese fünf Erscheinungen umständlicher erklären.

6.

a) Trocknes Holz kann also bis zum Verkohlen erhitzt werden, ohne sich merklich auszudehnen. Indessen scheint weiches Holz gegen die Wärme empfindlicher zu seyn, als hartes; denn das eichene Stängelchen blieb beynahe unbeweglich bis zur Verkohlung: Buchenholz dehnte sich bei einem so hohen Grad der Hitze nur um $\frac{1}{300}$ Linie, Tannenholz aber um $\frac{1}{75}$ Linie aus.

Bei

Bei meinen Versuchen über die Ausdehnung des Eises betrug die größte Temperaturänderung höchstens 14 Gr. R., also ist es mir erlaubt, anzunehmen, die Basis des Pyrometers habe durch ihr Volumen nicht so viel geändert, daß ein merklicher Unterschied in den Resultaten hätte entstehen können.

Eichenholz scheint zu Pendelstangen sehr geschickt zu seyn; nur muß man ein wohl ausgetrocknetes, altes, gesundes Stück Holz wählen, und um es gegen die Feuchtigkeit unempfindlich zu machen, gut mit Oelfarbe, Firniß, oder Lack, überziehen. Tannenholz scheint in einer andern Hinsicht schicklicher, weil es sich nicht leicht wirft und verzieht.

b) c) Sobald das Holz anfängt sich zu verkohlen, fängt auch ein neuer Prozeß an. Nach Beschaffenheit des Holzes wird dazu ein ungleicher Grad der Wärme erfordert.

Bei Eichenholz verstrichen 65 Zeitsekunden vom Anfang des Versuches bis auf diesen Augenblick, bei Tannenholz ohngefähr die Hälfte dieser Zeit.

Bei

Bekanntlich verlieren bey der Verkohlung alle Hölzer an Volumen und Gewicht. Ersteres zeigt sogleich das Augenmaaß an den Meilern. Die Größe dieses Verlustes hängt von dem Feuergrade ab, mit welchem die Verkohlung getrieben wird. Nach Hjelms nützlichen Versuchen (Neue schwed. Abh. B. 1. S. 25. u. f.) darf man bey der Verkohlen im Großen annehmen, daß die Kohlen die Hälfte vom Raum des Holzes betragen, wenn die Arbeit im Sommer vorgenommen wird; im Winter hingegen ist diese Abnahme größer, nämlich = 16:7.

Dem Gewicht nach beträgt z. B. bey Tannenholz die Kohle ein Viertel des Gewichtes vom Holz. Doch läßt sich hierüber nichts bestimmtes angeben. Die Zusammenziehung dauerte bey mir fort, so lang ich mit dem Lampenfeuer zusetzte. Da ich aber die Kohle noch zu andern Versuchen bestimmt hatte, so endigte ich den Prozeß allemal, wenn die Kohle beynahe keinen Rauch mehr gab.

8.

Der S. 4. beschriebene Apparat gewährte mir den Vortheil, daß ich sehr geschmeidige Kohlenstängel:

Stängelchen erhielt, mit welchen ich alle pyrometrische Versuche so gut als mit Metall machen konnte.

Nachdem ich nun aus der Erfahrung wußte, daß sich Holz selbst beim höchsten Grade der Erhitzung, den es auszuhalten fähig ist, ohne seine Beschaffenheit zu ändern, nicht merklich ausdehnt; daß es sich aber, so wie es in eine Kohle verwandelt wird, sehr stark zusammenzieht, so wollte ich auch noch untersuchen, was bei verschiedenen Temperaturänderungen mit der Kohle selbst vorgehe. Dieses zu erfahren, unterwarf ich meine verkohlten Stängelchen dreierley Graden von Wärme, einem sehr hohen, einem mittlern, und einem geringen.

9.

d) Erster Fall. Nachdem die Stängelchen hinlänglich zu Kohle gebrannt waren S. 7. löschte ich die Dochte aus, brachte alles auf die Temperatur meines Wohnzimmers 15° R., setzte einen Kohlenzylinder, welcher noch in der messingnen Hülse steckte, auf einen bestimmten Grad des Pyrometers, und zündete dann die vier Dochte neuerdings an. Alle drei Arten von Kohlen litten eine

eine starke Ausdehnung, und zwar machte bei der Tannenkohle der Zeiger mehr als sieben Umgänge. Die ganze von mir bemerkte Ausdehnung betrug ohngefähr eine Pariser Linie, ohne daß ich den Augenblick abwarten konnte, wo sie sich wieder zusammengezogen hätte.

Bei der Kohle von Eichenholz machte der Zeiger 1155 Grade vorwärts, welches nicht gar $\frac{1}{3}$ Linie der Ausdehnung beträgt: dann stand er einige Sekunden still, und wich hernach um fünf Revolutionen oder $\frac{2}{15}$ einer Linie zurück. Diese Zusammenziehung dauerte noch eine Zeit lang fort, nachdem die Dochte bereits ausgelöscht waren.

Bei der Buchenkohle bemerkte ich nur die Ausdehnung, der übrige Versuch blieb weg, indem ich mit dieser Kohle noch andere Absichten hatte; und überhaupt der Erfolg dem vorhergehenden ähnlich gewesen seyn würde.

10.

Ich kenne keinen festen Körper, welcher bei gleicher Zeit und gleicher Erhitzung, eine so große und schnelle Ausdehnung äußerte, wie die Holzkohle. Einige Metalle ertragen diesen Grad der Wärme nicht, andere rücken sehr langsam vor,
wenn

wenn sie sich bis auf einen gewissen Grad verlängert haben.

Könnte man den Grad der Hitze bestimmen, würde sich leicht eine Vergleichung mit Metallen machen lassen. Diese Ausdehnung war aber bey der eichenen Kohle nicht gleichförmig fortschreitend, sondern sie geschah stoßweis ben nahe von drehundert zu drehundert Graden, vorzüglich anfangs; zuletzt wurde sie etwas gleichförmiger, bis sie endlich gar in eine Zusammenziehung übergieng; ohne Zweifel deswegen, weil die Kohle noch mehr zerstört wurde. Allein warum geschah dieses nicht auch bey der Tannenkohle?

II.

Zweyter Fall. Um den Grad der Hitze einigermaßen durch das Thermometer bestimmen zu können, brachte ich zwischen den brennenden Dochten und dem Kohlenstängelchen eine kupferne Schine an, welche anderthalb Zoll breit, und $6\frac{1}{2}$ Zoll lang war. Die Kugel des Thermometers berührte die Kohle), welche nun aus ihrer messingenen Hülse S. 4. genommen war), die Wärme wurde nur langsam zugeführt, und nach und nach durch mehrere Dochte verstärkt, so weit es ohne Schaden des Thermometers geschehen konnte. Diese einfache Anrichtung that mir sehr gute Dienste, und
ich

ich glaube sie der Musschenbroek'schen (Introd. ad Philos. nat. S. 1527. an die Seite setzen zu dürfen, als welche weder für die Kohle, noch für viele andere Körper, die vom Wasser geändert werden, anwendbar ist.

Das Resultat dieser Versuche war, daß die Kohle bei zunehmender Wärme sich sehr ordentlich ausdehnte, und bei abnehmender zusammenzog; doch war bei allen dreyn Holzarten die Zusammenziehung viel größer als die Ausdehnung, ging auch anfangs sehr schnell vor sich. Ich will auch einige Resultate hersehen.

Tannenkohle.			Eichenkohle.		
Grade des Thermometers.	Ausdehnung in Graden des Pyrometers.	Werth in Linien.	Grade des Thermometers.	Ausdehnung in Graden des Pyrometers.	Werth in Linien.
17°	0	0	18°	0	0
19	30	0,010	23	50	0,016
20	44	0,015	26	70	0,023
22	53	0,018	30	77	0,026
Stillstand			36	82	0,027
60	53	0,018	41	90	0,030
65	90	0,030	56	198	0,066
70	170	0,057	71	210	0,070
endlich	258	0,086	endlich	260	0,087

Die Zusammenziehung beträgt $258 + 446 = 704$ Gr. des Pyrometers $= 0,23$ einer Linie. Hört auf bei 29° Temperatur.

Die Zusammenziehung beträgt $260 + 107 = 367$ Grade des Pyrometers $= 0,12$ einer Linie. Hört auf bei 36° Temperatur.

12.

Bei der Kohle von Tannenholz bewirkte also die Temperatur-Erhöhung von 51° R. eine Ausdehnung von 140 Graden des Pyrometers, oder, 0,047. einer Pariser Linie. Achtzig Grade des Thermometers würden 0,07 gegeben haben. Da nun die Länge des Stängelchens, so weit es verkohlt war, nur 72 Linien hielt, so dehnt sich die Tannenkohle bei einer Zunahme der Wärme von 80° R. um 0,0010 ihrer ganzen Länge, das ist, etwas mehr als Glas; und nahe so stark, wie Eisen bei gleichen Umständen, aus.

Die Eichenkohle dehnt sich mehr aus, nämlich unter obigen Voraussetzungen, um 0,0012 ihrer Länge, welches der Ausdehnung des Eisens und Stahls gleich kommt.

13.

Der Umstand, daß sich die Kohle, nachdem die Flamme zu wirken aufhörte, mehr zusammen zog, als die Ausdehnung betragen hatte, und zwar die Tannenkohle beynahe dreymal mehr, mag vielleicht daraus erklärt werden, daß jede Erhitzung ein Anfang des Verbrennens ist; daß
durch

durch den stäten Zutritt der Wärme immer einige Theile der Kohle mit fortgerissen werden; daß ein Grad der Hitze, bey welchem jedesmal der Weingeist im Gefäße des Pyrometers in eine Flamme ausbrach, die Kohle zu zersetzen anfieng: alles dieses kann dazu bengetragen haben, daß es sich bey der Verkürzung mit der Kohle anders verhielt als mit den Metallen, welche gewöhnlich wieder zu ihre erste Ausdehnung zurücktraten. Eben diese Erscheinung kommt auch S. 9. bey der Eichenkohle vor.

14.

e) Dritter Fall. Gemäß den vorausgeschickten Erfahrungen konnte ich nicht mehr zweifeln, daß die Kohle, so gut als andere feste Körper, den Einwirkungen der Wärme und den bekannten Gesetzen der Ausdehnung folge; allein, um nichts ungeprüft zu lassen, wollte ich auch noch sehen, was bey geringen Temperaturänderungen damit vorginge. Ich legte also neuerdings ein Kohlenstängelchen auf das Pyrometer, stellte das Instrument in einer Entfernung von zwey Fuß an den Ofen hin, welcher täglich einmal geheizt wurde, und so blieb es volle acht Tage; denn

denn so lange dauerten diese seltsamen Versuche, ohne mich zu befriedigen. Immer erfolgte Zusammenziehung oder Verkürzung der Kohle, wenn die Wärme wuchs, und Ausdehnung, wenn sie abnahm; und so stand also die Kohle, mit sich selbst im Widerspruch. Der Grund dieser Anomalie konnte entweder in der Kohle, oder in der Maschine, oder in der Ofenhitze; oder in einem unbekannten Umstand, (etwa in der Feuchtigkeit?) liegen. Da ich bis jetzt die wahre Ursache nicht ausfindig machen konnte, so will ich kürzlich meine Beobachtungen anführen, um Sachkundige in den Stand zu setzen, hierüber selbst nachzudenken, und zu urtheilen.

A.				B.			
Kohle vom Tannenholz.				Kohle vom Eichenholz.			
Ther- mome- ter.	Pro- meter.	Ther- mome- ter.	Pro- meter.	Ther- mome- ter.	Pro- meter.	Ther- mome- ter.	Pro- meter.
21°	70°	18	291	16°	303	21,6	196
28,5	48,5	22,3	147	15	309	22,3	186
26,3	42,	26	134	13,5	387	27	83
24,2	41 *	27,4	117	12	390**	28,3	73
21,5	41	29,5	116	26	126	28	61*
18	42	26,5	92,5 *	30	100		
15,5	106	16,2	116	31	91*	u.	f. f.
13,5	155	15,2	206	31	96,5		
11	293	14,8	222	29,6	97,5		
13,5	303**	14,2	233	27,5	131		
22,3	139	13,4	235	24,3	131,5		
25,8	90	11	389**	14	178		
24	73	21	359	11	230**		
23	72,5*	21,5	335	19	225		
18	74	23	294	22	165		
16	139	24	220	23	142		
15	158	30	157	29,2	116		
13,3	187	31	137	28,7	110		
12,2	214	30,5	127*	26	97,5		
12	243,5	25,5	127	20	26 *		
11,6	245	20,1	149	17	101		
10	328	19,3	166	15	110		
16	324**			12,6	214		
				15,8	259**		

15.

Aus der Tabelle A ergibt sich

a) daß die Kohle bey zunehmender Ofenhitze sich immer zusammen zog, und bey abnehmender ausdehnte.

b) daß die Maxima der Temperatur: und der Längeänderungen nicht genau zusammenfallen.

c) daß sie auch unter sich selbst, von einem Tag zum andern, nicht ganz gleich sind.

d) Nimmt man die Differenzen der Thermometer: und Pyrometergrade, so erhält man für die

Ausdehnung	Zusammenziehung
$17^{\circ} = 262$	$15^{\circ} = 231$
$16 = 262$	$20 = 242$
$19 = 297$	$29 = 272$

Mittel.

$$17^{\circ}, 3 = 273, 7 \quad 18^{\circ}, 3 = 248, 3$$

Aus der Tabelle B ergeben sich für die Eichenkohle ähnliche Folgerungen. Die Differenzen sind hier noch grösser als bey der Tannenkohle.

16.

Da ich mir diese seltsame Erscheinung nicht erklären konnte, so untersuchte ich alle Nebenumstände.

stände. Mein erster Argwohn fiel auf das Pyrometer. Da die Maschine acht Tage lang nahe beim Ofen stand, so konnten sich die Theile, aus welchen sie besteht, verziehen und werfen; allein die bemerkten Veränderungen, Tab. A, B, sind zu regelmäßig, und kommen alle Tage viel zu ordentlich zurück, als daß sie von der Maschine allein herrühren sollten. Doch um hierüber mehr Gewißheit zu erhalten, setzte ich anstatt der Kohle ein Kupferstängelchen auf. Dieses befolgte nicht nur die gewöhnlichen Geseze der Ausdehnung und Zusammenziehung nach Beschaffenheit der Temperatur, sondern die Abwechselungen waren so regelmäßig, daß mein Resultat gerade das Mittel zwischen Musschenbroef's und Smeaton's Angaben für die Ausdehnung des Kupfers hält, welches wohl nicht hätte geschehen können, wenn die Maschine auf die Veränderungen auf was auch immer für eine Art, Einfluß gehabt hätte.

17.

Ein zweyter Verdacht fiel auf die Kohle. Dünne Stäbe vom Holz krümmen sich allemal während der Verkohlung, mehr oder weniger, nach Beschaffenheit des Holzes, und der Hitze. Es wäre also möglich, daß diese Krümmung täglich zu

zu: und abnahm so wie die Ofenhitze. Diese Veränderungen sind zu klein, als daß man sie mit freiem Auge bemerken könnte, und ich hatte jetzt nicht Gelegenheit, mir aus einem großen Stück Kohle ein kleines Stäbchen regelmäßig drehen zu lassen, welches überhaupt etwas schwer hält.

Daß dieser Verdacht nicht ohne Grund war, davon überzeugte ich mich mittelst eines Stäbchens von trockenem Tannenholze. Dieses unter gleichen Umständen auf das Pyrometer gelegt, und vier Tage lang beobachtet, hielt einen unregelmäßigen Gang. Der Zeiger des Pyrometers ging binnen 24 Stunden zweimal vor: und rückwärts, doch erfolgte allemal bei der niedrigsten Temperatur die größte scheinbare Ausdehnung, das heißt, das Stäbchen nahm damals seine gerade Lage an, und krümmte sich zweimal des Tages. Die Veränderungen waren übrigens nicht halb so groß, als bei der Kohle. Ein Beweis, wie vorsichtig man bei pyrometrischen Versuchen gewisser Körper seyn muß. Mein Zweifel war also dadurch, wenigstens zum Theil, gehoben.

Auch die geringen Veränderungen von Trockenheit und Feuchtigkeit konnten auf den Gang des Instruments und die Veränderungen der Kohle einen Einfluß haben; aber unmöglich einen so großen. Die Feuchtigkeit ändert das Holz mehr nach der Dicke als nach der Länge; dadurch schwillt es zwar auf, aber ich glaube nicht, daß es sich verlängert. Außer dem waren die Veränderungen des Lambert'schen Hygrometers in gleicher Entfernung vom Ofen während meiner Versuche so gering a), daß ihre Wirkung auf die Kohle für Null kann angesehen werden.

Die Ausnahme also (S. 4. e.,) welche die Kohle zu machen scheint, ist glaublich nur scheinbar, und rührt von noch nicht ganz bekannten Umständen her.

a) Sie betragen 23 Grade, oder nach Saussure's Haarhygrometer nahe $23/10$ Grade. Mein Lambert'scher Hygrometer nämlich macht zehnmal größere und sichtbare Bewegungen als ein dabey hangendes Saussure'sches, welches in Paris verfertigt worden ist. Ueber den Bau und die Harmonie dieser zwey Instrumente werde ich Nachricht geben, wenn ich beyde ein Jahr hindurch beobachtet und verglichen habe.

19.

Noch einer Erscheinung muß ich erwähnen, bevor ich diese Abhandlung schließe. Man weiß aus der Erfahrung, daß die Kohlen in den Meiseln nach der Abkühlung wieder anschwellen. Auch dieser Umstand entgieng mir nicht. Nachdem ich mir auf die S. 4. beschriebene Art Kohlen verschafft, oder die schon zubereiteten Kohlen einem höhern Grade der Hitze unterworfen hatte S. 9., und die dort angeführten Erscheinungen zu Ende waren, so erhielt ich immer eine neue Ausdehnung, wenn ich das Pyrometer sammt der Kohle in die freie Luft stellte: sie betrugen bey der Tannenkohle 62 Grade des Pyrometers. Die Ursache dieser Ausdehnung schreibe ich der Feuchtigkeit zu, welche die Kohle begierig aus der Luft einschluckt, zum Theil auch dem Kohlenstoffe, welchen sich die Kohle, so wie gebrannter Kalk, aus der Atmosphäre zu ersetzen sucht.

20.

Ueberhaupt wird man bey Versuchen dieser Art hundert Nebenumstände bemerken, welche zu neuen Wahrheiten führen; und so werden physikalische Instrumente erst recht nützlich, welche gar oft

oft nur da zu seyn scheinen, mehr den Vorwitz, als die Wißbegierde junger Leute, zu befriedigen. Ein schöner Vorrath von Maschinen legt dem Lehrer immer eine doppelte Pflicht auf, die Pflicht, bereits entdeckte Eigenschaften der Körper und entschiedene Geseze der Natur durch öffentliche Versuche faßlich zu machen, und dann durch mannigfaltige Abänderung der Versuche im Stillen, und in seinem Kabinet, der Natur neue Wahrheiten und Geheimnisse abzulocken.
