Thermometer.

Thermoskop, Wärmemesser; *Thermoscopium, Thermometrum;* Thermomètre; *Thermometer.*

Was ein Thermometer (von θερμὸς warm und μετρέω ich messe oder σκοπέω ich sehe) dem gewöhnlichen Sprachgebrauche nach sey und wozu man dasselbe meistens anwende, bedarf keiner Erklärung; interessanter ist es dagegen, zu wissen, durch wie vielfache Abstufungen dasselbe zu seiner gegenwärtigen Vollendung gelangt ist. Viele wirkliche oder vermeintliche Verbesserungen werden aber besser im Verlaufe der Untersuchung erwähnt, so dafs also vorläufig nur von den frühesten Einrichtungen die Rede seyn kann.

1) Man schreibt die Erfindung desselben meistens nach Dalencé[1] dem Cornelius Drebbel, einem wegen verschiedener mechanischer Erfindungen berühmten Landmanne zu Alkmaar in Nordholland, zu, durch den es in der letzten Hälfte des vorletzten Jahrhunderts in Holland und England bekannt wurde. Dem Engländer Robert Fludd (oder de Fluctibus) zu Oxford (geb. um 1584) hat man die Erfindung desselben gleichfalls zueignen wollen; allein es ist schwer zu entziffern, was die Ausdrücke in seinen vielen mystischen Schriften eigentlich bezeichnen sollen. Der Arzt Sanctorius[2] erwähnt selbst ein von ihm um 1600 erfundenes Instrument, womit er die Wärme des menschlichen Körpers zu messen im

1 Traité des baromètres, thermomètres et notiomètres. Amst. 1688. 8.

2 Comm. in Galeni Art. Med. Lugd. 1631. 4. und Comm. in Avicennae Canon. Venet. 1646. 4.

Stande sey, und daher haben Poleni[1], Malpighi[2] und Borelli[3] ihm die Erfindung zugeschrieben, auch meint Musschenbroek[4], das Instrument desselben sey auswärts nicht bekannt geworden und es lasse sich daher die frühe Verbreitung des Thermometers durch England und Holland aus dieser Quelle nicht ableiten. Dafs Sanctorius bei der Menge und Ausführlichkeit seiner Schriften das Thermometer, wenn er dieses Werkzeug mit seiner eigenthümlichen Construction wirklich erfunden und angewandt hätte, nicht genauer beschrieben haben sollte, ist auf keine Weise glaublich, und ebenso halte ich es für unwahrscheinlich, dafs Galilei der Erfinder desselben seyn soll, obgleich Viviani und Castelli dieses behaupten, indem sie die Erfindung desselben in das Jahr 1597 setzen, wie neuerdings Libri[5] hervorgehoben hat; denn sonst würden die Mitglieder der Akademie del Cimento, die man für die Erfinder des eigentlichen Thermometers halten mufs, dieses erwähnt haben. Das Instrument, welches Cornelius Drebbel erfand und worauf ihn wahrscheinlich sein vorzügliches mechanisches Talent zufällig um das Jahr 1638 führte, war ein *Manometer*, und zwar nach Varignon, indem es die Dichtigkeit der eingeschlossenen Luft zeigte und daher auch die Ausdehnung derselben durch Wärme angeben mufste.

2) Das Drebbel'sche Thermometer in seiner einfachen, von Dalencé beschriebenen Gestalt besteht aus einer Kugel A mit einer engen Röhre, deren Mündung in ein Gefäfs B mit einer sehr verdünnten Auflösung von Kupfer in Scheidewasser vertical herabgesenkt ist. Die Luft wird in der Kugel durch Wärme so weit ausgedehnt, dafs für mittlere Temperatur die Flüssigkeit ungefähr bis H aufsteigt und dann bei gröfserer Wärme sinkt, bei geringerer steigt, wobei diese Gröfsen an einer willkürlichen Scale gemessen werden. Verschiedene Abänderungen dieser Construction liegen sehr nahe. Wolf[6] unter Andern schlägt vor, statt des unteren Gefäfses gleichfalls eine

Fig. 69.

1 Institut. philos. exper.
2 Opp. posth. p. 30.
3 De motu animal. P. II. prop. 175.
4 Introd. ad phil. nat. T. II. §. 1565.
5 Ann. de Chim. et Phys. T. XL. p. 355.
6 Nützliche Versuche Th. II. Cap. V. §. 56.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kugel C zu wählen, wodurch der Apparat zum Aufhängen bequemer wird. BECHER[1] liefs die untere Kugel C weg, bog den Schenkel der beträchtlich weiten Röhre in die Höhe, füllte sie mit Quecksilber und senkte einen Körper hinein, welcher auf dem Metalle schwimmend vermittelst eines über eine Rolle gehenden Fadens ein Gegengewicht bald aufwärts zog, bald herabsinken liefs, je nachdem die Luft in der oberen Kugel mehr oder weniger ausgedehnt war. Das Gewicht sollte eine Uhr aufziehn und in steter Bewegung erhalten, weswegen er den Apparat ein *perpetuum mobile physico-mechanicum* nannte. Von dieser Art mufs auch nach KAESTNER's[2] Ansicht die Vorrichtung gewesen seyn, die BECHER schon 1656 verfertigte, wobei ein auf Glas gemaltes Bild Kaiser FERDINAND's III. sich im Sonnenscheine frei zeigte, bei trübem Wetter aber durch eine Wolke bedeckt wurde. Fig. 70.

3) Das Thermometer der Florentiner Akademie oder der *Accademia del Cimento*[3] erhielt zuerst diejenige Gestalt, welche man seitdem beibehalten hat. Es bestand aus einer Kugel B mit einer sogenannten Thermometerröhre, war mit Weingeist gefüllt und auf einer Scale befestigt, welche in Folge der Ausdehnung oder Zusammenziehung dieser Flüssigkeit die Vermehrung oder Verminderung der Wärme anzeigte. Insofern hiermit also die wesentliche, noch jetzt bestehende Construction der Thermometer gegeben ist, wird es angemessen seyn, die einzelnen Theile dieses wichtigen Apparates mit Rücksicht auf das Geschichtliche der nach und nach hinzugekommenen Bestimmungen und Verbesserungen näher zu untersuchen. Fig. 71.

A. Flüssigkeiten im Thermometer.

4) Mit Uebergehung der Metallthermometer, von denen später die Rede seyn wird, wählt man zur thermometrischen Substanz irgend eine Flüssigkeit, weil deren Beschaffenheit

---

1 De nova temporis dimetiendi ratione et accurata horologiorum constructione. Lond. 1680. 4.

2 Anfangsgründe d. angewandten Mathem. 4te Aufl. Gött. 1792. Aerometrie §. 85. Vergl. LEUPOLD Theatrum Aerostat. Tab. X.

3 Tentamina Ac. del Cimento ed. MUSSCHENBROEK. P. I. p. 2.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gestattet, eine grofse Quantität derselben in eine Kugel einzuschliefsen und die Ausdehnung durch den Zuwachs oder die Abnahme des dünnen Fadens im engen Rohre bequemer zu messen. Allgemein geht man von dem Grundsatze aus, dafs die Vermehrung des Volumens des sich ausdehnenden Körpers dem Zuwachse der Wärme proportional sey. Dieser Satz ist blofs hypothetisch und wird dieses so lange seyn, als wir das Verhältnifs der Wärmequantität und ihrer Repulsion gegen die Molecüle der Körper noch nicht kennen, welches man bisher vergebens zu erforschen suchte[1]. Wir finden jedoch bei den verschiedensten Körpern und sogar von ungleichem Aggregationszustande, also bei festen, flüssigen und expansibeln, innerhalb gewisser Grenzen, ein gleiches Verhältnifs zwischen dem Zuwachse ihres Volumens und der Vermehrung der Wärmemenge, so dafs sie alle, wenn auch in etwas verschiedenem Grade, zu thermometrischen Mefswerkzeugen dienen könnten, und dürfen aus dieser Uebereinstimmung schliefsen, dafs, mindestens innerhalb der Grenzen dieser letzteren, die Vergröfserungen des Volumens der thermoskopischen Körper den Vermehrungen der Wärme direct proportional und somit unsere Thermometer nicht blofs Thermoskope, sondern eigentliche Wärmemesser sind. Von der andern Seite belehrt uns aber die Erfahrung, dafs die Verhältnisse der Volumensvermehrungen zu den Zunahmen der Wärme bei verschiedenen Aggregatzuständen der nämlichen Körper sehr ungleich sind, denn anders sind für gleiche Mengen von Thermometergraden die Zunahmen des Volumens z. B. bei flüssigem und geschmolzenem Blei, bei tropfbar-flüssigem und in Dampf verwandeltem Weingeiste, und viele Physiker nehmen daher an, dafs die Gesetze der regelmäfsigen Zunahme oder Abnahme des Volumens für gleiche Wärmegrade beim Uebergange zu einem andern Aggregatzustande und in der Nähe dieser Veränderung aufhören. Ein Grund für diese Ansicht läfst sich

---

1 Vergl. Art. *Gas*, *Wesen der Gasform*. Bd. IV. S. 1048. Die verschiedenen gehaltreichen Untersuchungen über das Verhältnifs der Volumensvermehrung der Körper zu den Incrementen der Wärme, namentlich von Schitko, verspare ich auf den Art. *Wärme*, und bleibe hier der bisher herrschenden Ansicht um so mehr getreu, als sonst die Thermometrie im Ganzen eine wesentliche Veränderung erleiden würde.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

aus der Wahrscheinlichkeit hernehmen, dafs solche Uebergänge nicht plötzlich statt finden, ja bei vielen Körpern sogar eine Menge von Abstufungen durchlaufen; aufserdem aber zeigt die Erfahrung ein auffallend starkes Zusammenziehn des Quecksilbers beim Festwerden desselben und eine beträchtliche Ausdehnung des Wassers bei seiner Verwandlung in Eis, anderer Beispiele nicht zu gedenken. Ganz dieser Ansicht zuwider und daher im hohen Grade auffallend war dagegen die Erfahrung, welche aufser Anderen ich selbst zu wiederholten Malen beim Schwefeläther gemacht habe, dessen Siedepunct genau bei 35° C. lag, und dennoch liefs er sich in dem thermometerähnlichen Apparate sogar bis 50° C. erwärmen, ohne von dem regelmäfsigen Gesetze der Ausdehnung abzuweichen[1]. Das hieraus hervorgehende Resultat, dafs die tropfbaren Flüssigkeiten beim Uebergange aus dem tropfbar-flüssigen in den expansibeln Zustand vom regelmäfsigen Gesetze ihrer Ausdehnung durch Wärme so lange nicht abweichen, als ihr Aggregatzustand nicht wirklich verändert ist, möchte ich für allgemein halten, denn auch beim Wasser schien sich etwas Aehnliches zu zeigen und sowohl beim Schwefelkohlenstoff als auch beim absoluten Alkohol ist die Sache in Gemäfsheit absichtlich angestellter Versuche[2] aufser Streit. Mit weit geringerer Sicherheit läfst sich jener Satz für den Uebergang aus dem tropfbar-flüssigen in den festen Zustand aufstellen; denn wenn man gleich in Beziehung auf die beobachtete sehr grofse Zusammenziehung des Quecksilbers sagen könnte, dafs diese erst im Momente der Erstarrung plötzlich und ohne einen allmäligen Uebergang eintrete, so zeigt doch das Wasser ein hiervon abweichendes Verhalten in seiner allmäligen Volumens-Vermehrung vor dem Gefrieren und es können daher auch bei andern Flüssigkeiten ähnliche Erscheinungen vorkommen.

Läfst sich gleich hierauf kein absolutes Argument gründen, so zeigen doch alle feste und alle flüssige Körper bei der Zunahme der Wärme eine in mehr als einfachem Verhält-

---

1 S. meine Abhandl. über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten. In Mém. présentés à l'Acad. Imp. des Sc. de Petersb. T. I. p. 93.

2 S. meine Abhandlung Sur la Dilatation de l'Alcool absolu. In Mém. de l'Acad. de St. Petersb. 1834.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nisse wachsende Vermehrung ihres Volumens, wie man sowohl aus ihrer Vergleichung unter einander, als auch mit der atmosphärischen Luft oder den sogenannten permanenten Gasarten wahrnimmt, und da diese expansibeln Flüssigkeiten nach überwiegenden Wahrscheinlichkeitsgründen durch keine im möglichen Bereiche der Erfahrung liegenden Veränderungen der Wärme einem Wechsel ihres Aggregatzustandes unterliegen und somit ein constantes Verhältnifs des Quantitativen der in ihnen enthaltenen Molecüle und des diese umgebenden, die Expansion bewirkenden Wärmestoffes vorhanden zu seyn scheint, so folgt hieraus, dafs die Luft oder die permanenten Gasarten die einzigen absolut genauen thermometrischen Flüssigkeiten sind und dafs alle übrige Thermometer auf das Luftthermometer reducirt werden müssen. Erst in den neuesten Zeiten ist dieser Satz mit Bestimmtheit anerkannt worden, aber auch schon ältere Physiker haben die Wahrheit desselben eingesehn, wie namentlich Lambert[1], welcher hierauf die Construction des *Luftthermometers* gründete, und Daniel Bernoulli[2].

5) Man hält zuweilen das von C. Drebbel construirte Thermometer für ein Luftthermometer; das war es jedoch nicht, denn die Luft in der Kugel wurde stets mit Dämpfen der sperrenden Flüssigkeit erfüllt, und da diese bekanntlich ein anderes Gesetz der Ausdehnung befolgen[3], als die trockne Luft, wenn bei verschiedenen Wärmegraden hinlängliche Flüssigkeit zur Bildung neuen Dampfes vorhanden ist, so kann hierbei die verlangte regelmäfsige Ausdehnung der Luft, als das geforderte Mafs der Wärme, nicht statt finden. Schon Halley[4] schlug im Jahre 1680 für das ihm bekannt gewordene Florentiner Thermometer die Luft statt des Weingeistes zu wählen vor, weil er die Regelmäfsigkeit der Ausdehnung des letzteren in Zweifel zog, das eigentliche, zuerst construirte Luftthermometer ist aber von Amontons[5]. Nach seiner Angabe
Fig. besteht dasselbe aus einer sehr langen engen Glasröhre AB,
72. welche unten heberförmig gebogen und mit einer grofsen Ku-

1 Abhandl. d. Churbai. Ak. d. Wiss. T. III. P. II. p. 89.
2 Hydrodyn. Sect. X. §. 8.
3 S. *Dampf*. Bd. II. S. 281. Vergl. G. XV. 39.
4 Philos. Trans. N. 197. p. 650.
5 Mém. de l'Acad. de Par. 1702. p. 1.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gel D versehn ist, worin sich Luft befindet. Die Menge der letzteren und die Verhältnisse des Rauminhalts der Kugel und der Röhre sollen so seyn, dafs im siedenden Wasser die Länge der Quecksilbersäule vom Niveau EC bis H oder HE 73 Par. Zoll beträgt, wovon 28 Zoll auf die Barometerhöhe und 45 Zoll auf die Ausdehnung der Luft bis zur Siedehitze kommen. Mit der Abnahme der Temperatur unter die Siedehitze sank das Quecksilber, und um seinen Stand zu messen, mufste man den jedesmaligen Barometerstand abziehn oder die gemessenen Zolle nach dem Unterschiede der Barometerhöhe und der Normalgröfse derselben von 28 Zoll corrigiren. Auf diese Weise fand er die Wärme in den Kellern unter der Sternwarte zu Paris = 54 Zoll und die des gefrierenden Wassers = 51,5 Zoll[1]. Dieses Instrument, dessen unbehülfliche Gröfse und ausnehmend schwierige Construction sogleich in die Augen fällt, wobei der vom Erfinder nicht gekannte Umstand nicht zu übersehn ist, dafs die eingeschlossene Luft nothwendig trokken seyn mufs, sollte blofs ein *Normalthermometer* seyn, um die Florentiner danach zu graduiren, wobei Amontons glaubte, die constante Wärme des siedenden Wassers aufgefunden zu haben, obgleich man dieses Gesetz schon weit früher kannte[2]. Aufserdem glaubte er, dafs die Erhöhung der Elasticität durch Wärme bei der Luft mit ihrer Zusammendrückung wachse[3], wonach also die Regelmäfsigkeit der thermometrischen Wirkung wegen Ungleichheit des äufsern Luftdruckes von selbst hätte aufhören müssen.

Das beschriebene Thermometer unterliegt hauptsächlich dem Fehler, dafs es eigentlich nur ein *Manometer* ist und dafs seine Veränderungen vom gemeinschaftlichen Einflusse der Wärme und des äufseren Luftdruckes abhängen, wobei man sich wundern mufs, dafs sein Erfinder beim Nachdenken über dessen Construction nicht sofort auf das nahe liegende Mittel verfiel, den veränderlichen Druck der atmosphärischen Luft auszuschliefsen, da dieses so leicht durch das Zuschmelzen des langen Rohres an seinem Ende bewerkstelligt wird. Ein solches Luftthermometer brachte Hermann[4] in Vorschlag, um

1 Vergl. Comment. Soc. Bonon. T. II. P. I. p. 303.
2 Vergl. *Wärme. Sieden.*
3 Mém. de Par. 1703. p. 260.
4 Phoronomia Lib. II. Prop. 85. Schol. p. 377.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die mittlere Geschwindigkeit der Theilchen zu finden, in deren Bewegung die Cartesianer das Wesen der Wärme und Elasticität setzten. Zu diesem Ende verschloſs er das weite Gefäſs H, welches mit der Barometerröhre AB verbunden war, wonach dann die unveränderliche Menge der abgesperrten Luft in Folge ihrer Ausdehnung durch Wärme die zusammendrükkende Quecksilbersäule verlängern und nach dem Erkalten wieder sinken lassen muſste. Es ist merkwürdig, daſs die Gelehrten bei der Construction der Luftthermometer da Fehler suchen, wo sie gar nicht vorhanden sind, und den eigentlichen Mangel übersehn. So glaubte Amontons, es entstehe eine Unrichtigkeit durch die Verlängerung der Quecksilbersäule in Folge des Einflusses der Wärme; allein wenn gewisse feste Puncte einmal richtig bestimmt waren, so war hierin diese Correction schon enthalten, vorausgesetzt, daſs das zur Controle gebrauchte Barometer auf die bei der Bestimmung jener Puncte statt gefundene Wärme reducirt wurde und daſs die ungleiche Ausdehnung des Quecksilbers in höherer Temperatur als unbedeutende Gröſse und auf jeden Fall für die mit diesem Apparate zu messenden Temperaturen vernachlässigt werden kann. Gehler[1] meint, das Gefäſs des Thermometers müsse sehr groſs seyn, damit sich das Volumen der eingeschlossenen Luft nur wenig ändere und man die Zunahme der Länge der Quecksilbersäule der Vermehrung der Wärme proportional setzen könne; allein selbst dieses genügt zur völligen Genauigkeit nicht, sondern giebt nur annähernd richtige Werthe; denn es fällt in die Augen, daſs die Volumensvermehrung der Luft im Gefäſse immer dieselbe seyn muſs, wenn die Quecksilbersäule im engeren Rohre um eine gewisse Gröſse wachsen soll, und daſs daher die Grade vom tiefsten bis zum höchsten in dem Maſse kleiner werden müssen, als die wachsende Quecksilbersäule die eingeschlossene Luft stärker zusammendrückt. Daniel Bernoulli[2] faſste diesen Umstand besonders ins Auge, und indem er einsah, daſs das Niveau des Quecksilbers EF sich nothwendig verändern müsse, schlug er vor, den Punct M zu bestimmen, welchen das lothrecht ge-

Fig. 79.

1 Alte Ausg. Th. IV. S. 356.

2 Vergl. Karsten Lehrbegriff d. ges. Math. Th. III. Aerost. §. 107.

haltene Thermometer im siedenden Wasser erreiche, und dann dasselbe so einzurichten, dafs man es in die schräge Lage a b bringen könne. Fiele bei verminderter Temperatur die Quecksilbersäule von dem Puncte M bei der Siedhitze bis G, so müfste man die Röhre so lange neigen, bis das Quecksilber von G bis g steigt, indem Eg = EM, mithin das Volumen der Luft im Gefäfse EHF unveränderlich ist, die bei der Siedehitze des Wassers aber gefundene Wärme sich zu der gemessenen verhält wie ME:gh. Nach diesem Satze lassen sich dann verschiedene Scalen herstellen, je nachdem man andere Bestimmungen dabei zum Grunde legt; auch hat Segner[1] gezeigt, wie man, ohne das Thermometer jederzeit in die geneigte Lage zu bringen, die Gröfse GE auf die Gröfse gh durch Rechnung reduciren könne. Lambert[2] kehrte wieder zu der von Amontons vorgeschlagenen Einrichtung zurück, theilte aber die Scale nicht in Zolle, sondern in Grade, deren jeder 0,001 des Volumens der in der Kugel eingeschlossenen Luft betragen sollte. Zu diesem Ende bestimmte er die Gröfse der Räume durch Anfüllen mit sorgfältig abgewogenen Mengen Quecksilber und wählte genau calibrirte Röhren. Indem er dann ferner die Wirkung des Luftdruckes und der durch Wärme veränderlichen Höhe der Quecksilbersäule berücksichtigte, fand er, dafs ein Volumen Luft, welches im zergehenden Eise 1000 betrug, durch die Wärme des siedenden Wassers bis 1375 wuchs, wofür er hernach in runder Zahl 1370 setzte. Nach dieser merkwürdig genauen Bestimmung der Ausdehnung trockner Luft gab er seiner Scale für die Wärme des schmelzenden Eises 1000 und für die des siedenden Wassers 1370 Grade, welche nach seiner Ansicht das Verhältnifs der Wärmemengen genau angeben sollen, sofern die Vermehrung der Wärme der Zunahme des Volumens bei der Luft direct proportional ist, ein auch später beibehaltener und von La Place zur Bestimmung des *absoluten Nullpunctes* benutzter Satz. Ein solches Thermometer sollte eigentlich nur ein *Normalthermometer* seyn und wäre dieses auch wirklich, wenn man die gefundene Gröfse der Ausdehnung der Luft um 0,370 ihres Volumens zwischen den beiden

1 Progr. de aequandis thermom. aëreis. Gott. 1739. 4.
2 Pyrometrie. Berl. 1779. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

festen Puncten des Thermometers für absolut genau ansehn könnte; da aber dieses durch die neuesten Versuche Rudberg's zweifelhaft gemacht worden ist[1], so würden alle Thermometergrade dadurch eine, wiewohl nur sehr geringe, Abänderung erleiden, wenn sie ursprünglich nach diesem Principe eingerichtet wären. Gehler zieht das Princip überhaupt in Zweifel, weil es sich auf das Mariotte'sche Gesetz stütze, welches unmöglich absolut richtig seyn könne, und nach dem aufgestellten Satze das Volumen der Luft beim absoluten Nullpuncte der Wärme = 0 seyn müsse, was doch nicht statt finden könne; auch scheinen ihm die Versuche von Roy[2] und Lutz[3] die der Wärme stets genau gleiche Ausdehnung der Luft zweifelhaft zu machen. Wenn aber auch dieses Instrument für den Bereich unserer Erfahrungen wirkliche Grade der Wärme zeigte, so würde doch die nothwendige Bedingung, stets gleich feuchte und gleich gemischte Luft in das Gefäfs zu bringen und den Einflufs des Luftdruckes und der Ausdehnung des Quecksilbers genau zu bestimmen, unüberwindliche Schwierigkeiten entgegensetzen, zu geschweigen, dafs die täglichen Beobachtungen desselben mit vielen Unbequemlichkeiten verbunden seyn müfsten. Gehler hält es daher für gerathener, wieder zum Manometer zurückzukehren und den Einflufs des veränderlichen Luftdruckes bei diesem zu corrigiren[4].

In diesem letzteren Puncte wird ihm schwerlich jemand nach den jetzt sehr erweiterten und berichtigten Ansichten beistimmen, vielmehr ist wohl gewifs, dafs Lambert unter Allen, welche sich mit der Construction der Thermometer beschäftigt hatten, allein den richtigen Weg nicht verfehlte. Wäre es ihm gelungen, die Gröfse der Ausdehnung der Luft oder irgend einer permanenten Gasart durch Wärme mit absoluter Schärfe zu finden, so wären seine Grade eigentliche

---

1 S. Art. *Wärme. Ausdehnung durch dieselbe.*

2 Philos. Trans. 1777. N. 34.

3 Vollständige Beschreibung von Barometern. Nürnb. u. Leipz. 1784. 8. Anh. S. 45.

4 Der Einwurf, welcher aus der beschränkten Gültigkeit des Mariotte'schen Gesetzes hergenommen ist, fällt übrigens weg, da es in dem hier erforderlichen Bereiche unbedenklich als richtig gelten kann.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Mafse der Wärme und das so graduirte Thermometer könnte als allein richtiger Wärmemesser gelten, ungeachtet des von Gehler gemachten Einwurfes, dafs beim absoluten Nullpuncte der Wärme das Volumen der Luft = 0 werden müfste. Verlangte man nämlich ganz einfach ein richtige Grade der Wärme zeigendes Thermometer, so ist die Luft oder, wenn man Absorption des Sauerstoffgases fürchtet, Stickgas unstreitig die hierzu geeignetste Substanz und die Aufgabe, sie gehörig ausgetrocknet in die Kugel zu bringen, nicht einmal sehr schwierig. Man darf zu diesem Ende nur die verschlossene Kugel mit ihrem Rohre gehörig biegen, dann mit ausgetrocknetem Quecksilber füllen, die anzuwendende trockne Luft in gehöriger Menge hineinbringen, das obere Ende der Röhre in eine feine Spitze ausziehn, die Kugel erwärmen und mit Rücksicht darauf, dafs nach dem Zuschmelzen der Röhre der äufsere Luftdruck wegfällt, das Quecksilber bis in die Spitze treiben, auch allenfalls eine erforderliche Menge desselben auslaufen lassen, die Spitze mit Siegellack verschliefsen und endlich nach gehörigem Probiren die Röhre an der geeigneten Stelle mit der Blaslampe zuschmelzen. Werden alsdann bei diesem Apparate, wobei man etwa in die Röhre eingetretene Lufttheilchen leicht durch Schütteln wieder in das Gefäfs bringen kann, die festen Puncte genau bestimmt und wird der Einflufs der durch die wachsende Quecksilbersäule statt findenden Zusammendrückung des eingeschlossenen Luftvolumens gehörig corrigirt, so hat man allerdings ein sehr richtiges Thermometer, seinem Gebrauche aber stehn zwei wesentliche Hindernisse entgegen. Zuerst mufs dasselbe nothwendig stets genau lothrecht hängen, weil sonst die Grade desselben im Verhältnisse der Secanten des Neigungswinkels gegen die Verticale wachsen, was jedoch leicht durch ein Senkel zu vermeiden wäre. Ein zweites weit gröfseres und gar nicht ganz zu beseitigendes Hindernifs liegt aber in der ausnehmenden Federkraft der Luft, welcher die Reibung des Quecksilbers in der Röhre entgegenwirkt, so dafs man ungeachtet einer Erschütterung des Instrumentes doch nie genau die gemessenen Grade finden und die eigentlichen Bestimmungen der Wärme erhalten würde. Bei einem auf diese Weise construirten Thermometer habe ich diese Wahrheit mehr als genügend durch die Erfahrung bestätigt gefunden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

6) Gay-Lussac[1] beschreibt ein Luftthermometer, welches dazu dienen soll, sehr hohe Grade der Kälte zu messen, z. B. wenn man den Kältegrad wissen will, den stark verdampfende Flüssigkeiten, namentlich schwefelige Säure, erzeugen, womit etwas die Kugel umgebendes Musselin oder ein auf sie gesteckter Schwamm getränkt ist. Dasselbe besteht aus einer Kugel B an einer wohl calibrirten Glasröhre T, welche letztere wenigstens halb so viel Rauminhalt hat, als die erstere. Vor dem Gebrauche mufs gesorgt werden, dafs der Apparat inwendig keine Feuchtigkeit enthalte, zu welchem Ende man oben eine Röhre mit Chlorcalcium gefüllt aufsteckt, das Ganze unter die Luftpumpe bringt und etliche Male exantlirt. In die Röhre wird dann ein etwa zwei Centimeter langer Cylinder von Quecksilber gebracht, der sogenannte *Zeiger* oder *Index*, welchen man vermittelst einer doppelten zusammengedrehten Claviersaite F an jeder willkürlichen Stelle der Röhre zum Stillstande bringen kann[2]. Vor dem Gebrauche bringt man den Index in den oberen Theil der Röhre, benetzt die Kugel mit der verdampfenden Flüssigkeit, hält den Apparat so weit geneigt, dafs der Index eben hinabgleiten kann, und wenn er zum Stillstande gekommen ist, bringt man denselben mittelst des Drahtes auf den tiefsten Punct, damit alle durch ihn abgeschnittene Luft gleichmäfsig erkaltet sey. Oft ist der untere Theil der Röhre mit Dunst beschlagen oder mit Eis überzogen, so dafs man das Ende des Index nicht sehn kann. In diesem Falle genügt es, den Draht mit einem Sperrhaken zu versehn, so dafs er nur bis zu einer gewissen Tiefe eindringen und den Index nur bis zu dieser bringen kann, aufserdem mufs das Herabgleiten des Index langsam bewerkstelligt und durch einige leichte Erschütterungen der Röhre befördert werden, damit er genau an die richtige Stelle gelange. Die Kugel kann auch mit einem kurzen sehr engen Haarröhrchen G unmittelbar verbunden und an dieses erst die graduirte weitere Röhre angebracht werden, da-

Fig. 7/2.

---

1 Ann. Chim. Phys. T. LI. p. 435. Poggendorff Ann. XXVII. 681.

2 Der Eisendraht müfste vorher geglüht seyn, weil er sonst leicht ritzt und die Röhre springen macht. Ein dünner Grashalm würde auf jeden Fall geeigneter seyn.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit es für den Index unmöglich werde, tiefer als bis an das Haarröhrchen herabzugleiten, was insbesondere für den Fall sehr nützlich ist, wenn das Quecksilber gefrieren sollte. Nach Erreichung der gröfsten Kälte wird das untere Ende des Index abgelesen, oder wenn man dieses nicht sehn kann und der Index eine bestimmte Länge in Theilen der Scale hat, so kann man auch den Stand des oberen Endes ablesen und daraus den des unteren finden. Alsdann läfst man den Apparat in einer mittleren gegebenen Temperatur erkalten, was am besten durch Eintauchen in Wasser von bestimmter Wärme geschieht. Gesetzt der Index hätte auf 208 gestanden und sey in Wasser von 13° Wärme bei 274,7 Theilstrichen stehn geblieben, welcher Punct gleichfalls durch leichte Erschütterungen des Röhrchens genau bestimmt werden mufs; nimmt man nun 267 für das Luftvolumen der Kugel bis an den Index bei 0° C., so wird die Temperatur des Wassers bei diesem Thermometer durch $267 + 13 = 280$ ausgedrückt, und da die Temperaturen dem Volumen der Luft proportional sind, so hat man die Proportion

$$274{,}7 : 208 = 280 : x, \text{ also } x = 212.$$

Die beobachtete Kälte ist daher 212°, und um sie in Centesimalgraden auszudrücken, darf man nur 212 von 267 abziehn, welches 55° giebt. Es scheint mir übrigens, als ob dieses Thermometer bei schwieriger Behandlung dennoch nicht hinlängliche Sicherheit gewähre, denn es unterliegt auf jeden Fall dem Fehler, dafs die Luft durch Adhäsion des Quecksilbers an den Röhrenwandungen und dessen Gewicht eine ungleiche Zusammendrückung erleiden könne, und wenn das Quecksilber gefriert, so ist es entweder unbeweglich oder schliefst wegen starker Zusammenziehung nicht luftdicht; bis zum Gefrierpuncte des Quecksilbers sind aber die höheren Kältegrade mit gewöhnlichen feinen Thermometern ohne grofse Schwierigkeiten leicht mefsbar, für noch tiefere Temperaturen würden selbst vorzüglich gute feine Weingeistthermometer, noch besser aber Thermometer mit Schwefelkohlenstoff gefüllt, leichter zu behandeln seyn und sicherere Resultate geben.

7) Weit zweckmäfsiger hat Mitscherlich[1] ein Luftther-

1 Poggendorff Ann. XXIX. 203. Geiger's Ann. d. Pharmac. Th. XII. Hft. 2.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mometer angewandt, um höhere, über dem Siedepuncte des Quecksilbers liegende Grade der Hitze zu messen, denn es hält schwer, hierfür ein geeignetes Mittel zu finden, und die Luft wird in dieser Beziehung schwerlich von irgend einem andern Körper übertroffen. Da aber der Apparat blofs für einen speciellen Zweck, nämlich die Bestimmung des specifischen Gewichtes der Gasarten im Verhältnifs zu ihren chemischen Proportionen, construirt war und in dieser seiner Form nicht wohl als ein allgemein anwendbarer physikalischer Apparat gelten kann, seine Beschreibung aufserdem der Deutlichkeit wegen viel Raum erfordern würde, so begnüge ich mich, die Idee im Allgemeinen zu bezeichnen. Derselbe besteht aus einer etwas weiten Glasröhre mit einem angeschmolzenen engen Thermometerröhrchen, welches in eine sehr feine Spitze ausgezogen wird. Kennt man den Inhalt dieses Apparates und ist die Luft in demselben durch Hitze, die jedoch nicht so stark seyn darf, um das Glas zu erweichen, ausgedehnt, wird dann die untere Spitze im Maximum der untersuchten Temperatur zugeschmolzen, was unter verschiedenen Bedingungen mit ungleichen Schwierigkeiten verbunden seyn dürfte, so giebt die bekannte Ausdehnung der Luft, corrigirt für die gleichzeitige Ausdehnung des Glases und den etwa wechselnden Barometerstand, ein sehr zuverlässiges Mafs der Wärme. Die Messung der statt gefundenen Ausdehnung läfst sich leicht mit grofser Genauigkeit bewerkstelligen. Man darf zu diesem Zweck nur die feine Spitze, deren Inhalt als verschwindende Gröfse vernachlässigt werden kann, unter Quecksilber abbrechen, so wird das Quecksilber eindringen und der Theil der Röhre, welchen dasselbe einnimmt, giebt dann das Mafs der Ausdehnung derselben und somit die Gröfse der statt gefundenen Hitze. Dafs diese Messungen mit der erforderlichen Schärfe geschehn müssen, wozu jedoch die geeigneten Vorrichtungen aus anderen bekannten Apparaten leicht zu entnehmen sind, bedarf keiner besonderen Erwähnung.

8) Noch ein Luftthermometer, dessen sich Haycraft[1] bei seinen Untersuchungen über die specifische Wärme der Gasarten bediente und welches nur ein abgeändertes *Differentialthermometer* nach Leslie ist, unterliegt nach dem ei-

1 Edinb. Philos. Trans. T. X. p. 195. G. LXXVI. 311.

genen Geständnifs des Erfinders Veränderungen und kann daher nicht unbedingt empfohlen werden[1].

9) Das berühmte Thermometer der Florentiner Akademie war ein *Weingeistthermometer* und von dieser Zeit an hat man den Weingeist als thermoskopische Flüssigkeit beibehalten. So waren auch Reaumur's Normalthermometer und die ersten von Fahrenheit verfertigten, die wegen ihrer Uebereinstimmung so grofses Aufsehn erregten, mit Weingeist gefüllt und die Anwendung des Quecksilbers durch Fahrenheit fällt nach Musschenbroek erst in das Jahr 1709 oder nach der richtiger scheinenden Vermuthung Gehler's in das Jahr 1714. Aber auch nach dieser Zeit galt der Weingeist für die vorzüglichste thermoskopische Substanz, zum Theil wegen der sehr umfassenden und schätzbaren Untersuchungen, wodurch Reaumur die absolute Ausdehnung desselben bei zunehmender Wärme aufzufinden sich bemüht hatte und welche, namentlich in Frankreich und Deutschland, überschätzt wurden, ungeachtet sie einer für die damaligen Zeiten allzuschwierigen Aufgabe zugehörten und somit keine genügenden Resultate liefern konnten. Insbesondere hat sich Micheli Ducrest[2] sehr entschieden über die Vorzüge des Weingeistes ausgesprochen, die jedoch, wenn man den unbedeutenden Umstand des geringeren Preises übersieht, in nichts Anderem bestehn, als in seiner stärkeren Ausdehnung[3], die man für die Wärmevermehrung vom Gefrierpuncte bis zum Siedepuncte = 0,121 seines Volumens annahm, statt dafs sie für das Quecksilber nur 0,015 betragen sollte, eine Bestimmung, die nach den neuesten Untersuchungen über die Schwierigkeit, die Reinheit des gebrauchten Weingeistes zu ermitteln und die von letzterer abhängende Gröfse seiner Ausdehnung aufzufinden, gar nicht genau seyn konnte. Es ist indefs sicher, dafs die auf jeden Fall ungleich gröfsere Ausdehnung des Weingeistes ihm einen Vorzug vor dem Quecksilber giebt, aber auch den einzigen; denn das schärfere Ablesen der Grade, was man gleich-

---

1 Ueber Pouillet's Luftpyrometer, welches auch als Thermometer dient, wird später geredet werden.

2 Description de la Méthode d'un thermomètre universel. Par. 1742. 8.

3 S. Landriani in Brugnatelli Giorn. 1818. p. 338.

falls angeführt hat, findet höchstens nur beim gefärbten statt, und diese Färbung ist dann in anderer Hinsicht nachtheilig; das leichtere Füllen der Röhrchen mit dieser Flüssigkeit kommt aber gar nicht in Betrachtung. Inzwischen konnte bis auf die neuesten Zeiten herab der Weingeist durch das Quecksilber nicht ganz verdrängt werden, weil letzteres bei der hohen natürlichen Kälte mancher Gegenden gefriert und daher keine weitere Messung tieferer Temperaturen gestattet, wozu dann noch der Umstand kommt, dafs der Druck einer Quecksilbersäule von 20 bis 24 Fufs Länge, die man neuerdings den in die Erde gegrabenen Thermometern gegeben hat, ohne übergrofse Dicke der Gefäfse das Glas zersprengen und dadurch die Herstellung solcher Apparate unmöglich machen würde.

10) Die Hauptbedingung, worauf der Vorzug einer thermoskopischen Substanz beruht, nämlich die Regelmäfsigkeit oder Gleichmäfsigkeit der Ausdehnung durch zunehmende Wärme, wurde von Anfang an nicht übersehn, sondern war vorzüglichster Gegenstand des Streites bei den Vertheidigern der Vorzüge des Weingeistes und des Quecksilbers, denn diese beiden allein kamen zur Untersuchung, wobei man zugleich von der Voraussetzung ausging, dafs die Ausdehnungen den wirklichen Vermehrungen der Wärme proportional seyn und also die Thermometer die absoluten Quantitäten der vorhandenen Wärme messen müfsten. Insbesondere war es DE LUC[1], welcher sich in dieser Beziehung entschieden für den Vorzug des Quecksilbers aussprach. Von ihm ging dann die oben erwähnte, seitdem als gültig betrachtete Behauptung aus, dafs Flüssigkeiten, die sich beim Gefrieren zusammenziehn und zugleich bei höheren Temperaturen stark verdampfen, sich ebenso wenig bei der Verminderung der Temperatur regelmäfsig zusammenziehn, als bei der Vermehrung regelmäfsig ausdehnen können. Das Verhalten des Quecksilbers unter dem Einflusse veränderter Wärme mufs daher in jeder Beziehung ein regelmäfsiges seyn, weil dasselbe sich beim Gefrieren nicht ausdehnt und nur durch grofse Hitze siedet. Die Richtigkeit der aus diesen Betrachtungen gefolgerten regelmäfsigen Ausdehnung des Quecksilbers fand DE LUC durch die oben[2] be-

1 Recherches cet. T. I. §. 410. Deutsche Ueb. S. 355.
2 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 590.

reits erwähnten Versuche über die Ausdehnungen verschiedener Flüssigkeiten bestätigt. Versparen wir die weiteren Untersuchungen über diesen Gegenstand bis zur Würdigung der entschiedenen Vorzüge des Quecksilbers, so liegt eine nicht zu beseitigende Mangelhaftigkeit des Weingeists in der höchst schwierigen und vielleicht gar nicht zu erreichenden gleichen Beschaffenheit des anzuwendenden Alkohols. Reaumur[1] nahm, als normal, Weingeist, welcher Schiefspulver entzündete, und mischte ihn wegen des schwerern Siedens mit 0,2 Wasser. Eine solche Bestimmung würde man in der gegenwärtigen Zeit schon unbedingt verwerfen, allein die Erfahrung ergiebt zugleich[2], dafs absoluter Alkohol, wenn er längere Zeit, obgleich in wohl verstopften Flaschen, aufbewahrt oder wiederholt durch das Oeffnen derselben mit atmosphärischer Luft in Berührung gebracht wird, Wasser aus dieser anzieht und von seiner ursprünglichen, nur durch geübte Chemiker zu erhaltenden Reinheit mehr oder minder abweicht; jeder in verschiedenem Mafse mit Wasser gemischte Alkohol befolgt aber eigenthümliche Gesetze der Ausdehnung und alle weichen von der regelmäfsigen in einem nicht unbedeutenden Grade ab. Die genaue Bestimmung der Reinheit des zu verwendenden Alkohols, die schon für einen geübten Physiker eine nicht ganz leichte Aufgabe ist, darf man von dem praktischen Künstler um so weniger erwarten, als die Processe des Füllens der Thermometerröhren, wobei wiederholt neue Quantitäten hineingebracht und wieder herausgenommen werden müssen, die Sache noch um ein Bedeutendes erschweren. Endlich ist es ausnehmend schwer, die letzten Antheile von Luft, welche dem Weingeiste, wie allen Flüssigkeiten, gern anhängt, wegzuschaffen. Ich selbst wurde vor einigen Jahren veranlafst, ein treffliches Weingeistthermometer vom jüngeren Greiner etwas anhaltend zu schütteln, und fand den Stand desselben nachher um 1° R. vermindert, was nicht wohl durch etwas Anderes, als das Entweichen von Luft bewirkt worden seyn konnte, und ich gestehe, dafs seitdem mein Vertrauen zu diesen Thermometern sehr abgenommen hat.

11) Man hat dem Weingeiste den Vorwurf gemacht, dafs

---

1 Mém. de l'Acad. de Par. 1730. p. 452. 1731. p. 250.

2 S. meine oben genannten Abhandlungen.

er nach langer Zeit seine regelmäfsige Ausdehnung verliere. Dieses ist schon durch HALLEY[1], MUSSCHENBROEK[2] und HAUBOLD[3] geschehen, später aber hat FLAUGERGUES[4] eine mit der Länge der Zeit wachsende Unempfindlichkeit des Weingeistes gegen Wärme behauptet, vermöge welcher seine Ausdehnung abnehmen soll, was jedoch COTTE[5] als einen dadurch veranlafsten trüglichen Schlufs betrachtet, dafs die von FLAUGERGUES benutzten Thermometer nach älterer Sitte die Temperatur des gefrierenden Wassers als Nullpunct gehabt hätten, welchen DE LUC[6] bei — 0°,8 der achtzigtheiligen Scale setzt. Dagegen behauptet PICTET[7], ein von ihm beobachtetes Weingeistthermometer habe sich von 1743 bis 1822 unverändert erhalten. Im hiesigen Cabinette befindet sich ein sogenanntes Normalthermometer[8] mit sehr dunkel gefärbtem Weingeist von BRANDER, welches nicht früher als 1766 verfertigt seyn kann, jetzt aber so unempfindlich ist, dafs es seinen Stand nur sehr langsam ändert; auch scheint es mir, ohne genauere Messung, eine geringere Ausdehnung zu haben, da es in höheren Graden stets hinter andern genauen Thermometern zurückbleibt; ein zweites von 1783, worin sich die färbende Substanz fast gänzlich abgesondert hat, ist weniger träge, doch scheint auch in ihm der Weingeist von seiner normalen Ausdehnung verloren zu haben. Wenn man aber diese Mangelhaftigkeit als unbedeutend übersieht, da Thermometer, auf deren Genauigkeit gerechnet werden soll, wohl nie ein solches Alter erreichen, so ist doch ohne Widerrede ausgemacht, dafs der Weingeist in höheren Wärmegraden sich nicht gleichmäfsig, sondern zunehmend ausdehnt, aber auch bei tiefen Graden grofser Kälte zeigen sich solche Thermometer ausnehmend unzuverlässig, wie hauptsächlich aus den Beobachtungen in den nördlichsten Thei-

---

1 Philos. Trans. N. 197. Comm. Petrop. T. IX. p. 345.
2 Cours de Phys. T. II. p. 363.
3 Dissertatio de Thermometro Reaumuriano. Lips. 1771. 4.
4 Journ. de Phys. T. LXVI. p. 295. T. LXVII. p. 123.
5 Journ. de Phys. T. LXVI. p. 463.
6 Recherches sur les Modif. de l'Atmosph. T. I. p. 378.
7 Bibl. univ. T. XIX. p. 62.
8 So pflegt man zuweilen die mit allen bekannten Scalen versehenen zu nennen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

len von America deutlich hervorgeht. Parry[1] hatte bei seinem Aufenthalte auf Melville zehn Weingeistthermometer von gleicher Gestalt und von dem nämlichen Künstler, die aber, oft mit einander verglichen, bei den tiefsten Kältegraden grofse Differenzen zeigten. Einmal zeigten fünf, mit ungefärbtem Weingeist gefüllte und an demselben Gerüste aufgehangene, gleichzeitig: N. 1. = — 48°,89 C.; N. 2. = — 48°,89; N. 3. = — 44°,99; N. 4. = — 44°,99; N. 5. = — 46°,66 C.; fünf andere mit gefärbtem Alkohol dagegen zeigten: N. 6. = — 39°,99; N. 7. = — 39°,99; N. 8. = — 42°,21; N. 9. = — 42°,21 und N. 10. = — 43°,32 C. Eine Vergleichung des Thermometers N. 5. und N. 10. mit einem Quecksilberthermometer zwischen — 32°,21 und — 34°,44 C. ergab, dafs N. 5. um 1°,22 niedriger und N. 10. um 2°,22 C. höher stand. Im Allgemeinen zeigten sich die Thermometer mit gefärbtem Weingeist schlechter, als die mit ungefärbtem, und meistens blieb die färbende Substanz in der Röhre zurück, wenn das Thermometer plötzlich einer sehr niedrigen Temperatur ausgesetzt wurde. Dieser Umstand und die Angabe von Parry, dafs der Cognac auf dem Verdecke des Schiffes in starker Kälte Syrupsdicke annahm, so wie die Behauptung Hutton's, dafs der absolute Alkohol sich vor dem Gefrieren in dickflüssige Lagen von ungleicher Farbe verwandelt habe, und die von mir selbst gemachte Erfahrung[2], dafs gewöhnlich verkäuflicher Spiritus in einer Kälte von — 28° C. schon sehr dickflüssig zu werden beginnt, scheint mir zu beweisen, dafs der Einflufs grofser Kälte eine Zersetzung des Alkohols oder Ausscheidung der färbenden Substanz und des Wassers verursacht, die schon mehrere, vielleicht viele Grade über dem Gefrierpuncte desselben anfängt und eine regelmäfsige Zusammenziehung desselben hindert, wonach also keine genauen thermometrischen Bestimmungen zu erwarten sind. Auch Franklin[3] erzählt, dafs die von ihm mitgenommenen Weingeistthermometer beim Schmelzpuncte

1 Appendix to Capt. Parry's second Voyage cet. Lond. 1825. 4. p. 262.

2 Sur la dilatation de l'alcool pur. In Mém. de l'Ac. de Pet. p. 16.

3 Narrative of a Journey to the shores of the Polar-Sea cet. Lond. 1823. 4. Ap. p. VII.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des Eises correspondirten, unter diesem Puncte aber merklich differirten und bei — 42°,77 C. bis auf 4°,44 C. steigende Abweichungen zeigten. Ueber dem Puncte des schmelzenden Schnees differirten sie zwar gleichfalls, aber mit sehr unbedeutenden Unterschieden. Diese gewichtigen Zeugnisse müssen das bisher in die Richtigkeit der Weingeistthermometer gesetzte Vertrauen bedeutend schwächen, im Allgemeinen aber darf man nach den über die Ausdehnung dieser Flüssigkeit aufgefundenen Gesetzen wohl annehmen, dafs es räthlich seyn würde, sie mit einer andern geeignetern zu vertauschen, wenn dieses aber nicht geschieht, dafür Sorge zu tragen, dafs die Künstler zum Füllen der Thermometer für sehr hohe Kältegrade möglichst reinen und ungefärbten Weingeist wählen. Zum Messen mittlerer und höherer Wärmegrade wird man sich in allen Fällen, wo es auf etwas höhere Genauigkeit ankommt, dieser Thermometer nicht bedienen.

12) Das *Quecksilber*, welches zuerst Fahrenheit seit 1709 oder 1714 als thermometrische Flüssigkeit gebrauchte, fand hauptsächlich an de Luc einen lebhaften Vertheidiger, wie bereits erwähnt worden ist. Weil es sich nicht sowohl um eine stets gleichmäfsige, als um eine den wirklichen Zunahmen der Wärme proportionale Ausdehnung der thermoskopischen Flüssigkeiten handelte, so liefs sich de Luc auf ein von Renaldini[1] zuerst vorgeschlagenes, von Wolf[2] und Bülfinger[3] gebilligtes und von Le Sage zur Erhaltung sogenannter *äquidifferentialer Thermometer* empfohlenes Verfahren ein, um die Frage über das Verhältnifs der Ausdehnung des Quecksilbers zu den Incrementen der Wärme bestimmt zu entscheiden. Er mischte zu diesem Ende gleiche Mengen Wasser von ungleichen Temperaturen = m und n zusammen und mufste dann nach Richmann's Gesetze und der Theorie gemäfs an einem richtigen Thermometer, welches die Zunahmen der Wärme durch die Vergröfserung seines Volumens zeigte, $\frac{m+n}{2}$ Grade erhalten. Bezeichneten m und n auch nicht die absoluten Wärmequantitäten der vereinten Massen einzeln

1 Philosophia naturalis. Patav. 1694. fol. T. III. p. 285.
2 Elementa Aerom. Lips. 1709. 12. p. 209.
3 Elementa Phys. Lips. 1742. 8.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

genommen, so konnte dieses dem Resultate keinen Abbruch thun; denn gesetzt es sey die Menge der einen $= z + m$, der andern $= z + n$ gewesen, so mufsten in der Mischung $= z + \frac{m+n}{2}$ Wärmemengen vorhanden seyn und das messende Thermometer dennoch $\frac{m+n}{2}$ zeigen. Zum Messen bediente er sich eines in 80 Grade getheilten Quecksilberthermometers. Wurden gleiche Massen von 6° und von 75° vereint, so hätte die entstandene Temperatur = 40°,5 seyn müssen; sie war aber nur 39°,2. Um den Einflufs des Gefäfses zu entfernen, da bei dem genannten Versuche das heifse Wasser in das kalte Gefäfs gegossen worden war, wurde jetzt umgekehrt das kältere Wasser von 5°,2 in das heifsere von 75° gegossen und die Mischung zeigte statt 40°,1 nur 39°,3. De Luc argumentirte hiernach, dafs die wahre Wärme um mehr als den halben Unterschied der Temperaturen $(= \frac{75 - 5,2}{2} = 34,9)$ abgenommen, das Quecksilber sich also um mehr als den halben Unterschied $(75 - 39,3 = 35,7)$ verdichtet habe, und es blieb ihm also für die andere Hälfte bis zur völligen Erreichung der kälteren Temperatur weniger Verdichtung $(39,3 - 5,2 = 34,1)$ übrig. Das Volumen des Quecksilbers zeigt sich also bei gleichen Verminderungen der Wärme wirklich abnehmend, was deutlich zeigt, dafs der Gang der Verminderung seines Volumens den Veränderungen der Wärme näher kommt, als dieses bei andern Flüssigkeiten der Fall ist. Denn da dieser Gang mit den Verdichtungen anderer Flüssigkeiten bei gleichen Verminderungen der Wärme verglichen zunehmend, mit der Wärme selbst aber verglichen stets noch abnehmend ist, so müssen sich alle andere vom Gange der Wärme noch weiter als das Quecksilber entfernen. Es läfst sich aus diesen Versuchen sogar folgern, dafs der Gang des Quecksilbers von dem der Wärme überhaupt nur wenig abweiche. Werden die erhaltenen Gröfsen für den Einflufs des Ausgiefsens und der Gefäfse nach Wahrscheinlichkeit corrigirt, so mufste das Thermometer statt 39°,3 vielmehr 40°,3 zeigen, wenn seine Grade wirkliche Wärmemengen ausdrücken sollten. Der Gang der Oele wich wiederum nur wenig von dem des Quecksilbers ab und namentlich ergab eine Verglei-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chung, dafs das Chamillenöl bei der Temperatur der genannten Mischung gerade ebenso weit vom Quecksilber, als dieses von der Wärme selbst abwich. Aus mehreren Versuchen glaubte daher DE LUC die in nachstehender Tabelle bezeichneten Gröfsen erhalten zu haben, worin z die beim schmelzenden Eise noch vorhandene wirkliche Wärme angiebt.

	Quecksilber-therm. 80th. Scale	Wirkliche Wärme	Unter-schiede d. wirkl. Wärme
Siedepunct	80	z + 80,00	4,72
	75	z + 75,28	4,72
	70	z + 70,56	4,79
	65	z + 65,77	4,81
	60	z + 60,96	4,81
	55	z + 56,15	4,89
	50	z + 51,26	4,89
	45	z + 46,37	4,97
	40	z + 41,40	5,00
	35	z + 36,40	5,08
	30	z + 31,32	5,10
	25	z + 26,22	5,10
	20	z + 21,12	5,18
	15	z + 15,94	5,20
	10	z + 10,74	5,31
	5	z + 5,43	5,43
Eispunct	0	z + 0,00	80,00

Für sonstige Flüssigkeiten will DE LUC folgende Bestimmungen gefunden haben, die aus den Graden hervorgehn, welche mit ihnen gefüllte Thermometer zeigen, wenn das Quecksilberthermometer auf $38^0,6$ steht, also die wirkliche Wärme $= z + 40^0$ ist. Dabei ist auch das Verhältnifs ihrer Verdichtungen vom Puncte des siedenden Wassers bis zu $z + 40^0$ und von hier an bis zum Puncte des schmelzenden Eises gegeben.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Flüssigkeiten in d. Thermometern	Stand bei der Wärme z + 40°	Verhältnifs d. Verdichtungen in d. 1sten u. 2ten Hälfte
Quecksilber . . .	38°,6	15 : 14,0
Baumöl u. Leinöl	37,8	15 : 13,4
Chamillenöl . . .	37,2	15 : 13,0
Quendelöl	37,0	15 : 12,9
Gesätt. Salzwasser	34,9	15 : 11,6
Weingeist	33,7	15 : 10,9
Wasser	19,2	15 : 4,7

Sofern daher die Thermometerscalen gleichmäfsige Grade erfordern, ist das Quecksilber unter allen Flüssigkeiten bei weitem am geeignetsten.

Die hier mitgetheilten Bemühungen von DE LUC sind zwar sehr schätzbar, allein schon eine oberflächliche Betrachtung führt sehr bald die Ueberzeugung herbei, dafs kein genaues Resultat von ihnen zu erwarten sey. Zwar scheint das gewählte Mittel der Mischungen sehr geeignet zu seyn, und es wurde daher schon früher durch MORINUS[1] in Vorschlag gebracht, welcher zugleich eine allgemeine Formel zur Berechnung der Differenzen angab, auch prüfte KRAFT[2] die Sache durch Versuche, indem er von dem Grundsatze ausging, dafs das gewählte Mittel für den beabsichtigten Zweck völlig geeignet sey, allein er erhielt Werthe, die von den theoretischen Bestimmungen sich um mehrere Grade entfernten. Dieses ist wohl allzunatürlich und geht aus den unüberwindlichen Schwierigkeiten dieser Versuche von selbst hervor. Nicht genug, dafs die Wärme der Gefäfse nach ihrer specifischen Wärmecapacität mit in Rechnung zu nehmen wäre, müfste auch die an das Thermometer abzugebende oder von ihm erhaltene Wärme, der Verlust durch Verdampfung, der Zugang oder Abgang durch die äufsere Umgebung u. s. w. berücksichtigt werden, Gröfsen, deren genauere Bestimmung nicht selten aufser dem Bereiche der Messung liegt.

13) Die übrigen Vorzüge des Quecksilbers, welche DE LUC anführt, sind zuerst, dafs dasselbe sich am leichtesten

1 Astrologia gallica. p. 158.
2 Comment. Petrop. T. XIV. p. 229.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

von der anhängenden Luft befreien lasse, wobei er nicht hätte übersehn sollen, dafs dasselbe, als einfacher Körper, keiner Zersetzung unterliegen kann; zweitens erträgt dasselbe hohe Grade der Hitze; drittens ist es weit empfindlicher und zwar, seiner Annahme gemäfs, sechsmal empfindlicher als Weingeist. Von der Genauigkeit dieser Bestimmung abgesehn ist die Sache selbst unzweifelhaft und in der geringeren specifischen Wärmecapacität dieses Metalls sowohl, als auch in seiner grofsen Leitungsfähigkeit gegründet. Sehr unwissenschaftlich ist daher die Angabe von Luz[1], dafs Quecksilberthermometer und Weingeistthermometer in freier Luft und in langsam erwärmtem oder erkaltendem Wasser gleich empfindlich seyen, bei plötzlich abnehmender Wärme aber das erstere sich doppelt und bei plötzlich zunehmender sich dreimal empfindlicher zeige, als das letztere. Endlich liegt ein Hauptvorzug des Quecksilbers vor dem Weingeiste darin, dafs es sich rein und stets von gleicher Beschaffenheit darstellen läfst, was beim Weingeist nur schwer oder überhaupt nicht erreichbar ist, ein Umstand, dessen Möglichkeit de Luc kaum hinlänglich gewürdigt hat.

14) Micheli Ducrest[2] giebt dem Weingeiste den Vorzug vor dem Quecksilber, weil seine Ausdehnung regelmäfsiger seyn soll. Hierbei geht er aber von dem seltsamen Grundsatze aus, dafs die Temperatur der Erde ein gemäfsigtes Mittel sey, über welches sich die Wärme am Senegal so erhebe, als die Kälte in Kamtschatka unter dieselbe herabgehe, welche letztere damals durch das Quecksilberthermometer, in Folge der Zusammenziehung dieses Metalls, unnatürlich tief gefunden worden war. Hiernach schliefst er, dafs der Weingeist sich regelmäfsig, das Quecksilber aber unregelmäfsig verändere, und hierauf gründet er die thermometrischen Werthe beider Substanzen. Strohmeyer[3] äufserte gegen die Versuche und Schlüsse de Luc's, dafs der Weingeist auf alle Fälle für tiefe

---

1 Vollständige Anweisung, die Thermometer zu verfertigen. Cap. 8. S. 159. Eine 2te vermehrte Aufl. 1823.

2 Description de la méthode d'un thermomètre universel. Par. 1742. 8.

3 Anleitung übereinstimmende Therm. zu verfertigen. Gött. 1775. 8. S. 12.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Kältegrade den Vorzug habe, weil er gefunden hatte, dafs in einer Mischung von Schnee und rauchendem Salpetergeist bei —26°,66 C. der Weingeist noch vollkommen flüssig blieb, während das Quecksilber schon zu einem weichen Amalgama (vermuthlich wegen Verunreinigung) gerann, sich dann stark zusammenzog und bei noch gröfserer Kälte wie ein Faden hängen blieb. Die Resultate der Versuche von Ducrest, die hauptsächlich gegen de Luc entscheiden sollen, weichen nach einer Zusammenstellung derselben durch Luz, der er noch seine eigenen hinzufügt, keineswegs bedeutend ab, wie folgende Tabelle zeigt[1].

	Weingeistthermometer.		
Quecksilbertherm.	Ducrest	de Luc	Luz
Siedepunct 80	80,00	80,00	80,00
75	73,21	73,80	73,82
70	66,83	67,80	67,80
65	60,80	61,90	61,90
60	55,06	56,20	56,10
55	49,57	50,70	50,40
50	44,31	45,30	44,90
45	39,24	40,20	39,60
40	34,36	35,10	34,70
35	29,63	30,30	29,90
30	25,05	25,60	25,30
25	20,60	21,00	20,90
20	16,27	16,50	16,50
15	12,05	12,20	12,20
10	7,94	7,90	7,90
5	3,93	3,90	3,90
0	0,00	0,00	0,00
— 5	— —	— —	— 3,90
— 10	— —	— —	— 7,60
— 15	— —	— —	—11,20
— 20	— —	— —	—14,50

1 Auch Wildt hat neuerdings ein Weingeistthermometer mit einem Quecksilberthermometer verglichen und ungefähr gleiche, als die in der Tabelle enthaltenen Abweichungen gefunden. S. Kastner Archiv 1825. Dec. Edinb. New Phil. Journ. N. II. p. 327. Die Unterschiede sind aber gröfser, als sie nach meinen Versuchen bei guten Thermometern seyn können.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die hier gefundenen Unterschiede sind so grofs, dafs man sich unter der Voraussetzung ihrer vollkommenen Genauigkeit unmöglich dieser zwei Thermometer zur Messung der Wärme bedienen könnte, wie noch jetzt sehr häufig geschieht. Die ungleich genaueren Versuche von Flaugergues[1] zeigen bei weitem geringere Abweichungen beider unterhalb des Gefrierpunctes, aber noch gröfsere oberhalb desselben, wovon die Ursache darin liegt, dafs bei jenen der Siedepunct für beide Arten von Thermometern auf 80° gesetzt, bei diesen aber der eigentliche Siedepunct des Weingeistes genommen worden ist. Das hier gebrauchte Weingeistthermometer war unter den Augen Reaumur's durch Nollet verfertigt worden, das Quecksilberthermometer von einem bewährten neueren Künstler. Beide zeigten unter gleichen Bedingungen folgende Temperaturen:

	Thermometer	
	Weingeist	Quecksilber
Zwei Theile zerstofsenes Eis und ein Theil Kochsalz	—17°,4	—16°,6
Zwei Theile zerstofsenes Eis und ein Theil Salmiak	— 12,7	— 12,4
Zwei Theile zerstofsenes Eis und ein Theil Zucker	— 5,0	— 4,9
Zwei Theile zerstofsenes Eis und ein Theil Salpeter	— 3,5	— 3,42
Schmelzendes Eis	0,0	0,0
Sechsjährige Messungen des Wassers in einem 34 Fufs tiefen Brunnen	10,47	9,64
Wärme in einem Keller	13,8	12,7
Wärme des menschlichen Körpers	32,7	29,8
Schmelzpunct des gelben Wachses	56,25	49,6
Siedender Alkohol von 0,851 spec. Gew. bei 28 Z. Barometerhöhe .	75,6	63,5
Siedepunct einer Mischung aus 3 Theilen jenes Alkohols und einem Theil Regenwasser bei gleicher Barometerhöhe	80	66,8

1 Correspond. Astronom. T. IX. N. 5. p. 435. Edinb. Journ. of Sc. N. II. p. 374.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

15) Nach den oben über Luftthermometer mitgetheilten Untersuchungen giebt die Luft die Zunahmen der Wärme genau an und die übrigen Flüssigkeiten müssen hiernach geprüft werden, was in den neuesten Zeiten mit ungemeiner Sorgfalt geschehn ist und sehr zum Vortheil des Quecksilbers entschieden hat. So fand Flaugergues[1] die Ausdehnung des Quecksilbers von — 20° R. bis 160° und selbst 180° R. ganz gleichmäfsig, mit den Graden des Luftthermometers übereinstimmend und also den Vermehrungen der Wärme direct proportional, was aber wohl nicht für absolut genau gelten kann; richtiger dagegen ist die Angabe ebendieses Gelehrten, wonach zwischen — 25° C. und + 100° C. keine Abweichung des Quecksilberthermometers vom Luftthermometer wahrnehmbar ist, denn hiermit stimmen die Resultate der Versuche von Gay-Lussac und die vorzüglich schätzbaren von Dulong und Petit vollkommen überein[2]. Innerhalb dieser Temperaturen haben daher die Quecksilberthermometer so entschiedene Vorzüge, dafs sie nicht wohl durch andere und namentlich nicht durch Weingeistthermometer verdrängt werden können; für tiefere Grade der Kälte, jedoch nur für solche, bei denen das Quecksilber zu gefrieren anfängt[3], sind sie ganz unbrauchbar, für höhere aber und wegen des hoch liegenden Siedepunctes selbst für sehr hohe dürfen sie als sehr brauchbar gelten, um so mehr, als es leicht ist, sie durch eine einfache Correction auf das Luftthermometer zu reduciren, wovon später die Rede seyn wird. Ueber das Verhalten derselben in tiefer Kälte hat Parry[4] schätzbare Beobachtungen mitgetheilt. Hiernach gefror das Quecksilber bei — 37°,77 bis — 38°,88 C. oder nach einer andern Angabe bei — 39°,15 bis 39°,52 C., denn es blieb flüssig bei — 38°,88, wenn es sich lange in dieser Temperatur befand, und gestand sogleich, wenn es etwa drei Stunden lang einer Kälte von — 39°,44 ausgesetzt gewesen war. Lagen die Thermometer horizontal, so zeigten sie die Temperaturen bis — 37°,77 oder — 38°,88 genau übereinstimmend, hingen sie aber lothrecht oder wurden sie erschüttert, so sank das Quecksilber bis — 43° C.

1 Journal de Phys. T. LXXXII. p. 401.
2 S. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 598.
3 Man setzt den Gefrierpunct des Quecksilbers = — 39°,44 C.
4 Second Voyage cet. Lond. 1825. 4. Append. p. 254. 262.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und noch weiter herab und gefror dann. Das Hängenbleiben des Quecksilbers in den Röhren der horizontal liegenden Thermometer, ohne dafs man selbst mit der Loupe Zwischenräume wahrnehmen konnte, wird von einer verminderten Cohäsion seiner Theile bei unveränderter Contraction abgeleitet, was aber wohl nicht scharf genug aufgefafst ist. Gelegentlich wurde auch die absolute Zusammenziehung des Quecksilbers vermittelst einer Röhre mit daran befindlicher Kugel gemessen und zwischen $-1^{\circ},57$ und $-33^{\circ},89$ gleich $\frac{1}{4804,5}$ für 1° C. gefunden, was von der durch Dulong und Petit[1] gefundenen Gröfse $= \frac{1}{5550}$ nicht unbeträchtlich abweicht. Jedoch kann die erstere Bestimmung wohl auf gleiche Genauigkeit, wie die letztere, keine Ansprüche machen.

16) Als *sonstige Flüssigkeiten*, die sich zur Füllung der Thermometerröhren eignen sollen, finde ich blofs den Salmiakgeist durch Luz empfohlen, weil dieser mit dem Weingeist gleichmäfsige Ausdehnung zeige und sich durch etwas Grünspan schön färben lasse. Ob man einen wirklichen weiteren Gebrauch von dieser Substanz zu dem genannten Zwecke gemacht habe, finde ich nirgends ausdrücklich angegeben, auch habe ich selbst keine Erfahrung hierüber. Newton[2] schlug bekanntlich Leinöl als thermometrische Substanz vor, weil diese Flüssigkeit weit schwerer siede, als Weingeist; er scheint aber die Aufgabe nicht weiter ins Einzelne verfolgt zu haben. Die oben[3] bereits ausführlich erwähnten, von de Luc und Gay-Lussac angestellten Versuche mit Thermometern, die mit verschiedenen Flüssigkeiten gefüllt waren, hatten nicht sowohl den Zweck, die Brauchbarkeit dieser Substanzen zur Verfertigung von Beobachtungsapparaten aufzufinden, als vielmehr den Gang ihrer Ausdehnungen auszumitteln. Im Ganzen hat das Quecksilber für mittlere und höhere Temperaturen, genauer für -30° bis $+100^{\circ}$ C. so entschiedene Vorzüge, dafs man dasselbe bei guten Apparaten schwerlich mit irgend einer andern Flüssigkeit vertauschen wird, es sey denn,

---

1 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 600.
2 Phil. Trans. 1701. N. 270.
3 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 590.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dafs besondere Zwecke, wie beim Six-Thermometer, beim Thermometrographen u. s. w., dieses fordern. Da es aber für die in vielen Gegenden unter höheren Breiten häufig vorkommenden tiefen Kältegrade durchaus nicht ausreicht, so mufste man nothwendig eine andere Substanz wählen, und hierzu diente fortwährend der Weingeist, hauptsächlich wohl deswegen, weil dieser seit den frühesten Zeiten als thermoskopische Substanz bekannt war und weil man weifs, dafs er den höchsten Kältegraden widersteht. Dafs er ursprünglich zu dieser Bestimmung verwandt wurde, davon liegt die Ursache noch aufserdem ohne Zweifel in der allgemeinen Bekanntschaft desselben und in dem vielfachen Gebrauche, welchen die Chemiker stets von ihm gemacht haben.

Meine bereits erwähnten Untersuchungen über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten führten unmittelbar zur Beantwortung der Frage, welche Flüssigkeiten sich vorzugsweise zur Füllung der Thermometer eignen. Die erste, wesentlich hierzu erforderliche Eigenschaft einer für beträchtliche Unterschiede der Temperaturen möglichst gleichmäfsigen Ausdehnung durch Wärme besitzt das Quecksilber in einem so vorzüglichen Grade, dafs es nicht wohl in dieser Beziehung durch irgend eine andere Flüssigkeit ersetzt, geschweige denn verdrängt werden sollte. Ihm am nächsten hierin kommt die Schwefelsäure (vom spec. Gew. = 1,836 bei 12°,5 C.), allein beide Flüssigkeiten widerstehen tiefen Kältegraden nicht und obendrein sind die Gefrierpuncte der Schwefelsäuren (oder vielmehr der Schwefelsäure-Hydrate) nach ungleichen Mengen des enthaltenen Wassers so verschieden, dafs schon hierin ein genügender Grund liegt, ihre Anwendung für Thermometer unbedingt zu verwerfen. Ueberhaupt mufs die Aufgabe gegenwärtig blofs darauf beschränkt werden, eine Flüssigkeit zu haben, die sich zur Messung tiefer Kältegrade am besten eignet, und in dieser Beziehung können blofs das rectificirte Steinöl (*petroleum rectif.*) und der Schwefelkohlenstoff mit dem Weingeist um den Vorzug streiten. Nach der Zusammenstellung der hierzu erforderlichen Bedingungen[1] fällt aber der Vorzug weit mehr auf die Seite des Steinöls und, wenn es sich blofs um hohe Kältegrade handelt, noch mehr auf die Seite

1 S. meine Abhandl. Sur la dilatation de l'Alcool absolu. p. 34.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

des Schwefelkohlenstoffs, als auf die des Weingeistes, wie aus folgender Vergleichung dieser drei Flüssigkeiten evident hervorgeht.

a) Der Weingeist ist nur mit grofser Mühe und durch sorgfältiges Operiren völlig rein zu erhalten, verliert aber seine Reinheit durch längeres Stehen, ja sogar durch den Zutritt feuchter atmosphärischer Luft während der Operation des Füllens der Thermometerröhren, wenn diese Arbeit nicht absichtlich beschleunigt wird [1]. Die Ausdehnung desselben wird aber um so viel unregelmäfsiger, je gröfser die Menge des in ihm enthaltenen Wassers ist, und es kann wohl seyn, dafs die oben erwähnten Unterschiede der verschiedenen, von PARRY gebrauchten Thermometer hierin ihren Grund hatten. Das Petroleum kann zwar gleichfalls durch ungleich öftere und mehr oder minder sorgfältige Rectificationen von etwas verschiedener Beschaffenheit seyn, im Ganzen ist aber seine Darstellung von einer gewissen für diesen Zweck zu bestimmenden Reinheit keineswegs schwierig. Der Schwefelkohlenstoff, vorschriftsmäfsig bereitet, ist stets von gleicher Beschaffenheit und hat daher in dieser Beziehung den Vorzug.

b) Die absolute Gröfse der Ausdehnung für gleiche Unterschiede der Wärme giebt zwar keinen sehr wesentlichen Vortheil, immer aber einigen, sofern durch längere Grade die Beobachtungen schärfer werden, bei gleichen Graden aber das Volumen der thermometrischen Flüssigkeit so viel kleiner seyn darf, je gröfser die Ausdehnung desselben ist. Es verhalten sich aber die Ausdehnungen des Schwefelkohlenstoffes, des Alkohols und des Petroleums für 50° C. wie 60723 : 56071 : 52652 und es übertrifft also der Schwefelkohlenstoff den Weingeist sehr nahe um ebenso viel, als dieser das Petroleum.

c) Eine wesentliche Bedingung ist die Gleichmäfsigkeit der Ausdehnung; denn obgleich man die regelmäfsigen Zunahmen der Ausdehnung in die zu verfertigenden Scalen aufnehmen oder die in gleiche Theile getheilten hiernach cor-

---

1 Der von mir bei den ersten Versuchen angewandte Alkohol von 0,808 spec. Gewicht bei 12°,5 C. war als absoluter Alkohol bereitet, hatte aber mehrere Monate in einer mit einem Glasstöpsel verschlossenen Flasche gestanden und war häufig geöffnet worden. S. über die Ausdehnung der tropfb. Flüssigk. S. 73.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

rigiren kann, so gewährt doch die gröfsere Gleichmäfsigkeit der Ausdehnung den bedeutenden Vortheil der Einfachheit und daraus folgenden Bequemlichkeit. Wie gleichmäfsig die Ausdehnung sey, übersieht man am besten, wenn man die Formeln für die Volumensvermehrungen mit einander vergleicht. Bezeichnet man das Volumen bei 0° C. = V durch 1 und heifst dann ΔV die Vergröfserung dieses Volumens für t Grade der Centesimalscale, so ist für Schwefelkohlenstoff

$$\Delta V = 0{,}0011256\,t + 0{,}000001715\,t^2 + 0{,}000000001211\,66\,t^3,$$

für Petroleum

$$\Delta V = 0{,}00098855\,t + 0{,}00000212\,t^2 - 0{,}00000002676\,t^3 + 0{,}000000000195\,t^4,$$

für absoluten Alkohol

$$\Delta V = 0{,}00101511\,t + 0{,}0000030884\,t^2 - 0{,}000000019245\,t^3.$$

Könnten alle folgende Glieder aufser dem ersten vernachlässigt werden, so setzte dieses eine ganz gleichmäfsige Ausdehnung voraus, und um zu bestimmen, wie weit man sich hierdurch von der Wahrheit entfernt, darf man nur die Werthe des ersten Gliedes und die Summe der Werthe der übrigen Glieder für eine gewisse Menge Grade der Centesimalscale mit einander vergleichen. Es ist aber für 10° C.

	Werth des ersten Gliedes	Summe der Werthe d. übrigen Glieder	Unterschied
Schwefelkohlenstoff	= 0,011256	0,00017271	0,0110833
Petroleum	= 0,009885	0,00018725	0,0096977
Alkohol	= 0,010151	0,00028960	0,0098614
und für 100 Grade der Centesimalscale			
Schwefelkohlenstoff	0,112560	0,018361	0,094199
Petroleum	0,098855	0,013950	0,084905
Alkohol	0,101511	0,011639	0,089872

Der Werth des ersten Gliedes übertrifft beim Schwefelkohlenstoff die Summe der Werthe der andern Glieder am meisten beim Petroleum und Alkohol sind die Unterschiede fast gleich, doch hat in dieser Beziehung der letztere einen geringen Vorzug.

d) Man setzt zwar den Siedepunct des Schwefelkohlenstoffs auf 46°,6 und den des Petroleums auf 85°,56, allein dem oben aufgestellten Satze gemäfs, dafs leicht siedende Flüssigkeiten sich in thermometerartigen Apparaten bis weit über

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ihren Siedepunct erhitzen lassen und auch in den höheren Temperaturen ihre gesetzmäfsige Ausdehnung nicht ändern, habe ich namentlich auch den Schwefelkohlenstoff bis 65° C. erhitzt, ohne dafs er zu sieden anfing, und sein Verhalten in dieser Beziehung übertrifft also das ähnliche, beim Schwefeläther wahrgenommene bedeutend. Es unterliegt aber hiernach gar keinem Zweifel, dafs Thermometer, aus dieser Flüssigkeit bereitet, bis zum genannten Puncte von 65° C. graduirt werden können, und dieses genügt vollkommen, sobald man mit solchen Thermometern nichts weiter beabsichtigt, als die Temperaturen der Luft und die tiefsten Grade natürlicher und künstlicher Kälte zu messen. Der Siedepunct des Steinöls wird bei 85°,5 C. gesetzt, was an sich schon hinreichend seyn würde; inzwischen habe ich die Erhitzung auch dieser Flüssigkeit bis 95° C. getrieben und die Brauchbarkeit derselben zu Thermometern unterliegt also in dieser Beziehung durchaus keinem Zweifel.

e) Der Gefrierpunct des absoluten Alkohols liegt so tief, dafs höchst wahrscheinlich keine natürliche Kälte hinreicht, ihn gefrieren zu machen. Nach der aus meinen Versuchen[1] entnommenen Berechnung liegt der Punct seiner gröfsten Dichtigkeit bei — 90° C., einige Grade unter dieser Temperatur müfste er also der Analogie nach gefrieren, was nahe genug mit den neuesten Versuchen übereinstimmt, wonach er in runder Zahl bei —100° durch Anwendung der liquiden Kohlensäure gefroren seyn soll, sofern man bei solchen Messungen doch schwerlich für etwa 6 bis 8 Grade einstehen kann. Für das Steinöl giebt die Curve seiner Ausdehnung — 71° C. als den Punct seiner gröfsten Dichtigkeit, und somit mufs sein Gefrierpunct noch tiefer liegen, übereinstimmend mit der Erfahrung, wonach dasselbe bis jetzt noch nicht zum Gestehen gebracht worden ist. Auf jeden Fall würde dasselbe hiernach zur Messung der natürlichen Kältegrade ausreichen, worauf es zunächst vorzüglich ankommt. Die Ausdehnungscurve des Schwefelkohlenstoffes giebt keinen Punct der gröfsten Dichtigkeit, und indem er hiernach sich vorzugsweise zur thermometrischen Flüssigkeit eignet, bleibt zugleich sein Gefrierpunct ungewifs, mufs aber gleichfalls sehr tief liegen, weil er durch künstliche Kälte bis jetzt nicht aufgefunden worden ist.

---

1 Sur la Dilatation de l'Alcool pur. p. 25.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Alles dieses zusammengenommen verdient der Alkohol den Vorzug, welchen man ihm bisher mehr nach Verjährung, als nach genauer Prüfung beigelegt hat, keineswegs, vielmehr ist das Quecksilber für mittlere und höhere Wärmegrade ohne allen Vergleich bei weitem vorzuziehn, für hohe Kältegrade dagegen gebührt dem Schwefelkohlenstoff der erste, dem rectificirten Steinöl der zweite und dem Alkohol erst der dritte Rang, wobei ein merkliches Uebergewicht noch immer auf die Seite der ersten dieser drei Flüssigkeiten fällt.

B. Eintheilung der verschiedenen Scalen.

17) Das Drebbel'sche Thermometer war ein bloſs empirisch construirtes Werkzeug, den unvollkommenen Wettergläsern nach Otto v. Guericke und den noch jetzt gangbaren Hygrometern aus Darmsaiten zu vergleichen, sofern diese Instrumente bloſs die vorhandenen Veränderungen anzeigen, ohne die Gröſse derselben genau zu messen. Es liegt in der Natur der Sache, daſs man gerade beim Thermometer zuerst eine bestimmte Sprache und ein genaues Maſs verlangte, und daher wurden sofort verschiedene Vorschläge gemacht, dieses zu erreichen. Die Mitglieder der Akademie del Cimento gaben ihrem Thermometer einen Punct H der mittleren Wärme, die sie als die Wärme der Erde ansahn und in tiefen Kellern, wo sie das ganze Jahr hindurch constant blieb, zu finden glaubten. Von diesem Puncte aus nahmen sie willkürliche Grade nach oben der Wärme, nach unten der Kälte an, meistens 100 nach jeder Seite. Es leuchtet ein, daſs auf diesem Wege keine übereinstimmenden Thermometer zu erhalten sind, jedoch waren jene Gelehrten vorsichtig genug, alle ihre Thermometer, deren eine groſse Menge verfertigt und zum Theil versandt wurden, nach einem Normalapparate zu graduiren, wodurch man mindestens eine nahe Uebereinstimmung derselben unter einander erreichte. Inzwischen scheint die Technik damals noch nicht ausgereicht zu haben, diese Uebereinstimmung hervorzubringen, denn Wolf[1] klagt sehr über die Abweichungen Fig. 71.

1 Nützliche Versuche Th. II. Cap. V. §. 67.

in den Angaben seiner vier Florentiner Thermometer. Dennoch konnte Libri[1] bei denen, deren mehrere er in einer Kiste zufällig wieder auffand, die Scalen prüfen und mit den jetzt üblichen vergleichen. Es existirten zwei Arten solcher Thermometer, grofse, die bis 100 Grade, und kleinere, die bis 50 reichten. Die letzteren hat Libri verglichen und gefunden, dafs ihr Nullpunct mit 15° R., ihr 50ster Grad mit 44° R. und ihr 13,5 Kältegrad mit 0° R. zusammenfällt. Wenn man berücksichtigt, dafs das Ziel des damaligen Strebens eigentlich darauf gerichtet war, ein Mafs der absoluten Wärmemengen zu haben, so kann man den Vorschlag Renaldini's[2] besser würdigen und es begreiflich finden, dafs er so nahe bei der Sache diese dennoch verfehlte. Er schlug vor, man solle die Kugel des Thermometers mit Eis umgeben und diesen Stand desselben mit 0 bezeichnen, dann das Thermometer in eine Mischung von 11 Theilen siedenden und 1 Theil kalten Wassers (*aqua gelida*) senken und seinen Stand mit 1 bezeichnen; ebendieses solle man mit 10, 9, 8.... und mit 2, 3, 4.... vereinten Theilen wiederholen, um dadurch 2, 3, 4.... Grade zu erhalten, oder man solle nur 12 solche Theile, als den zuerst gefundenen, auftragen, so habe man wirkliche Grade der Wärme, indem die des siedenden Wassers in 12 gleiche Theile getheilt sey. Hierbei wird aber vorausgesetzt, dafs die *aqua gelida*, deren eigentliche Temperatur sogar nicht einmal genau bestimmt ist, gar keine Wärme habe. Merkwürdig bleibt dabei, dafs man diesen sinnreichen Gedanken, der durch blofse geschickte Manipulation zum richtigen Resultate der Erhaltung zweier unwandelbarer Puncte führen mufste, zwischen denen bekanntlich eine willkürliche Menge gleicher Theile liegen kann, damals ganz unbeachtet liefs, weil man beim Suchen nach dem Verborgenen das einfach Vorliegende gewöhnlich zu übersehn pflegt. Newton's[3] Scharfsinn führte ihn, ohne der Aufgabe mehr als eine nur beiläufige Aufmerksamkeit zu schenken, auf einen sehr richtigen Weg, durch dessen weitere Verfolgung man gleichfalls

---

1 Ann. Chim. et Phys. T. XLV. p. 854. Poggendorff Ann. XXI. 325.

2 Philosophia naturalis. Patav. 1694. fol. T. III. p. 276.

3 Philos. Transact. 1701. N. 270.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

das gesuchte Ziel erreicht haben würde. Er schlug Leinöl als besser geeignete Substanz vor, weil diese Flüssigkeit höhere Grade der Hitze erträgt, als der damals allein bekannte Weingeist. Auch ihm galt der Punct, welchen ein solches Thermometer im zergehenden Schnee zeigte, für den eigentlichen Nullpunct der Wärme, und als zweiten festen Punct nahm er die Wärme des menschlichen Körpers an, die er bei 12° setzte, dann habe das siedende Wasser 34 und das eben zu gestehen anfangende Zinn 72 solcher Grade. Da man voraussetzen darf, dafs Newton alle Sätze dieser Art auf wirklich angestellte Versuche stützte, so mufs man sich über die Schärfe dieser Bestimmungen ernstlich wundern. Setzt man nämlich die mittlere Wärme des menschlichen Körpers nach John Davy auf 36°,66 C., so giebt die Proportion

$$12 : x = 34 : 100$$

statt dieser Bestimmung 35°,3 der Centesimalscale nach Newton oder die andere

$$12 : 36{,}66 = 34 : x$$

den Siedepunct bei 104°,03 der Centesimalscale. Diese geringen Abweichungen sind aber so viel leichter erklärlich, als man die Wärme des menschlichen Körpers ohne die jetzt aufgefundenen Vorsichtsmafsregeln leicht zu gering findet.

18) Daniel Gabriel Fahrenheit in Danzig hat das unleugbare Verdienst, durch Benutzung einiger vor ihm bekannter Angaben und durch praktisches Talent, verbunden mit beharrlichem Fleifse, die Construction der Thermometer zuerst auf eine sichere Grundlage gebaut zu haben. Als Verfertiger von Wettergläsern machte er auch Thermometer und zwar nach dem damaligen Gebrauche aus Weingeist mit Wasser verdünnt oder aus unreinem Alkohol. Dafs er keinen absoluten Alkohol angewandt habe, ist wohl gewifs, von welcher Reinheit derselbe aber gewesen sey, finde ich nicht angegeben; die gewöhnliche Probe damals war, zu versuchen, ob derselbe Schiefspulver entzünde, und solcher wurde dann zuweilen noch mit etwas Wasser gemischt. Der strenge Winter von 1709, wobei er sicher die Temperatur mit seinen noch unvollkommenen Thermometern mafs, führte ihn auf den wichtigen Schlufs, dafs der Punct des schmelzenden Eises nicht der eigentliche Nullpunct der Wärme sey, aber leider glaubte er, in der damals erlebten gröfsten Kälte diesen Punct gefun-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

den zu haben, und nahm ihn daher als den Anfangspunct seiner Thermometerscale. Was er hierüber selbst angiebt[1], dient zum Theil nur irre zu machen, sofern er die damals herrschenden Meinungen von einem absoluten Nullpuncte und wirklichen Messungen der Wärmemengen zur Schau trägt, es ist jedoch nicht schwer herauszufinden, wie er wirklich verfahren sey und dafs es ihm hiernach gelingen mufste, das damals so schwierige Problem, übereinstimmende Thermometer zu verfertigen, wirklich zu lösen. Nach seiner Angabe dienten ihm als Grundlage drei Puncte, zuerst der *absolute Nullpunct* von 1709, welchen er durch eine Mischung von Eis, Wasser und Salmiak oder Seesalz zu erzeugen vorgab, und hinzufügte, er sey leichter im Winter als im Sommer zu erhalten; zweitens der Punct, welchen Eis und Wasser vereint geben, den er den *Punct des anfangenden Gefrierens* nennt und bei 32° seiner Scale setzt, und drittens den Punct der *menschlichen Wärme*, welcher erhalten wird, wenn ein gesunder Mensch das Thermometer so lange unter dem Arme oder im Munde hält, bis es seine Wärme vollkommen angenommen hat, in welchem Falle es 96 Grade zeigt. Fahrenheit nennt also den Siedepunct des Wassers nicht, und der Schmelzpunct des Eises erscheint bei ihm nur als ein für die schon gegebene Scale gefundener; seine Normalpuncte sollen der von ihm angenommene Nullpunct und der für die menschliche Wärme gefundene seyn, allein man kann darüber gegenwärtig gar nicht in Zweifel seyn, dafs er weder den einen noch den andern wirklich benutzte, denn sein Nullpunct ist auf keine Weise nur mit annähernder Genauigkeit zu erhalten und der Punct der menschlichen Wärme wird von ihm sogar unrichtig zu 96° angegeben, welches = 35°,56 C., also, wie bei Newton, zu niedrig ist. Die Wahrscheinlichkeit, dafs Fahrenheit die jetzt gebräuchlichen festen Puncte gekannt und zur Regulirung seiner Scale benutzt habe, wird jedoch zur Gewifsheit, wenn man weifs, dafs seine Thermometer wirklich übereinstimmten und dafs er über die Fixität der jetzigen Normalpuncte Versuche angestellt habe; denn angenommen, er

---

1 Philos. Trans. 1724. N. 381 u. 382. p. 1 u. 78. Eine ausführliche Prüfung des Verfahrens, welches Fahrenheit wirklich befolgte, findet man in Annals of Philos. T. VIII. p. 26.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

habe die ersten Thermometer durch Regulirung nach einem anfänglichen Normalthermometer zur Uebereinstimmung gebracht, so mufsten diese von den nachherigen mit richtigem Gange abweichen, zu welcher Annahme jedoch kein Grund vorhanden ist. Er erzählt aber, dafs er aus der Abhandlung von AMONTONS[1] die Fixität des Siedepunctes vor etwa zehn Jahren (was also in das Jahr 1714 fällt) kennen gelernt und auch Quecksilber zu seinen Thermometern genommen habe, weil nach der Behauptung jenes Gelehrten auch dieses sich durch Wärme ausdehne. Durch Benutzung eines solchen Thermometers habe er dann folgende Bestimmungen erhalten:

Flüssigkeiten	spec. Gew. bei 48° F.	Siedehitze
Alkohol	8260	176°
Regenwasser	10000	212
Salpetergeist	12935	242
Pottaschenlauge	15634	240
Vitriolöl	18775	546

Die ersten Thermometer FAHRENHEIT's waren nicht bis zum Siedepuncte des Wassers graduirt, dieses geschah erst bei den späteren mit Quecksilber gefüllten; vermuthlich aber waren die ersten, von ihm versandten, nach einem solchen normalen Quecksilberthermometer graduirt. Im Jahre 1714 schenkte FAHRENHEIT zwei Thermometer, die noch mit Weingeist gefüllt waren, an WOLF, welcher den übereinstimmenden Gang derselben mit Verwunderung wahrnahm und einer besonderen Beschaffenheit des Weingeistes zuschrieb[2]. Zehn Jahre nachher wurde das von ihm angewandte Verfahren in der angegebenen Abhandlung durch ihn selbst, durch BOERHAAVE[3] und MUSSCHENBROEK[4] allgemein bekannt und der Nullpunct seines Thermometers erhielt den Namen des *künstlichen Eispunctes*

1 Mém. de Paris. 1703.

2 Acta Erud. Lips. 1714. Aug. p. 380. Nützliche Versuche. Th. II. Cap. V. §. 71.

3 Chemia T. I. Expos. de igne. Ed. Lugd. Bat. 1732. 4. p. 174.

4 Tentam. Acad. del Cimento. L. B. 1731. 4. p. 8. Introd. T. II. §. 1568.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

(*terme de congélation artificielle*). Um diese nämliche Zeit fing Fahrenheit an, seine Thermometer mit Quecksilber zu füllen, und weil damals die absolute Ausdehnung der Flüssigkeiten bei diesen Apparaten nicht übersehn werden durfte, so nahm er an, dafs, wenn das Volumen des Quecksilbers beim Nullpuncte seiner Scale zu 11124 Theilen angenommen würde, es sich um 32 solcher Theile bis zum Schmelzpuncte des Eises und um 600 bis zum Puncte seines Siedens ausdehne, die Ausdehnung beim Siedepuncte des Wassers betrug dann 212 solcher Theile, und bis dahin reichte die Scale seiner verbesserten Thermometer.

19) Ehe die eben beschriebenen Thermometer in allgemeinen Gebrauch kamen, bemühte sich Reaumur[1], auf dem damals bereits betretenen Wege und nach den als Grundlage angenommenen Regeln diese Apparate zu vervollkommnen, wobei er allerdings wissenschaftlicher verfuhr, als sein Nebenbuhler, aber dennoch die eigentliche Aufgabe weit weniger löste. Unglücklich war schon die Wahl der thermometrischen Flüssigkeit, die in Weingeist bestand, welcher Schiefspulver zündete und mit 0,2 seines Volumens Wasser verdünnt wurde, um weniger leicht zu sieden. Allerdings mufs man sich wundern, dafs in jenen Zeiten die wissenschaftlichen Untersuchungen in so beschränktem Umfange angestellt wurden, denn sonst konnte Reaumur das Quecksilber unmöglich unbeachtet lassen, da Fahrenheit als blofs praktischer Künstler ihm sogar den Vorzug gab, nachdem er durch seine ersten Thermometer schon so berühmt geworden war. Das Ganze läfst sich erklären, wenn man berücksichtigt, dafs Reaumur dem herrschenden Vorurtheile gemäfs das eigentliche Ziel gar nicht verfehlen zu können glaubte, wenn er nur die absolute Ausdehnung des Weingeistes durch Wärme genau erforscht habe, als aber sein Thermometer einmal bekannt geworden war, bewirkte Nationaleitelkeit, dafs man die unverkennbaren Fehler durch trügerische Mittel zu verschleiern suchte. Reaumur nahm ein Thermometer von aufserordentlicher Gröfse[2], senkte

---

1 Mém. de Paris 1730. p. 452. 1731. p. 250.

2 Bei einem von mir einmal gesehenen solchen Fundamentalthermometer hatte die Kugel über 2 Zoll und die mehr als 2 Fufs lange Röhre ungefähr 2 Lin. im Durchmesser.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dessen Kugel in ein Gefäfs mit Wasser, welches mit einer Mischung von Eis und Salz umgeben war, und nahm das Volumen des Weingeistes dann, wenn die Eisbildung eintrat, zu 1000 an. Demnächst senkte er den Apparat in siedendes Wasser, bezeichnete den Stand des Weingeistes und ermittelte durch mühsame Messungen mit kleinen Bechern, dafs 80 Tausendstel des Volumens der Flüssigkeit beim Eispuncte (*punctum congelationis* s. *regelationis; terme de la glace ou de congélation naturelle*) hinzugesetzt werden mufsten, um das Volumen desselben beim Siedepuncte des Wassers zu erhalten. Dieses Resultat ist genau genug[1], wenn man berücksichtigt, dafs so gemischter Weingeist sich weniger als absoluter Alkohol ausdehnt und dafs bei den Versuchen die Ausdehnung des Glases unberücksichtigt blieb, allein der Nullpunct konnte durch das angewandte Verfahren auf keine Weise genau gefunden werden. Inzwischen beruhte auf dieser Grundlage die Construction der nach ihm benannten Thermometer, die für den gewöhnlichen Gebrauch von geringerer Gröfse verfertigt wurden. Reaumur bestimmte den Nullpunct derselben, hielt sie dann in siedendes Wasser, und blies das Röhrchen an der Lampe zu, wenn der Weingeist die gröfste Höhe erreicht hatte; den Zwischenraum zwischen beiden Puncten theilte er in 80 Theile.

20) Diese ächten Reaumur'schen Thermometer wurden in Frankreich mit grofsem Beifall aufgenommen und namentlich von Nollet[2] ausnehmend gelobt, allein sie hielten die Vergleichung mit den weit richtigern, hauptsächlich den Quecksilberthermometern, von Fahrenheit nicht aus, wie namentlich Martine[3], Desaguliers[4], Musschenbroek[5] und Haubold[6] zeigten, insbesondere aber ergab sich aus den bereits erwähnten gründlichen Untersuchungen von de Luc[7], dafs

1 Vergl. meine Abhandlung über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten S. 85.

2 Leçons de Phys. exp. Par. 1753. T. IV. p. 397.

3 Essay medical and philosophical. Lond. 1740. 8. p. 200.

4 Course of exper. Philos. Lond. 1744. 4. T. II. p. 292.

5 Essay de Phys. Leid. 1751. T. I. p. 457. Introd. T. II. §. 1573.

6 Dissert. de Thermom. Reaumuriano. Lips. 1771. 4.

7 Unters. über d. Atmosph. Th. I. S. 554.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

durch das angegebene Verfahren übereinstimmende und richtige Thermometer gar nicht zu erhalten seyen. Das einzige Verdienst, welches sich Reaumur um die Thermometrie erworben hat, besteht also bloſs darin, daſs er seinem Thermometer die beiden noch jetzt üblichen festen Puncte gab, da es ohne Widerrede sehr wünschenswerth und gegenwärtig auch zu hoffen ist, daſs diese den Fahrenheit'schen, auf keinen eigentlichen Grund gestützten und durchaus willkürlichen Nullpunct, und somit dessen unbehülfliche Scale ganz verdrängen werden, denn selbst die Engländer, welche das Fahrenheit'sche Thermometer am beharrlichsten festhielten, fangen bereits an, sich des centesimalen zu bedienen. Die überwiegenden Vorzüge des Quecksilbers als thermometrischer Substanz leuchteten auſserdem bald ein, allein weil man beharrlich nicht bloſs die jetzt übliche Reaumür'sche Scale, sondern auch sogar den ursprünglich gewählten Weingeist beibehalten wollte, so entstanden hieraus zahllose Verwirrungen. Reaumur[1] selbst meinte, man müsse das Fahrenheit'sche Quecksilberthermometer nach seinem Weingeistthermometer reguliren, und Nollet fand, daſs 10 Grade nach Reaumur 20⅔ Grade nach Fahrenheit betrügen, was aber entweder ganz falsch oder mindestens nur für die Grade unmittelbar über dem Gefrierpuncte nahe richtig ist. Unter Andern nahm Maupertuis zwei sogenannte Reaumür'sche Thermometer, eins mit Quecksilber, das andere mit Weingeist gefüllt, mit sich nach Lappland. Am 3ten Dec. 1736 zeigte der Weingeist — 18°, das Quecksilber — 22°, am 2ten Jan. 1737 aber jenes — 25° und dieses — 29°, am 6ten Jan. jenes — 29°, dieses — 37°, am andern Morgen endlich war der Weingeist gefroren und bis zum Wärmepuncte in den Kellern zu Paris in die Höhe gegangen. Daſs auch das Quecksilber gefroren sey, wie bei dieser Temperatur nothwendig war (Gefrierpunct 31°,2 R.), wird nicht erwähnt, und daraus geht um so mehr die Unrichtigkeit der Scale hervor. Haubold[2] erwähnt, daſs er zwei solche Thermometer erhalten habe, wie Reaumur und Nollet sie zu versenden pflegten, die wirklich mit einander übereinzustimmen schienen, indem beide den Eispunct und den Siedepunct des

1 Mém. de Paris. 1739.
2 A. a. O.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wassers richtig zeigten; allein bei genauerer Untersuchung entdeckte er, dafs die ersten 40 Grade des Quecksilberthermometers zu den zweiten 40 Graden im Verhältnifs von 8 zu 9 kleiner gezeichnet waren, und ebenso die unter Null, wonach also die ersten Grade über und unter Null in dem angegebenen Verhältnisse ungleich waren. Hieraus ergab sich also, dafs beide empirisch graduirt seyn mufsten, um die Mängel des Weingeistthermometers zu verhüllen. Auch v. Bergen[1] erhielt durch Nollet ein Thermometer, welches im siedenden Wasser bei 29 Z. 0,5 Lin. engl. genau 5 Grade über dem mit 80° bezeichneten Siedepuncte stand, wobei man also absichtlich diesen Punct um so viele Grade herabgerückt hatte. Die Resultate endlich, welche de Luc durch Vergleichung eines achtzigtheiligen Quecksilberthermometers mit einem ächten Reaumür'schen Weingeistthermometer erhalten zu haben angiebt, deuten auf einen Grad der Unrichtigkeit, den man kaum für möglich halten sollte. Beide zeigten folgende correspondirende Grade:

	Quecksilber-thermometer	Reaum. Weingeisttherm.
Siedepunct des Wassers	80° . . .	100°,4
	70 . . .	85,2
Siedepunct des Weingeisttherm.	66,6 . . .	80,0
	60	70,8
	50	56,8
	40	44,2
	30	32,6
Wärme des menschl. Körp. . .	29,9 . . .	32,5
	20	21,1
	10	10,6
Temp. des Kellers d. Sternw. . .	9,6	10,25
Zergehendes Eis.	0	0,8
Null d. Weingeisttherm. . . .	— 0,8	0
	— 10	— 8,5
	— 15	—13,1
2 Theile Eis, 1 Theil Salz	— 17	— 15

21) Weil de Luc die Fehler des Reaumür'schen Wein-

1 Dissertatio de thermometris mensurae constantis. p. 25.

geistthermometers genau aufsuchte und mit überwiegenden Gründen die Vorzüge des Quecksilbers nachwies, so hat man das mit der achtzigtheiligen Scale versehene Thermometer nach ihm benannt, wonach wir jetzt gar kein Reaumür'sches Thermometer mehr hätten, da solche eigentliche Weingeistthermometer gegenwärtig nicht mehr verfertigt werden und nur in sehr alten Exemplaren noch existiren; inzwischen hat dieser Sprachgebrauch nicht allgemeinen Eingang gefunden, obgleich zuweilen von DE LUC's *Thermometern* oder *Thermometern nach* DE LUC die Rede ist, vielmehr nennt man fast allgemein diese noch fortdauernd *Reaumür'sche* und die ihnen zugehörige achtzigtheilige Scale gleichfalls die *Reaumür'sche Scale.* Dieses ist allerdings zu verwundern, wenn man berücksichtigt, wie sehr man bemüht war, diese in ihrer Aechtheit zu retten. Dahin gehört der Vorschlag, dem Weingeistthermometer 90 Grade zwischen beiden festen Puncten zu geben, wovon das Umgekehrte in dem von NOLLET angewandten Verfahren liegt, die untere Hälfte der Scale um $\frac{1}{9}$ zu verkleinern, wie bei dem an HAUBOLD gesandten Thermometer geschehn war. Später änderte GOUBERT[1] diesen Vorschlag ab und wollte den Raum zwischen den festen Puncten zuerst in 90 Theile, dann drei Abtheilungen dieses Raumes, zuerst von 0 bis 25,5, dann von 25,5 bis 54,75 und endlich von 54,75 bis 90, jede für sich in 30 gleiche Grade theilen. REAUMUR hatte unter andern auch eine Sorte Weingeist gebraucht, dessen Volumen im gefrierenden Wasser 400 und im siedenden 437 betrug. Da aber $400:437=1000:1092,5$, so gründete hierauf BRAUN[2] den Vorschlag, dem Reaumür'schen Weingeistthermometer 80 und dem Quecksilberthermometer 93 Grade zu geben.

22) Unter den übrigen in Vorschlag gebrachten Thermometern hat das *de l'Isle'sche* die meiste Celebrität erlangt. Der Erfinder desselben, DE L'ISLE[3], legte im Jahre 1733 der Akademie zu Petersburg die Theorie desselben vor und be-

---

1 Recherches sur les différences, qui existent entre les thermomètres de Mercure et ceux d'esprit-de-vin. Par. 1789. 8.

2 Nov. Comm. Petrop. T. VII.

3 Mém. pour servir à l'hist. et aux progrès de l'Astron. et géogr. phys. A St. Petersb. 1738. 4. p. 267.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mühte sich dann, dieselbe in Ausführung zu bringen. Auch diese war auf das Princip gegründet, dafs die Zunahmen der Wärme und somit die Thermometergrade aus den Volumensvermehrungen der thermoskopischen Flüssigkeit bestimmt werden müfsten. Zu letztérer wählte er Quecksilber, glaubte aber, man müsse von demjenigen Volumen desselben ausgehn, welches es bei der Hitze des siedenden Wassers habe, und von diesem Nullpuncte an die Zehntausendstel seiner Zusammenziehung als einzelne Grade der Thermometerscale annehmen. Begreiflicher Weise sollte durch dieses mühsame Verfahren nur ein Normalthermometer verfertigt werden, um nach einem solchen dann die übrigen zu graduiren. Zu diesem Ende sollte zuerst das leere Thermometer, dann das mit Quecksilber ganz gefüllte gewogen werden, um das absolute Gewicht des Quecksilbers zu erhalten. Hierauf sollte man dasselbe in siedendes Wasser bringen, das hierbei ausgelaufene Quecksilber abermals wägen, um das Verhältnifs beider zu ermitteln, und dann 0,0001 der Volumensverminderung als das Mafs eines Wärmegrades annehmen. Hiernach mufsten die Grade vom Nullpuncte bei der Siedehitze an abwärts ohne Unterbrechung weiter gezählt werden und waren somit wachsend selbst bis zum absoluten Nullpuncte oder dem Puncte der Abwesenheit aller Wärme.

Es ist in der That zu verwundern, dafs weder der Erfinder selbst die völlige Verkehrtheit dieses Vorschlags einsah, noch dafs irgend jemand diese rügte, während man stets das Problem verfolgte, die absolute Volumensvermehrung des Quecksilbers durch Wärme aufzufinden. Das Widersinnige, wie man wohl sagen darf, liegt offenbar darin, die Abnahme der Wärme einer wachsenden positiven Zahl proportional zu setzen, woraus dann folgte, dafs man bis unter den absoluten Nullpunct oder zum Weniger als dem Nichts der Wärme herabgehend diesen Mangel durch fortlaufend gröfsere Zahlen bezeichnen müfste. Auffallender wird dieses, wenn man berücksichtigt, dafs die in Wirklichkeit vorhandenen und wachsenden Zunahmen der Wärme über der Siedehitze des Wassers, also dem Null der neuen Scale, nothwendig negative Gröfsen wurden. Hiergegen verschwindet die kaum zu erreichende Ausführung des Vorschlags, welche vor allen Dingen erfordert, dafs beide Wägungen des Quecksilbers, der

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

vollen Röhre und nach dem Auslaufen des bestimmten Theiles der Flüssigkeit, bei gleicher Temperatur vorgenommen wurden. Weitbrecht[1] bediente sich dazu des Mittels, das Thermometer in das Wasser der grofsentheils gefrorenen Newa zu senken und die Wägungen vorzunehmen, wenn es die Temperatur desselben angenommen hatte. Auf diese Weise fand er, dafs die Zusammenziehungen des Quecksilbers vom Siedepuncte des Wassers bis zum Gefrieren desselben zwischen 148,2 und 161,5 Zehntausendstel des ganzen Volumens betrugen[2]; de l'Isle nahm etwas weniger, als das Mittel aus beiden Gröfsen, nämlich 153, setzte aber statt dessen auf seinen Scalen 150, was jedoch nach den neuesten Bestimmungen von Dulong und Petit[3] gleichfalls nicht richtig ist, denn danach dehnt sich dieses Metall um $\frac{150}{8325}$ statt um $\frac{150}{10000}$ seines Volumens aus.

23) Zunächst verdient noch Celsius[4] genannt zu werden, welcher einsah, dafs das Bestreben, die Wärmezunahmen nach der Vergröfserung des Volumens zu messen, wegen unüberwindlicher Schwierigkeiten nie zum Ziele führen werde und dafs es daher am zweckmäfsigsten sey, die Temperatur des schmelzenden Eises und des siedenden Wassers als Normalpuncte anzunehmen, das Intervall dazwischen aber zu gröfserer Bequemlichkeit in 100 gleiche Theile zu theilen. Dieser Vorschlag hätte schon seiner Einfachheit wegen allgemeinen Eingang finden sollen, allein, wie man gewöhnlich das Einfachste vernachlässigt und nach dem Dunkleren, als dem tiefer Gedachten, hascht, so fand auch diese Scale nur in Schweden Anhänger, bis sie erst in den neuesten Zeiten sehr allgemein, insbesondere in Frankreich, aufgenommen wurde. Sie heifst die *schwedische* oder die *Celsius'sche* oder auch die *Christin'sche*, weil auch Christin in Lyon vorschlug, die Scale zwischen den beiden Normalpuncten in 100 gleiche Theile zu theilen; gewöhnlich wird sie die *hunderttheilige* oder *Centesimalscale* genannt.

---

1 Comm. Petrop. T. VIII. p. 810.

2 Im Mittel wog das gesammte Quecksilber 66,5 Unzen und eine Unze flofs aus. Setzt man das Ganze = 10000, so giebt die Proportion 1 : 66,5 = x : 10000 den Werth von x = 150,37.

3 S. Art. *Ausdehnung*; *des Quecksilbers*. Bd. I. S. 600.

4 Schwedische Abhandl. 1742. p. 197.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die zahlreichen Schriftsteller über die Thermometrie aus jenen früheren Zeiten, als LEUTMANN[1], BÜLFINGER[2], v. BERGEN[3], HENNERT[4], VAN SWINDEN[5], COTTE[6] und Andere, nennen noch eine Menge von Vorschlägen zur Construction und Verbesserung der Thermometer, die kaum der Beachtung werth sind. Von den *Florentiner Thermometern* gab es zwei Arten, eine gröſsere und eine kleinere; die gröſsere zeigte im schmelzenden Eise 20 und als Wärme des menschlichen Körpers 80 Grad, die kleinere 13,5 und 40 Grad. Das berühmte, unter der Aufsicht von LA HIRE im Jahre 1678 durch HUBEN verfertigte Thermometer der Pariser Sternwarte zeigte im gefrierenden Wasser 28 Grad, in den Kellern 48 Grad, nach BRISSON[7] aber lag sein Eispunct bei 32, in einer Mischung aus Eis und Salz zeigte es 5, in den Kellern der Sternwarte 48 und als menschliche Wärme 86 Grad[8]. Der Marchese POLENI stellte seine Wetterbeobachtungen mit einem Luftthermometer an, worin die Quecksilbersäule kürzer war, als in dem von AMONTONS, indem nach MARTINE[9] 47 Zoll bei jenem 51 Z. bei diesem, und 53 bei jenem 59,5 bei diesem betrugen. In England bediente man sich gewisser Weingeistthermometer, die nach einem normalen der kön. Societät graduirt waren; die Grade nahmen von der höheren Wärme an abwärts zu, 0 bezeichnete sehr warm, 25 warm, 45 gemäſsigt und 65 Gefrierung. Nach MARTINE fiel ihr Null mit 89° F. und ihr 34,5 mit 64° F. zusammen. In den englischen Gewächshäusern waren die sogenannten *Fowler'schen*, gleichfalls nach einem normalen graduirten gebräuchlich, deren Null nach MARTINE eine gemäſsigte Wärme anzeigte und die im zergehenden Eise 34° unter Null, bei 64° F. aber 16 Grad über Null

---

1 Instrumenta meteorologiae inservientia. Witeb. 1725. 8.

2 Comm. Petrop. T. III. p. 196.

3 Comment. de Thermometris mensurae constantis. Norimb. 1757. 4.

4 Traité des Thermomètres. à la Haye 1758. 8.

5 Dissertation sur la Comparaison des Thermomètres. Amst. 1778. 8.

6 Traité de Météorologie. Par. 1774. 4.

7 Dict. de Phys. T. II. p. 636.

8 Es kam 1754 abhanden, war aber vorher mit einem andern verglichen worden. S. BEAUMÉ in Journ. de Phys. T. XLVIII. p. 282.

9 Essay medical and philosophical. Lond. 1740. 8. p. 200.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zeigten. Hales[1] macht seine Bestimmungen nach einem Weingeistthermometer, welches im schmelzenden Eise Null, in der Wärme des schmelzenden Wachses (bei 142° F. nach Martine) 100 zeigte. Die in den alten Edinburger Medical Essays angegebenen Temperaturen beziehn sich auf ein Thermometer, welches in Zolle abgetheilt war; es zeigte nach Martine im schmelzenden Schnee 2,2 Zoll und bei der menschlichen Wärme 22,2 Zoll. Micheli Ducrest[2] construirte 1740 ein eigentliches Thermometer. Dabei nahm er eine Wärme- und eine Kältematerie an, deren Wirkungen sich im Innern der Erde aufheben sollten, weswegen er die Erdtemperatur, die er als überall gleich betrachtete und in den Kellern der Pariser Sternwarte zu finden glaubte, mit Null bezeichnete und *le tempéré* nannte; als zweiter Punct diente ihm die Siedehitze des Wassers, und damit der Weingeist diese aushalten möge, versah er das obere Ende der Röhre mit einer verschlossenen Kugel, worin die Luft bei hohen Temperaturen comprimirt wurde; den Raum zwischen beiden Puncten theilte er in 100 Grade.

24) Man mufs sich in der That freuen, dafs alle diese nutzlosen und zeitraubenden Untersuchungen endlich aufgehört haben, und so ist auch leicht erklärlich, dafs der neueste Vorschlag von La Lande[3] gar keinen Beifall gefunden hat und eigentlich ganz unbeachtet geblieben ist; doch möge er der Vollständigkeit wegen und aus Achtung gegen den berühmten Erfinder hier erwähnt werden. An allen bekannten Thermometern findet er auszusetzen, dafs die festen Puncte nicht gehörig begründet und die Eintheilungen ganz willkürlich sind, denn der Siedepunct des Quecksilbers werde nie beobachtet,

---

1 Vegetable Statics. Lond. 1731. 8.

2 Description de la méthode d'un thermomètre universel. Par. 1742. 8. Recueil des pièces sur les Thermomètres et Barom. Bâle 1757. 4. Mich. du Crest kleine Schriften von den Thermometern und Barometern. Uebers. von J. C. Thenn. 3te Aufl. Augsb. 1770. 8.

3 Journ. de Phys. An 12. Frim. (1803). T. LVII. p. 457. G. XVII. 102. Voigt's Mag. Th. VII. S. 465. Ein Vorschlag von Andrew Skene in Monthly Magaz. 1826. Sept., wonach der Schmelzpunct des Quecksilbers und der des Eises als feste Puncte der Thermometerscalen dienen sollen, verdient kaum erwähnt zu werden, weil das Ganze auf falschen Principien beruht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Fahrenheit'sche Frostpunct beruhe blofs auf Einbildung, und wie das Reaumür'sche Thermometer beschaffen gewesen sey, wisse man überhaupt nicht. Am besten sey es daher, mit DE L'ISLE die Ausdehnung des Quecksilbers zwischen den Puncten des gefrierenden und des siedenden Wassers zu 150 Zehntausendstel des ganzen Volumens anzunehmen und dann einen natürlichen Wärmepunct, welcher in der constanten Erdwärme liege, die in den Kellern der Sternwarte zu Paris 9°,5 R. betrage, als den eigentlichen Scheidepunct zwischen Wärme und Kälte festzusetzen. Hieraus entsteht dann folgende, mit der achtzigtheiligen verglichene Scale:

Grade d. Wärme. Reaum.	Lalande	
80°	+ 132,8	Siedendes Wasser.
36	49,9	Wärme am Senegal.
32,5	43,3	
32	42,3	Sommer 1753, 1765, 1793.
31	40,4	
30	38,5	Menschliche Wärme.
29	36,7	
28	34,8	
27	32,9	
26	31,0	Mittlerer Sommer zu Paris.
25	29,1	Unter dem Aequator auf der See.
24	27,3	
23	25,3	
22	23,5	Kalter Sommer zu Paris.
21	21,6	
20	19,7	
19	17,9	Seidenwürmer-Wärme.
18	16,0	
17	14,1	
16	12,2	
15	10,3	Wärme der Treibhäuser.
14	8,5	
13	6,6	
12	4,7	
11	2,8	
10	1,0	
9,5	0,0	Mittlere Temperatur.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Grade der Kälte Reaum.	Lalande	
9°	— 1,0°	
8	— 2,9	
7	— 4,7	
6	— 6,6	
5	— 8,5	
4	—10,3	
3	—12,2	
2	—14,1	
1	—16,0	
0	—17,9	Schmelzendes Eis.
— 1	—19,8	
— 2	—21,5	
— 3	—23,5	
— 4	—25,4	Gelinder Winter zu Paris.
— 5	—27,4	
— 6	—29,2	
— 7	—31,0	Mittlerer Winter zu Paris.
— 8	—32,9	
— 9	—34,8	
—10	—36,7	
—11	—38,6	Kälte des Winters 1740 zu Paris.
—12	—40,4	
—13	—42,3	
—14	—44,2	Fahrenheit's Nullpunct.
—15	—46,1	
—16	—48,0	
—17	—49,9	Kälte von 1709 und 1776 zu Paris.
—17,5	—50,8	Kälte von 1788 zu Paris.
—30	—74,4	Gefrierpunct des Quecksilbers.

Diese Scale gleicht vollkommen denen, die man nach der Mitte des vorigen Jahrhunderts den grofsen und vorzüglich seyn sollenden Thermometern zu geben pflegte, und mufs um so weniger zweckmäfsig erscheinen, je mehr es auffällt, dafs die nach den früheren Thermometern bekannten ausgezeichneten Temperaturen sämmtlich auf Bruchtheile bei diesem fallen. Angemessener würde es seyn, nach dem Vorschlage von Murray[1] den Gefrierpunct und Siedepunct des Quecksilbers als Normalpuncte anzunehmen und den Zwischenraum in 1000 Theile zu theilen, wonach jeder Grad etwas über halb so grofs, als ein Fahrenheit'scher werden würde; allein am Queck-

1 Chemistry. T. I. p. 201.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

silberthermometer sind diese beiden Puncte auf keine Weise scharf bestimmbar, und aufserdem ist die Ausdehnung des Quecksilbers keineswegs eine gleichmäfsige, so dafs es weit rathsamer erscheinen mufs, die Thermometerscale auf diejenigen Grenzen zu beschränken, innerhalb deren seine Ausdehnung als gleichmäfsig gelten kann. Den sinnreichsten Vorschlag unter allen, wonach die absolute Ausdehnung des Quecksilbers die Grundlage der thermometrischen Messung seyn soll und wobei man nur einen festen Punct, den Frostpunct, bedarf, der Bestimmung des Siedepunctes aber, die vom Luftdrucke und andern Bedingungen abhängt, gänzlich überhoben ist, hat Sulzer[1] bekannt gemacht, und es würde allerdings möglich seyn, hiernach übereinstimmende Thermometer zu erhalten, wenn nicht die an sich schon sehr mühsame Methode einen so aufserordentlichen Grad von Genauigkeit erforderte. Hiernach wird an die calibrirte Röhre eine verhältnifsmäfsig hinlänglich grofse Kugel geblasen und dann ein Theil der Röhre, etwa a c, nach irgend einem Mafsstabe scharf gemessen; dann erhitzt man die Kugel wiederholt, taucht das Ende a in Quecksilber, läfst dieses bis c steigen, und wiederholt dieses so lange, bis die Kugel nahe ganz gefüllt ist. Alsdann taucht man die Kugel in siedendes Wasser, merkt den Punct, bis wohin das Quecksilber steigt, z. B. bis h, läfst das Quecksilber durch Hitze bis zur Oeffnung a steigen, taucht diese in Quecksilber und läfst den Apparat erkalten, so füllt er sich ganz mit einer nach der Länge des Quecksilberfadens im Röhrchen gemessenen Quantität Quecksilber. Wird nämlich die Menge der Füllungen bis c mit den Theilen des gewählten Mafsstabes multiplicirt und die Länge a h hinzuaddirt, so hat man die ganze Länge der im Thermometer befindlichen Quecksilbersäule. Hätte man z. B. für die Länge a c 547 Theile auf dem Mafsstabe gemessen, die Einfüllung dieser Gröfse 69-mal wiederholt und die Länge a h = 468 Theile gefunden, so betrüge die ganze Länge des im Thermometer befindlichen Quecksilberfadens $547 \times 69 + 468 = 38211$ Theile des Mafsstabes. Mit Vernachlässigung der beiden letzten Ziffern nimmt man also 382 Theile des Mafsstabes, theilt sie in 100 Theile, trägt diese auf die Scale des Thermometers, läfst durch Ein- Fig. 75.

1 Journ. de Phys. T. XI. p. 371.

tauchen in siedendes Wasser einen Theil Quecksilber auslaufen, und befestigt das Thermometer so auf der Scale, dafs der Gefrierpunct auf 0 derselben zu liegen kommt, so bezeichnet jeder Grad der Scale 0,0001 der wirklichen Ausdehnung des Quecksilbers. Brewster's[1] Vorschlag endlich, die Temperatur aus dem Einflusse zu bestimmen, welchen das mehr oder weniger erhitzte Glas auf die Erzeugung einer kenntlichen Farbe im polarisirten Lichte hervorbringt, und wonach er ein Thermometer zu construiren angiebt, ist blofs als ein sinnreicher Gedanke zu betrachten, welcher keine praktische Anwendung gestattet[2].

C. Verfertigung der Thermometer.

Man wird hier keine vollständige Anleitung zur Verfertigung der gewöhnlichen Thermometer erwarten, da der ausübende Künstler dieses praktisch erlernen mufs; aber einige Bemerkungen sind zur besseren Beurtheilung dieser wichtigen Apparate unentbehrlich[3].

25) Die *Form* der gewöhnlichen Thermometer, wenn keine sonstigen Bedingungen eine Abänderung nöthig machen, ist die eines geeigneten Gefäfses an einer engen Glasröhre, einem Haarröhrchen, einer sogenannten Thermometerröhre, damit die gröfsere im Gefäfse enthaltene Masse Quecksilbers, wenn sie sich durch Wärme ausdehnt, in der engen Röhre einen gehörig langen und daher leicht mefsbaren Cylinder bilde. Die Gröfse des Gefäfses und die Weite der Röhre erfordern

---

1 Philos. Trans. 1816. p. 109.

2 Eine ausführliche Musterung der älteren Thermometerscalen und eine Vergleichung derselben, namentlich der Edinburger, der von Newton, Fowler, Hales, der der Königl. Societät, der von Cruquius, Christin, Micheli, Reaumur, de l'Isle, Fahrenheit, des Pariser, der beiden Florentiner, des von la Hire, von Amontons und Poleni findet man im Journ. de Phys. Introd. T. II. p. 495. Das Ganze ist meistens ein Auszug aus dem genannten Werke von Martine, und es ergiebt sich zugleich aus den bisherigen Untersuchungen, dafs die Bestimmungen nicht genau seyn können.

3 Vergl. Biot Traité de Phys. expér. et math. T. I. p. 27 ff. Körner's Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer. Jena 1824.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ein gewisses Verhältnifs; je gröfser das Gefäfs bei gleicher Weite der Röhre, desto länger ist der durch Wärmevermehrung im Röhrchen gebildete Cylinder; es wäre daher räthlich, sehr weite Gefäfse zu wählen, allein dann nimmt erstlich die grofse Masse des Quecksilbers die höhere Wärme nicht leicht an, zweitens ist das Gefäfs dem Einflusse des Luftdruckes oder einer Zusammenziehung des Glases mehr ausgesetzt[1], drittens sind lange Thermometer unbehülflich und zu manchen Zwecken, z. B. zur Untersuchung der thierischen Wärme, minder oder gar nicht brauchbar, viertens aber sind lange Röhren von genauem Caliber schwierig oder gar nicht zu erhalten. Nach den Bedürfnissen beträgt daher die Länge der Thermometer von etwa 3 Zoll bis zu 18 Zoll und wohl noch darüber, die ungewöhnliche, über 8 bis 10 Zoll betragende Gröfse wählt man aber in der Regel nur für Scalen, die beträchtlich über den Siedepunct des Wassers hinausgehn. Als *Gefäfs* dient gewöhnlich eine Kugel, und nach den Resultaten der neuesten Untersuchungen sollte man keine andere Form wählen, weil bei diesen die Oberfläche, also auch die Gröfse der das Quecksilber enthaltenden Hülle im Verhältnifs zum Inhalte am kleinsten, mithin der Luftdruck gegen die Oberfläche und eine mögliche Zusammenziehung derselben am kleinsten ist. Blofs bei Thermometern mit sehr langen Röhren, z. B. solchen, die man 4 bis 5 und 6, ja 7 bis 24 Fufs tief in die Erde eingräbt, würde die Dicke des Glases so grofser Kugeln zu gering werden und man mufs daher Cylinder wählen. Gegenwärtig sind Kugeln am gemeinsten, doch trifft man nicht selten auch Cylinder, ehemals aber wählte man auch andere Formen, theils weil man sie für schöner hielt, hauptsächlich aber um dem Einflusse der Wärme auf die thermometrische Flüssigkeit eine gröfsere Oberfläche darzubieten. Zu diesem Ende dienten die spiralförmig gewundenen Röhren, wie sie sich bei den mit Quecksilber und mit Weingeist gefüllten Thermometern der Churpfälzischen meteorologischen Gesellschaft häufig finden und durch diese sehr allgemein bekannt wurden, oder man trennte das Gefäfs in zwei Theile, um in der Mitte einen offenen, dem Zutritte der Luft freien Raum zu erhalten, allein diese und sonstige Aftermittel der Vervoll-

Fig. 76.

Fig. 77.

1 Hierüber unten ausführlicher.

kommnung wendet man jetzt nicht mehr an und verliert dagegen das Streben nach möglichster Genauigkeit nie aus den Augen. Eine der gewöhnlicheren Formen, wodurch man die zu grofsen Kugeln zu vermeiden sucht, die zugleich wegen ihrer Wölbung den Cylindern vorzuziehn seyn dürfte, ist die in der Zeichnung ausgedrückte. Nicht allgemein, wohl aber für einen besonderen Zweck zu verwenden, sind die von Magellan[1] angegebenen sogenannten Muschelthermometer, bei denen die Kugel an der einen Seite wieder eingedrückt wird, so dafs beide Kugelflächen einander parallel laufen und eine muschelförmige Vertiefung entsteht. Das Eindrücken der Kugel geschieht leicht, wenn man die eine Hälfte derselben glühend macht und dann am andern Ende des Röhrchens saugt, so dafs der äufsere Luftdruck den erweichten Theil der Kugelfläche niederdrückt. Solche Thermometer dienen dazu, um in der Vertiefung zu untersuchende Flüssigkeiten aufzunehmen und ihr thermisches Verhalten beim Sieden, bei der Verdampfung, beim Gestehen und sonstigen Veränderungen zu messen. Man hat bis jetzt von ihnen weniger Gebrauch gemacht, als zu erwarten war.

Fig. 78.

Fig. 79.

26) Die *Thermometerröhren* haben einen in ihrer Axe fortlaufenden entweder cylindrischen oder bandförmigen Raum. Letztere Beschaffenheit, wobei die Röhren selbst zugleich nicht rund, sondern flach sind, ist bei weitem vorzuziehn, weil bei geringerem Inhalte unter übrigens gleichen Verhältnissen die Scalentheile länger werden und besser sichtbar sind. Man erhält diese leicht; denn statt dafs bei gewöhnlichen Röhren mit cylindrischen Räumen eine hohle Kugel in die Glasmasse geblasen und letztere dann zu langen Röhren ausgezogen wird, drückt man sie vor dem Ausziehn flach, wodurch die Röhren selbst und die hohlen Räume in denselben abgeplattet werden.

27) Das *Calibriren* der Röhren geht aus dem Wesen der Thermometrie und aus der Art der Verfertigung der Röhren mit absoluter Nothwendigkeit hervor. Abgesehn von der (gegenwärtig nicht weiter zu berücksichtigenden) Messung der absoluten Incremente der Wärme setzt man voraus, dafs gleiche Vermehrungen der Wärme gleichen Zunahmen des Volumens

---

1 Beschreibung neuer Barometer. D. Uebers. Leipz. 1782. 8.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Flüssigkeit zugehören, und da die letzteren in Theilen des Quecksilberfadens im Röhrchen gemessen werden, so setzt die Gleichheit der Länge dieser Theile eine Gleichheit der Dicke als nothwendig voraus. Die Fabrication der Röhren aber, bei denen ein gröſserer, mit Luft angefüllter Raum in einen sehr feinen Faden ausgezogen wird, macht die Entstehung einer vollkommenen Cylinderform ganz unmöglich[1], jedoch ist die Abweichung davon für die Länge gewöhnlicher Thermometer so gering, daſs man den Fehler als verschwindend betrachten kann. Der Künstler erhält aber aus einer groſsen Menge von Röhren eine nur geringe Anzahl und von nicht groſser Länge solcher, bei denen dieses der Fall ist, und da auch sonst ungeübte Beobachter den hierauf beruhenden richtigen Gang der Thermometer bei mittleren Temperaturen durch Vergleichung leicht prüfen können, so bringen minder gewissenhafte Thermometermacher den Theil der Röhre, wobei das Caliber richtig ist, in diesen Bereich, und vernachlässigen dieses von etwa — 10° an, weswegen man in den Bestimmungen hoher Kältegrade oft so bedeutende Abweichungen findet. Das Calibriren geschieht dann auf die bereits erwähnte[2], von Nollet[3] zuerst angegebene Weise, Kummer[4] dagegen untersucht das Caliber erst nach angeblasener Kugel oder bläst provisorisch eine Kugel an, erwärmt diese, taucht das offene Ende der Röhre in Quecksilber, bis ein Faden von etwa 1 Zoll Länge eingedrungen ist, verschlieſst die Oeffnung mit dem Finger, läſst den Faden durch etwas zugelassene Luft sich allmälig bis an die Kugel heben und miſst seine Länge mit einem Federcirkel[5].

28) An das gehörig gewählte Röhrchen wird dann das *Gefäſs*, im Allgemeinen die *Kugel*, angeblasen. Obgleich dieses an sich nicht schwer ist, so wird es doch niemand nach einer bloſsen Beschreibung zu bewerkstelligen vermögen; es ist hierzu praktische Anweisung und Uebung erforderlich, und

---

1 Kummer lieſs sich 600 Fuſs Röhren in Stücken von etwa 10 Klafter Länge verfertigen und erhielt daraus nur 40 Fuſs in Stücken von 1,5 bis 2 Fuſs Länge mit richtigem Caliber. G. LIX. 302.

2 S. Art. *Caliber*. Bd. II. S. 8.

3 Leçons de Phys. 1754. 8. T. IV. p. 376.

4 G. LIX. 301.

5 Sonstige Vorschriften werden weiter unten erörtert werden.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ich überhebe mich daher, weiter hiervon zu reden. Biot[1] hält das gewöhnliche Verfahren der Künstler, wonach sie das eine, an der Glasblaselampe erweichte und etwas gestauchte Ende der Röhre mit dem Munde aufblasen, für ungeeignet, weil dadurch Feuchtigkeit hineinkomme, und verlangt daher, man solle am offenen Ende der Röhre eine Blase von Caoutchouc anbinden und diese zusammendrücken, um die darin enthaltene Luft in die Kugel zu pressen. Dieses Verfahren ist allerdings weitläuftig und die anhängende Blase macht die Manipulation des Röhrchens unsicher, zudem aber wird die Kugel, um die gehörige Form genau anzunehmen, einige Zeit glühend erhalten, befindet sich auch noch im Zustande des Glühens, wenn nicht mehr hineingeblasen wird, so dafs die unbedeutende Menge der eingedrungenen Feuchtigkeit bis auf einen unmerklichen Rest als Dampf entweichen wird. Bei Thermometern mit etwas weiten Röhren, aus denen die Feuchtigkeit wieder entweichen kann, ist daher das gewöhnliche Verfahren unschädlich, bei sehr engen und zugleich langen Röhren fordern aber auch Bellani[2], Landriani[3] und Andere die Anwendung der Caoutchoucblase oder einer kleinen Compressionspumpe als nothwendig. Um für eine Röhre von gegebener Länge und Weite die Gröfse der Kugel zu finden, giebt Luz Regeln an, Gehler[4] theilt eine allgemeine Formel mit und de Luc[5] gleichfalls eine durch Durand aufgestellte; allein eine Messung ist hierbei schon deswegen unmöglich, weil die Kugel ebenso wenig als irgend ein anderweitig gestaltetes Gefäfs je eine völlig regelmäfsige Gestalt annimmt, und alle solche Anweisungen sind daher schon aus diesem Grunde nutzlos, sonstiger Hindernisse nicht zu gedenken. Praktische Künstler erhalten durch die Menge der von ihnen verfertigten, zum Theil sehr gewöhnlichen Thermometer eine solche Fertigkeit im Abmessen der erforderlichen Gröfsen, dafs sie sogar abgebrochene Kugeln an bereits graduirte Röhren zu bla-

1 Traité de Phys. T. I. p. 30.
2 Brugnatelli Giornale Dec. 1. T. IV. p. 89.
3 Ebend. Dec. 11. T. II. p. 292.
4 Alte Ausg. Th. IV. S. 346.
5 Unters. über d. Atmosphäre. Th. I. S. 611. Ebendieses geschieht durch Biot a. a. O. und durch Herschel in Encyclop. metrop. Art. *Heat.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sen vermögen, ohne dabei eine Unrichtigkeit der neuen Scale von mehr als etwa zwei bis drei Graden hervorzubringen. Dafs letzteres Verfahren übrigens nur einmal als Probe zu versuchen, praktisch aber nicht anwendbar, jede graduirte und bereits mit einer Scale versehene Röhre mit zerbrochener Kugel also für diese nämliche Scale unbrauchbar sey, darf wohl nicht besonders erwähnt werden.

29) In Beziehung auf das *Füllen der Thermometer* genügt es, blofs das Quecksilber zu berücksichtigen, da das Hineinbringen anderer Flüssigkeiten auf eine ähnliche Weise, aber weit leichter bewerkstelligt wird. Vorerst ist erforderlich, dafs das Quecksilber rein sey, weil sonst seine Ausdehnung minder gleichmäfsig seyn und sein Gefrierpunct höher liegen würde. Man darf jedoch voraussetzen, dafs das in gröfseren Quantitäten bei guten Materialisten vorhandene Quecksilber für diesen Zweck als hinlänglich rein gelten könne, denn die Verfälschungen mit Blei geschehen in der Regel nur durch Kleinhändler; will man dasselbe jedoch reinigen, so ist die Anweisung hierzu bereits[1] gegeben. Von gröfserer Wichtigkeit dagegen ist es, dahin zu sehn, dafs das Quecksilber trocken und von Staub frei sey, weil alle Beimengungen dieser Art leicht eine Trennung des Quecksilberfadens im engen Rohre bewirken. Das einfachste und leichteste Mittel der Reinigung von solchen Substanzen, so wie von anhängendem Oele in Folge der Reduction, besteht darin, dafs man dasselbe in einem gewöhnlichen steinernen Kruge, worin es oft aufbewahrt und auch wohl versandt wird, eine Zeit lang mit einigen Stücken trockner Holzkohle, die man auch glühend hineinwerfen kann, anhaltend stark schüttelt und dann mehrmals durch Papierdüten mit sehr enger Oeffnung laufen läfst, um das zerriebene Kohlenpulver gänzlich zu entfernen. Das Verfahren des Füllens, wie Luz und Strohmeyer es vorschreiben, ist meines Wissens jetzt nicht mehr gebräuchlich, denn kleiner Trichterchen zum Einbringen des Quecksilbers bedient man sich auf jeden Fall nicht, bei der Leichtigkeit des Glasblasens dagegen pflegt man am oberen Ende der Röhre eine verhältnifsmäfsig grofse Kugel anzubringen und diese oben in eine feine Spitze auszuziehn. Wird dann der ganze Apparat

1 S. Art. *Barometer*. Bd. I. S. 880.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

etwas erhitzt, was meistens mit mehreren zur Ersparung der Zeit zugleich geschieht, und die obere offene Spitze in ein Glas mit gereinigtem Quecksilber gesenkt, so füllt sich nach dem Abkühlen die genannte Hülfskugel mit einer mehr als genügenden Menge Quecksilber. Alsdann wird nach dem Umkehren die eigentliche Kugel über Kohlen abwechselnd erhitzt und wieder abgekühlt, so dafs das Quecksilber allmälig eindringt, bis alle Luft entfernt und Kugel nebst Röhrchen gefüllt sind, wobei es ein Leichtes ist, falls die in der oberen Hülfskugel befindliche Menge Quecksilbers nicht genügen sollte, noch etwas mehr hineinzubringen. Sehr wesentliches Erfordernifs bei den Thermometern ist, dafs das Quecksilber völlig frei von Luft und Feuchtigkeit sey, weil der geringste Rest der einen oder der andern nicht blofs eine ungleichmäfsige Ausdehnung verursacht, sondern auch leicht eine Trennung des Quecksilberfadens bewirkt, wodurch ein sicheres Ablesen der Grade fast unmöglich, auf jeden Fall höchst schwierig wird. Man begnügt sich daher nicht damit, durch Ausdehnung der Luft und Abkühlung derselben stets neue Portionen Quecksilber in die Kugel zu bringen, sondern man läfst diese Flüssigkeit wirklich zum Sieden kommen und erhält sie darin so lange, bis auch die letzten Antheile von Luft und Feuchtigkeit entwichen sind, worauf dann das vertical gestellte Thermometer sich vollständig füllt und man das überflüssige Quecksilber aus der obern Kugel schüttet. Hiernach untersucht man vorläufig, ob Röhre und Kugel ein solches Verhältnifs haben, dafs der Punct des schmelzenden Schnees an die geeignete Stelle der Scale fällt, und bringt so viel Quecksilber heraus, bis dieses der Fall ist, zieht dann die Röhre unterhalb der oberen Kugel in eine feine Spitze aus, bricht sie dort ab, und vorausgesetzt, dafs die Röhre hinreichende Länge habe, um oben den Siedepunct des Wassers aufzunehmen, unten aber noch eine gehörige Anzahl Grade unter dem Gefrierpuncte des Wassers zu erhalten, erhitzt man die Kugel so lange, bis ein kleines Tröpfchen Quecksilber aus der oberen Spitze heraussteht oder bis der Quecksilberfaden so hoch in die Spitze aufsteigt, dafs der Rest der darin vorhandenen Luft als verschwindend zu betrachten ist, und schmelzt dann schnell die Spitze zu. Endlich folgt das definitive Verschliefsen der Röhre durch Abschmelzen der oberen Spitze, wobei die Röhre stets

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

noch einige Grade länger bleibt, als bis an den Siedepunct des Wassers, weil Flüssigkeiten so schwer zusammendrückbar sind, die Ausdehnung derselben aber mit aufserordentlicher Gewalt verbunden ist, folglich das Thermometer sofort zersprengt werden würde, wenn die Wärme nur etwas über den Siedepunct des Wassers stiege. Man hält diesen luftleeren Zustand der Thermometer für nöthig, und prüft sie daher, ob das Quecksilber beim Umkehren derselben bis in die Spitze hinabsinkt, welches dann jederzeit geschieht, aufser bei aufserordentlich feinen Thermometern, wobei die Adhäsion des Quecksilbers am Glase sein Gewicht übertrifft. Biot führt als Grund an, dafs sonst leicht etwas Luft zwischen das Quecksilber kommen könne, allein die innere Weite des Röhrchens ist zu eng, um dieses zu gestatten, und es wäre in Beziehung auf die Unveränderlichkeit des Nullpunctes besser, wenn die atmosphärische Luft auf den Quecksilberfaden drückte. Ein wichtigerer und entscheidender Grund liegt jedoch nach Biot darin, dafs leicht etwas Quecksilber aus dem offenen Röhrchen verloren werden könnte, wozu man noch einen andern setzen kann, dafs unfehlbar Staub und Feuchtigkeit eindringen und die inwendige Oeffnung des Röhrchens verunreinigen würden. Aus dieser Ursache mufs das Ende des Röhrchens verschlossen seyn, und dann würde die mit den Graden der Wärme wachsende Zusammendrückung der eingeschlossenen Luft auf jeden Fall nachtheilig wirken, wenn es nicht luftleer wäre. Wenn aber dennoch der Quecksilberfaden sich trennt, was durch irgend einen verschwindenden Theil von adhärirender Luft oder Feuchtigkeit bei aufgehobenem äufsern Luftdrucke nur noch leichter geschieht, so bewirkt man meistens die Vereinigung des getrennten Quecksilbers dadurch, dafs man, das Thermometer in verticaler Richtung zwischen den Fingern haltend, mit dieser Hand auf die andere Hand schlägt, um durch die Erschütterung den beabsichtigten Zweck zu erreichen; wenn dieses aber nicht erfolgt, so kann man dasselbe in einem Kreise herumschwingen, ja Biot empfiehlt sogar, einen Faden von einem oder zwei Meter Länge anzubinden, um die Wirkung des Schwunges zu vermehren. Soll die Scale des Thermometers bis zum Siedepuncte des Quecksilbers reichen oder reicht die Scale, wenn die Grade sehr grofs und wieder in Theile getheilt werden sollen, wie z. B. bei den

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Psychrometern, nicht bis an den Siedepunct, so mufs am oberen Ende des Thermometers eine Kugel angeblasen oder das Ende selbst in einen gehörigen Raum erweitert werden, um das aufsteigende Quecksilber aufzunehmen. Wenn sich bei diesen der Quecksilberfaden trennt, was durch heftige Erschütterung bei denjenigen leicht eintritt, die bis zum Siedepuncte des Quecksilbers reichen[1], weil sie nicht luftleer seyn können, so darf man die untere Kugel nur so lange erhitzen, bis die getrennten Fäden sich in der oberen Kugel wieder vereinigen. Bei solchen, die bis zum Siedepuncte des Quecksilbers reichen, geschieht dieses erst beim Sieden dieser Flüssigkeit, und das Verfahren erfordert daher einige Vorsicht. Man erhitzt deswegen die untere Kugel langsam, bis der Quecksilberfaden dem oberen Ende der Scale nahe ist, beachtet dann bei zunehmender Erhitzung den Augenblick genau, wenn das erste Aufwallen des Quecksilbers eintritt, und zieht sofort das stets vertical gehaltene Thermometer langsam vom Feuer weg, worauf es zu sinken beginnt und man die Vereinigung bewirkt findet. Der Weingeist verstattet solche Operationen nicht und ist daher ohne grofse angewandte Sorgfalt selten ganz frei von Luft.

D. Bestimmung der festen Puncte.

30) Wie man nach vielen vergeblichen Vorschlägen endlich darin übereinkam, dafs das Gefrieren und das Sieden des Wassers bei einer unveränderlichen Temperatur statt finde und hieraus also zwei Normalpuncte zur Erhaltung übereinstimmender Thermometer zu entnehmen seyen, ist oben erwähnt worden. Reaumur war der Erste, welcher dieses bestimmt aussprach, und das Ansehn, welches seine Thermometer in so hohem Grade erhielten, dafs auch die jetzigen wesentlich veränderten noch nach seinem Namen benannt werden, ist nicht blofs Folge des Eifers, womit die Franzosen sich ihres Landsmannes annahmen, sondern beruht sicher mindestens zum Theil auf diesem Umstande; denn Fahrenheit äufserte sich darüber keineswegs mit gleicher Bestimmtheit, obgleich er das

1 Ueber die Verfertigung solcher Thermometer s. Placidus Heinrich in Schweigger's Journ. Th. I. S. 214 ff.

schmelzende Eis zur Graduirung seiner Thermometer benutzte. Handelt es sich dann um eine genaue Feststellung und eine dieser angemessene Benennung jener beiden Puncte, so ist Beides in Beziehung auf den einen zwar einfach, auf den andern aber mehr zusammengesetzt. Man nennt den einen *Siedepunct* oder *Punct des siedenden Wassers* (*punctum aquae ebullientis; terme de l'eau bouillante; boiling point*), weil er im siedenden Wasser gefunden wird, den andern aber nannte man anfangs und nennt man auch jetzt noch häufig den *Eispunct* oder *Gefrierpunct* (*punctum congelationis*), weil er durch gefrierendes Wasser gegeben werden sollte. Reaumur[1] erhielt denselben, indem er ein Gefäfs mit Wasser in eine Mischung von 2 Theilen Eis und 1 Theil Kochsalz setzte und den Stand des Weingeistes im Thermometer im Augenblicke, wenn Eisbildung eintrat, als Gefrierpunct bezeichnete. Bald aber fand de Luc[2], dafs dieser Punct veränderlich sey, und gegenwärtig wissen wir, dafs das Wasser nach Umständen mehr oder minder erkalte, und zwar mit sehr bedeutenden Unterschieden, bis die Eisbildung eintritt. Um daher einen unveränderlichen Punct zu haben, wählte man denjenigen, bei welchem das Eis schmilzt, und diesen hat allerdings die Erfahrung als einen unveränderlichen nachgewiesen; allein er kann nun eigentlich nicht mehr Eispunct oder Gefrierpunct heifsen, sondern mufs *Punct des zergehenden Eises*, *Aufthaupunct; température de la glace fondante; melting point of ice* genannt werden, wie auch wirklich geschieht. Dieser Ausdruck ist zwar allerdings richtig und deutlich bezeichnend, allein er ist zu lang und daher zu unbequem. Die französischen und die neueren englischen Schriftsteller bedienen sich daher des Ausdrucks *zero*, die letzteren jedoch nur dann, wenn vom achtzigtheiligen oder hunderttheiligen Thermometer die Rede ist, und es wird hierdurch nicht ausgeschlossen, auch den Nullpunct der Fahrenheit'schen Scale durch zero zu bezeichnen, so wie man auch im Deutschen vom Nullpuncte redet. Sofern es aber jetzt als ausgemacht gilt, dafs

1 Schon vor ihm hatte Martine vorgeschlagen, zerstofsenes Eis in kaltes Wasser zu werfen, Lambert aber räth, reines Wasser anzuwenden, welches schon die zum Gefrieren erforderliche Kälte angenommen habe.

2 Untersuchungen über die Atmosph. Th. 1. §. 436. h. 443. r.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nur der Punct des schmelzenden Eises als normal gelten kann, sollte man unbedenklich der Kürze wegen den Ausdruck *Gefrierpunct* oder *Eispunct* beibehalten und sich ein für alle Mal über die Bedeutung dieser Ausdrücke verständigen.

31) Die Fixität dieses Punctes und die Unveränderlichkeit desselben im Allgemeinen unterliegt keinem Zweifel und beruht auf dem Naturgesetze, dafs beim Eise alle von aufsen hinzukommende Wärme latent wird, indem sie blofs dazu dient, das Eis in Wasser zu verwandeln. Wasser, in welchem sich noch Eis befindet, kann im Ganzen keine höhere Wärme haben, als 0°, und man nimmt daher auch an, dafs seine Temperatur genau diese sey; wenn man aber berücksichtigt, dafs das Wasser ein schlechter Wärmeleiter ist und bei beträchtlicher Wärme nicht durchaus sofort auf 0° herabgehn würde, wenn man ein Stück Eis hineinwürfe[1], dafs ferner jede Bedingung, welche das Schmelzen des Eises oder Schnees befördert, ein Herabsinken der Temperatur unter den Schmelzpunct desselben bewirkt, so wird man bald zu der Ueberzeugung gelangen, dafs die möglichst genaue Bestimmung eines so wesentlichen Normalpunctes keineswegs so leicht ist, und die Erfahrung bestätigt dieses vollkommen. Wer es je versucht hat, die Gefrierpuncte der Thermometer zu controliren oder Apparate genau bis auf diesen Punct zu erkälten, der wird, ebenso wie ich bei der Aufsuchung der Ausdehnungsgesetze tropfbarer Flüssigkeiten, gewahr werden, dafs man oft Stunden lang dauernde Schwankungen beseitigen mufs, ehe man mit voller Sicherheit sich von der höchsten Genauigkeit des gefundenen Punctes überzeugen kann. Insbesondere ist mir aufgefallen, dafs lockerer Schnee, wenn er, in einem Gefäfse in ein mäfsig warmes Zimmer gebracht, zu schmelzen beginnt, die zugeführte Wärme sehr begierig aufnimmt und dadurch feine Thermometerkugeln wohl bis 0°,5 C. unter den

---

1 Hiervon überzeugten sich die Mitglieder der Commission des Poids et mesures, indem sie fanden, dafs DE BORDA durch Eintauchen der Mefsstangen in Wasser mit Eis nicht 0° C., sondern 1°,35 C. erhalten habe; sie konnten die Temperatur von solchem Wasser nicht tiefer als 0°,5 C. herabbringen. S. Base du Syst. metr. T. III. p. 137. 434. Befindet sich das Gefäfs mit solchem Wasser in einer Umgebung von 3 und mehr Graden unter 0° C., so geht seine Temperatur bis — 0°,5 C. und noch beträchtlich tiefer hinab.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gefrierpunct herabbringt. Ungleich häufiger ist der entgegengesetzte Fehler. Sind die Kugeln der Thermometer etwas gröſser, so haben sie eine merkliche Quantität Wärme in sich und bringen hierdurch nicht bloſs eine gewisse Menge Eis zum Schmelzen, sondern erwärmen auch das sie zunächst umgebende Wasser so, deſs sie nicht ganz bis auf den gewünschten Normalpunct herabgehn. Auſserdem dauert es bekanntlich sehr lange, bis die Körper ihre letzten Antheile von überschüssiger Wärme an ihre Umgebung abgeben, und man muſs daher auf jeden Fall hinlängliche Zeit und viele Sorgfalt auf die Bestimmung der festen Puncte verwenden.

De Luc[1] erkannte zuerst die Fixität des Schmelzpunctes beim Eise; er füllte daher ein Gefäſs mit zerstoſsenem Eise, und brachte das Thermometer so hinein, daſs es bis ans Ende des Quecksilberfadens damit umgeben war. Strohmeyer[2] hält dieses Verfahren bis zu einer Fehlergrenze von $1^{0},5$ für unsicher und zieht Wasser im Eise vor. Zu diesem Ende soll man Wasser in einem Gefäſse ringsum gefrieren lassen, dann die obere Decke einstoſsen und das Thermometer in das Wasser herabsenken. Offenbar ist dieses die von Ducrest empfohlene Methode, wodurch er den von Reaumur angenommenen Gefrierpunct des Wassers erhalten wollte, und Luz[3] bemerkte daher ganz richtig, daſs der gesuchte Punct hierdurch $0^{0},2$ R. zu tief herabgehe, welches jedoch nur dann der Fall ist, wenn das Gefäſs fortdauernd dem Einflusse äuſserer Kälte ausgesetzt bleibt, in wärmerer Umgebung dagegen wird der gesuchte Punct zu hoch gefunden werden. Uebrigens giebt Luz der von de Luc vorgeschlagenen Methode den Vorzug. Die Kön. Societät zu London[4] hielt die Aufgabe, die festen Puncte der Thermometer mit möglichster Genauigkeit zu bestimmen, für so wichtig, daſs sie eine Commission aus den bedeutendsten damaligen Physikern, Cavendish, Heberden, Aubert, J. A. de Luc, Maskelyne, Horsley und Planta, beauftragte, die beste Methode hierfür aufzusuchen. Für die Bestimmung des Eispunctes geben diese jedoch

1 A. a. O. §. 438. c.
2 A. a. O. S. 28.
3 Anweisung Therm. zu verf. §. 122 bis 129.
4 Philos. Trans. T. LXVII. N. 37. p. 817.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nur die einzige Vorschrift, dafs das Thermometer bis ans Ende des Quecksilberfadens in zerstofsenes Eis eingesenkt werden müsse, weil der Gefrierpunct sonst zu hoch liegen würde, und sie berechneten zugleich eine Tabelle, um den hieraus entstehenden Fehler zu corrigiren. Dafs man alle Körper, um sie, genau genommen, auf eine gewisse Temperatur zu bringen, dem erwärmenden oder erkältenden Mittel in ihrer ganzen Ausdehnung aussetzen müsse, versteht sich von selbst, und sonach mufs auch das Thermometer zur Auffindung des Nullpunctes bis an den Ort der Röhre, wohin dieser fällt, der erkältenden Mischung ausgesetzt werden. Am geeignetsten hierzu habe ich stets gefunden, das zu graduirende Thermometer schon vorher einige längere Zeit einer vom Frostpuncte wenig entfernten Temperatur auszusetzen, dann reinen Schnee in einem hinlänglich grofsen Gefäfse bei einer wenig über den Frostpunct hinausgehenden Temperatur mit einem hölzernen Spatel oder einer Glasröhre anhaltend zu rühren, bis ein steifer Brei entsteht, in welchem nur weniges oder eigentlich gar kein freies Wasser vorhanden ist, und das Thermometer tief genug in diese Masse hineinzusenken, zugleich aber oft etwas auf- und abwärts zu bewegen, damit die Kugel desselben nicht etwa mit geschmolzenem Wasser, sondern mit der noch nicht zergangenen Masse in Berührung komme, denn auch Tralles[1] fand, dafs das freie Wasser im schmelzenden Schnee den Frostpunct 0°,7 C. zu hoch angeben könne.

32) Neuerdings sind die Gesetze und Bedingungen einer scharfen Bestimmung des Gefrierpunctes durch Egen[2] mit unübertrefflicher Genauigkeit aufgestellt worden, indem er vermittelst eines fein getheilten Silberplättchens und mikroskop. Ablesung der Höhe des Quecksilberfadens diejenigen Umstände aufsuchte, unter denen der Stand sich unveränderlich zeigt. Aus einer sehr grofsen Menge seiner Versuche ergeben sich folgende Regeln. Nur der Punct des schmelzenden Schnees ist zur Bestimmung des Nullpunctes der Thermometer geeignet, denn dafs gefrierendes Wasser oder Wasser, worin sich Eis befindet, nicht dazu brauchbar sey, ergiebt sich aus früheren Erfahrungen, zerstofsenes reines Eis scheint nach einigen we-

1 Astronom. Jahrbuch 1825. S. 211.
2 Poggendorff Ann. XI. 335.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nigen Versuchen in seinem Verhalten dem Schnee gleich zu seyn, allein auf jeden Fall ist es mühsam und nicht allezeit völlig sicher, reines Eis zu erhalten und die möglichen störenden Einflüsse dabei zu entfernen. Auf die richtige Bestimmung dieses festen Punctes haben keinen Einfluſs das Gefäſs und die Menge des darin enthaltenen Schnees, der Barometerstand, die Beschaffenheit des gewählten Schnees, wenn er nur rein ist, und die Temperatur des Beobachtungsortes, doch ist es allezeit leichter und sicherer, wenn die äuſsere Temperatur 5 bis 6 Grade über dem Nullpuncte nicht übersteigt. Die Unterschiede, welche durch diese genannten Einflüsse hervorgebracht werden, übersteigen sicher nicht $0^0,007$ C. Wohl zu berücksichtigen ist dagegen der Grad der Schmelzung, worin sich der Schnee befindet, denn er eignet sich zu der gewünschten Bestimmung nur dann, wenn die Schmelzung in ihm anfängt sichtbar zu werden oder er sich in einzelnen Theilen durchscheinend zeigt, indem von da an, bis er mit Wasser durchzogen wird, seine Temperatur constant bleibt. Ist die äuſsere Temperatur nur wenige Grade höher als der Nullpunct, so tritt die constante Temperatur schon dann ein, wenn er anfängt plastisch zu werden und sich an der Oberfläche einzelne durchscheinende Puncte zeigen, dauert auch noch fort, wenn er bedeutend naſs zu werden angefangen hat, weswegen es ungleich leichter und sicherer ist, die Bestimmung unter diesen Umständen vorzunehmen. Wenn dagegen die äuſsere Temperatur hoch und der Zufluſs der Wärme von auſsen stark ist, so kann diese nicht sofort vom Schnee absorbirt werden; dieses erfordert Zeit, und man findet den gesuchten Punct zu hoch, wenn man nicht vorsichtig den Zeitpunct abwartet, bis der Schnee auch im Innern anfängt durchscheinend zu werden. Kommt es auf sehr groſse Genauigkeit nicht an, so findet man den Nullpunct mit genügender Sicherheit von dem Augenblicke an, wo der Schnee anfängt plastisch zu werden, bis er mit Wasser durchzogen ist; der Fehler wird $0^0,04$ C. nicht übersteigen; ist aber viel Wasser vorhanden und der Zufluſs der Wärme von auſsen bedeutend stark, dann sind die Fehler groſs, und die Grenze derselben ist nicht wohl anzugeben, da unter Umständen sich selbst in lauem Wasser das Eis noch eine geraume Zeit ungeschmolzen erhalten kann.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

33) Das hier mitgetheilte Verfahren hat man seitdem überall, wo es auf grofse Genauigkeit ankommt, in Anwendung gebracht; es ist schärfer und bestimmter ausgedrückt, als dasjenige, welches Rudberg[1] empfohlen hat, Letzterer aber berücksichtigt einen wesentlichen und gleichfalls sehr zu beachtenden Umstand. Egen stellte seine Versuche mit bereits graduirten Thermometern an, allein eine zweite Frage ist, wie man im Allgemeinen den genau gefundenen Frostpunct gehörig bezeichnen soll. Ehemals war die Regel, einen feinen Faden ungefähr in der Gegend des Nullpunctes um die Röhre zu binden, diesen so lange zu verschieben, bis er sich genau an der Stelle des Gefrierpunctes befindet, und ihn dann mit etwas Gummiwasser festzukleben oder die erforderliche Stelle durch einen Diamantstrich oder Feilstrich zu bezeichnen; allein dieses Verfahren, welches mit gehöriger Sorgfalt ausgeführt für gewöhnliche und auch mäfsig feine Thermometer völlig genügt, nennt Rudberg für die ganz vorzüglichen Apparate, wie er sie bei der Regulirung der schwedischen Normalmafse gebrauchte, zu grob, und er wandte daher das folgende, allerdings ungleich schärfere an. Zuvörderst wurde vorläufig in der Gegend der Stelle, wohin der Nullpunct zu liegen kommt, ein feiner Diamantstrich gemacht, dessen Richtung auf die Axe der Röhre perpendiculär seyn mufs, dann
Fig. 80. legte er das Thermometer auf das Messingblech AB und schraubte es vermittelst des bügelförmigen Streifens nm nach untergelegter Korkscheibe mit den Schrauben SS fest. Auf der Mitte der Platte abcd befand sich in Silber eine feine Theilung, wovon 198 Theile auf einen Decimalzoll gingen. Zur Ablesung diente ein Mikroskop, dessen Röhre DE in der Hülse G verschiebbar steckte, die Hülse selbst war ein Träger N und dieser am Schieber MP befestigt, welcher die Messingplatte von unten her umfafste und auf den Seiten derselben verschiebbar festgeklemmt war. Das Mikroskop hatte nur dreimalige Vergröfserung, weil der Diamantstrich auf der Röhre und die Striche der Theilung zugleich gesehn werden mufsten, und um die Parallaxe zu vermeiden, hatte der Deckel des Mikroskops oben ein kleines Loch o, in der Röhre selbst

1 Aus Kongl. Vetensk. Acad. Handling. f. 1834. p. 354. in Poggendorff Ann. XXXVII. 376. XL. 39.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

aber, etwa 0,5 Zoll vom Objective E, befand sich ein messingnes Diaphragma, dessen kreisrunde Oeffnung nur eine Linie im Durchmesser hielt, in deren Mitte dann das Ende des Quecksilberfadens durch Verschiebung des Mikroskops gebracht wurde, wobei man nach einiger Uebung noch 0,2 der Theilung schätzen konnte. Zuerst wurde dann gemessen, mit welchem Theilstriche der Diamantstrich auf der Röhre zusammenfiel, dann das Thermometer in die Schneemischung gehalten und, nachdem es lange genug darin gestanden, der das Ende des Quecksilberfadens berührende Theilstrich abgelesen, um zu wissen, wie viele solcher Theile über oder unter dem Diamantstriche der Nullpunct sich befand.

Obgleich man diesem Verfahren den gröfsten Beifall nicht versagen kann, so scheint mir doch das durch Egen angewandte noch vorzüglicher zu seyn. Zuerst nimmt der Quecksilberfaden, so weit er auf der Messingplatte liegt, nicht wohl die erforderliche Temperatur an, und zweitens macht die Vorrichtung das Thermometer zu unbehülflich, so dafs man dasselbe nicht mit der erforderlichen Leichtigkeit in der Schneemischung bewegen kann, um zu verhüten, dafs sich kein mit Wasser erfüllter Raum um die Kugel bilde, wodurch leicht ein Fehler von 0°,1 bis 0°,2, ja unter Umständen ein noch gröfserer entstehn kann. Weit wichtiger als die schärfste Messung ist aber die scharfe Herstellung der zu messenden Gröfse. Im Allgemeinen kommt hierbei noch Folgendes in Betrachtung. Wenn die verlangten Thermometer beim künftigen Gebrauche ohne Mikroskop und ohne Anwendung einer künstlichen mikrometrischen Theilung abgelesen werden, so genügt es, auch bei der Bestimmung der festen Puncte sich auf diejenige Grenze der Genauigkeit zu beschränken, die durch das unbewaffnete Auge erreichbar ist, dagegen aber mehr Sorgfalt darauf zu verwenden, dafs bei dem so viel leichter zu manipulirenden Thermometer das Quecksilber völlig genau auf den gesuchten Nullpunct herabgebracht werde. Die scharfe Bezeichnung dieses Punctes ist allerdings schwierig, sobald man verlangt, dafs sie dauerhaft bleibend seyn soll. Das Ritzen mit einem Diamantsplitter, einem scharfen Feuersteine oder einer Feile kann einen Bruch der Röhre an dieser Stelle herbeiführen und ist aufserdem, wenn die Bezeichnung scharf seyn soll, nicht eben leicht zu bewerkstel-

ligen. Daher empfehle ich folgendes Verfahren, welches ich zwar nicht hierbei, wohl aber bei andern Operationen sehr bewährt gefunden habe. Nachdem vorläufig der Ort des Gefrierpunctes mit hinlänglicher Genauigkeit ausgemittelt und auf irgend eine Weise, ohne jedoch die Röhre zu beschmuzen, bezeichnet worden ist, wird um diese Stelle ein Silberfaden von der bekannten feinsten Sorte geschlungen, deren man sich früher und wohl noch jetzt zum Einziehen in die Fernröhre bedient. Dieser hat immerhin Haltbarkeit genug, um nach zwei- bis dreimaligem Umschlingen seiner beiden Enden um einander hinlänglich festzusitzen und sich vorsichtig vermittelst einer feinen Messerklinge so viel verschieben zu lassen, als hierzu erfordert wird. Alsdann folgt die nach gegebener Anweisung zu bewerkstelligende Herabbringung des Thermometers auf den Gefrierpunct, welches bei dem so leicht zu manipulirenden Apparate mit gröfster Schärfe geschehn kann, auch fällt der parallaktische Fehler von selbst weg, wenn man bei wiederholter Umdrehung der Röhre um ihre Axe den Silberfaden so lange verschiebt, bis das Ende des Quecksilberfadens genau in seine Ebene fällt. Ist man von der Sicherheit dieser Bestimmung überzeugt, die man nöthigenfalls durch Wiederholung dieses Verfahrens noch erhöhen kann, so überzieht man die Röhre an der Stelle des Silberfadens etliche Zoll lang mit Copalfirnifs oder mit dem flüssig gemachten Deckgrunde für Aetzung mit Flufssäure, und wenn dieser hinlänglich getrocknet ist, ohne zu grofse Sprödigkeit angenommen zu haben, wird der Faden abgenommen und der dann zum Vorschein kommende blanke Streifen mit Flufssäure geätzt, welcher höchst fein seyn mufs, weil der mit einem Pinsel aufgetragene Firnifs blofs die Stelle der Röhre nicht bedeckt, die durch den runden Draht geschützt wurde.

34) Der zweite, gleich anfangs als normal gewählte Punct ist der *Siedepunct*, unnöthig zuweilen *Punct des siedenden Wassers* genannt; *punctum aquae ebullientis; terme de l'eau bouillante; boiling point*, welchen das Thermometer annimmt, wenn man es in siedendes Wasser senkt. Dafs die Temperatur des siedenden Wassers eine constante sey, ist allerdings gewifs, soll dieselbe aber zur Bestimmung eines Normalpunctes beim Thermometer dienen, so sind verschiedene Vorsichtsmafsregeln zu beachten, und dabei ist dennoch das Verfahren

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mühsam und schwierig, sobald es auf einen hohen Grad der Genauigkeit ankommt. Schon DE LUC erkannte ziemlich vollständig die dabei zu beobachtenden Vorsichtsmafsregeln. Zuerst mufs man reines Wasser nehmen; dann hat zwar die Temperatur der äufseren Umgebung keinen Einflufs, einen desto gröfseren aber legt er der Gestalt des Gefäfses und der Beschaffenheit seines Deckels bei. Aufserdem soll die Wärme etwas abnehmen, wenn die Quantität des Wassers durch Verdunstung vermindert wird, man soll ferner nicht blofs die Kugel, sondern auch den Theil der Röhre, bis wohin das Quecksilber steigt, dem siedenden Wasser aussetzen, nie aber mit der Kugel den Boden berühren, weil sonst die Wärme um einen ganzen Grad Reaum. steigen könne, übrigens aber mufs das Wasser in starkem Sieden erhalten werden, damit die erforderliche Wärme überall in demselben verbreitet werde. BELLANI[1] giebt die Regel, man solle den Quecksilber enthaltenden Theil der Röhre den Dämpfen des siedenden Wassers in einem verschlossenen Gefäfse mit engem Ausgange aussetzen, die Kugel aber zwei bis drei Zoll tief unter die Oberfläche des Wassers senken, ohne den Boden zu berühren. Endlich erkannte DE LUC schon den starken Einflufs des veränderlichen Luftdruckes auf das Sieden des Wassers und machte es daher zur Bedingung, dafs bei allen Thermometern der Siedepunct unter gleichem Luftdrucke bestimmt oder hiernach corrigirt würde. Im Allgemeinen hatte schon FAHRENHEIT jenen Einflufs auf die Lage des Siedepunctes bemerkt, die Gröfse der erforderlichen Correction wurde aber nachher aus den Untersuchungen über die Elasticität des Wasserdampfes verschieden bestimmt. EGEN[2] giebt an, dafs LEMONNIER sie im Jahre 1740 für jede Linie der Barometerhöhe $= 0^{\circ},104$; MARTINE $= 0^{\circ},092$; FAUGÈRE gegen das Jahr 1770 einmal $= 0^{\circ},112$, ein anderes Mal $= 0^{\circ},062$; DE LUC im Mittel aus mehreren im Jahre 1770 angestellten Versuchen $= 0^{\circ},094$; DALTON und nahe ebenso ARZBERGER $= 0^{\circ},085$ C. bestimmt habe. Die oben genannten Mitglieder der Londoner Societät geben in Folge ihrer vielen Versuche ausführliche Regeln hierfür an. Zuerst soll man das Thermometer nicht ins Wasser

1 Brugnatelli Giornale cet. Dec. sec. T. VI. p. 274.
2 Poggendorff Ann. XI. 284.

senken, sondern nach dem zuerst von Cavendish[1] gemachten Vorschlage vielmehr blofs den Dämpfen des siedenden Wassers aussetzen. Hierfür schlagen sie ein allerdings passendes Gefäfs von Blech vor, welches nach dem Hineingiefsen einer etliche Zoll hohen Wasserschicht mit einem genau schliefsenden, aber des bequemen Abhebens wegen auf einem Ringe von Filz ruhenden Deckel verschlossen wird. In diesem befindet sich eine 0,5 Z. weite und 2 bis 3 Z. hohe Röhre zum Entweichen der Dämpfe, doch soll sie mit einer zinnenen, durch die Dämpfe zu hebenden Platte bedeckt seyn. Die Oeffnung, durch welche die Thermometerröhre gesteckt wird, soll dicht schliefsen und der Siedepunct des Thermometers nur sehr wenig über sie herausragen, damit die Dämpfe überall auf den Quecksilberfaden einwirken; auch soll das Wasser rasch sieden, und mindestens 1 bis 2 Minuten auf das Thermometer eingewirkt haben, ehe man den gesuchten Punct bestimmt. Andere Vorschläge, als die Kugel ins Wasser selbst 3 bis 4 Zoll hinabzusenken, wobei weder der Deckel fest schliefsen, noch auch die Röhre mit der zinnenen Platte bedeckt seyn mufs, oder die Kugel in einem offenen Gefäfse ins Wasser zu senken, die Röhre aber mit leinenen oder wollenen Zeugen zu umwickeln und diese drei- bis viermal mit siedendem Wasser zu begiefsen, sind weit weniger zweckmäfsig, und der letztere verdient auf jeden Fall keine Empfehlung. Endlich bestimmten sie, dafs die Barometerhöhe 29,8 engl. Z. (335,54 Par. Lin.) betragen müsse, wenn Wasserdämpfe angewandt würden, und 29,5 engl. Zoll (332,15 Par. Lin.), wenn die Kugel 2 bis 3 Zoll tief ins Wasser eingesenkt würde. In einer Tabelle sind die Correctionen, welche die Scalen für jeden andern Barometerstand bedurften, in Tausendtheilen ihrer ganzen Länge hinzugefügt.

Fig. 81.

35) Egen's erwähnte Untersuchungen[2] lassen sich auch in Beziehung auf die Bestimmung des Siedepunctes als erschöpfend betrachten. Zuerst entscheidet er sich bestimmt dafür, dafs derselbe nicht im Wasser, sondern im Dampfe gefunden werden müsse, wovon sich übrigens jeder durch einen einfachen Versuch leicht überzeugen kann, wenn er nur ein

1 Philos. Trans. T. LXVI. p. 880.
2 Poggendorff Ann. XI. 284. 517.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Thermometer in siedendes Wasser hält, in welchem Fall ein fortdauerndes Oscilliren der Spitze des Quecksilberfadens wahrgenommen wird, nicht zu gedenken, dafs obendrein bei Anwendung eines offenen Gefäfses der in überwiegender Menge auf dem Ende der Röhre niedergeschlagene Dampf ein genaues Auffinden des eigentlichen Punctes ganz unmöglich macht. Hiermit fällt dann auch die Beantwortung der Frage, was für Gefäfse man wegen ihres Einflusses auf die Hitze des siedenden Wassers wählen müsse, von selbst weg, die durch Egen berührt und durch Rudberg ausführlich untersucht wird[1]. Von entschiedenem Einflusse ist aber der Barometerstand, und die Frage, bei welcher Quecksilberhöhe der Siedepunct bestimmt werden müsse, bedarf daher nothwendig einer definitiven Erledigung. Egen stellt zu diesem Ende eine Menge genau bestimmter Barometerhöhen zusammen, gelangt aber zu dem nämlichen Resultate, welches aus meinen eigenen, in Folge vieler neu hinzugekommener Thatsachen noch ausführlicheren Untersuchungen[2] evident hervorgeht, dafs wir einen allgemeinen mittleren Barometerstand im Meeresspiegel mit Schärfe zu bestimmen gar nicht vermögen, und dafs es daher am gerathensten ist, sich über einen gewissen willkürlichen zu vereinigen, welcher dem wirklichen möglichst nahe kommt und sich von den bisher verschiedentlich angenommenen am wenigsten entfernt. Diesemnach entscheidet er für 0,76 Meter der auf 0° C. reducirten Quecksilbersäule im Barometer, weil diese Gröfse die angegebenen Bedingungen erfüllt, in dem eigentlichen Fundamentalmafse ausgedrückt, in Frankreich allgemein und auch in Deutschland vielfach angenommen ist und auch der in England fortwährend beibehaltenen Bestimmung von 30 engl. Zoll = 0,762 Met. mit einem verschwindenden Unterschiede nahe kommt. Diese Gründe sind so einleuchtend, dafs man nicht zweifeln kann, es werde dieser Vorschlag allgemein angenommen werden, womit dann die früheren anderweitigen Bestimmungen von Lambert und

---

1 Beiläufig bemerke ich, dafs der Vielen räthselhafte Unterschied der Siedehitze des Wassers in verschiedenen Gefäfsen eine Folge der gleichzeitig mit und neben der Dampfbildung statt findenden Wärmestrahlung ist, wie im Art. *Wärme, Sieden*, ausführlich gezeigt werden soll.

2 S. Art. *Meteorologie, Barometer*. Bd. VI. S. 1939.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

de Luc von 27 Zoll = 0,73089 Met., die gangbare von 28 Z. = 0,75796 Met. und die der Londoner Commission von 29,5 engl. Z. = 0,7493 Meter von selbst wegfallen. Vielen Grund für sich hat Soldner's[1] Vorschlag von 0,75 Meter, weil die meisten Orte so hoch über der Meeresfläche liegen, dafs ein Barometerstand von 0,76 Meter daselbst unter die minder gewöhnlichen gehört, allein die angegebenen Gründe sind doch überwiegend für 0,76 Meter entscheidend.

36) Die Frage, bis zu welchem Grade der Genauigkeit der Siedepunct auf den Thermometern bestimmt werden könne, da de Luc die Grenze der Genauigkeit = 0°,08 C., die Londoner Commission aber zwischen 0°,2 und 0°,45 C. angiebt, ohne die Ursachen dieser Schwankungen auffinden zu können, hat Egen gleichfalls einer sorgfältigen Untersuchung unterworfen. Zuerst mufs entschieden werden, ob die Materie des Gefäfses, worin das Wasser siedet, auf die Temperatur des gebildeten Dampfes einen Einflufs ausübt und es daher begründet ist, dafs man nach der Vorschrift von Cavendish die Bestimmung des Siedepunctes in einem eisernen Gefäfse vornehmen müsse. Die erschöpfenden Versuche von Rudberg[2] zeigen evident, dafs die Wärme des Dampfes aus siedendem Wasser in allen Gefäfsen gleich ist, und da versteht es sich dann von selbst, dafs man das bequemste Material, nämlich Blech, zu denjenigen Gefäfsen wählen wird, die zur Bestimmung des Siedepunctes dienen sollen. Ein zweiter zu entscheidender Umstand ist die oft behauptete[3] Gleichheit der Temperatur des Dampfes und der Flüssigkeit, woraus derselbe beim Sieden entweicht. Auch hierüber entscheiden Rudberg's Versuche bestimmt dahin, dafs jener Satz keineswegs richtig ist, der Wasserdampf vielmehr in jedem Gefäfse und selbst von Wasser, worin eine beliebige Menge eines Salzes aufgelöst ist, eine vom Luftdrucke abhängige Temperatur hat. Inzwischen erhält dieses eine beachtenswerthe Beschränkung nach den Versuchen von Egen, welche zeigen, dafs die Wärme des Wasserdampfes ungemein steigt, wenn das freie Feuer die vom Wasser nicht bespülten Wandungen des Gefäfses so um-

1 G. XVII. 62.
2 Poggendorff Ann. XL. 55.
3 Biot Traité de Phys. exp. et math. T. I. p. 45.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

spült, dafs diese eine sehr grofse Hitze annehmen, die nach Erfahrungen bei Dampfkesseln selbst bis zum Glühen steigt. Wird diese Ursache beträchtlicher Fehler vermieden, so macht die Höhe des Wassers im Gefäfse keinen Unterschied, sobald die Menge desselben grofs genug ist, um die gehörige Quantität Dämpfe ohne Unterbrechung herzugeben. Das Gefäfs, welches Biot[1] zur Bestimmung des Siedepunctes empfiehlt, ist dazu vollkommen geeignet, nur dürfte zu bemerken seyn, dafs die zum Entweichen des Dampfes bestimmte Oeffnung nicht zu grofs seyn darf, damit nicht unnöthig vieles Feuer zur fortdauernd starken Dampfbildung erfordert werde, auch neben dem Dampfe nicht Luft von aufsen eindringe und eine Abkühlung verursache. Die Gestalt des von ihm empfohlenen Gefäfses wird durch die genau copirte Zeichnung genügend deutlich, nur scheint nicht gehörige Rücksicht darauf genommen zu seyn, dafs die Thermometer, insbesondere die gröfseren, ihrer ganzen Länge nach den Dämpfen ausgesetzt werden. Das Gefäfs, dessen sich Egen bediente, ist in mehrfacher Beziehung zweckmäfsiger eingerichtet. Dasselbe besteht aus einem Cylinder von Blech, wobei der untere Absatz deswegen angebracht zu seyn scheint, um es mit Bequemlichkeit in einen schon bestehenden Ofen zu senken, wodurch dann auf jeden Fall verhütet wird, dafs eine starke Flamme die oberen Wandungen umspült. An der einen Seite war eine Röhre seitwärts angelöthet, um durch diese ein Thermometer in das Wasser selbst einzubringen, was jedoch nur dann von Nutzen ist, wenn man Versuche zur Vergleichung der Hitze des Wassers und des Dampfes anstellen will, für den gewöhnlichen praktischen Gebrauch aber wegfallen kann. An der gegenüberstehenden Seite befindet sich eine längliche Oeffnung von 2 Zoll Breite und 1,5 Z. Länge, die durch einen Schieber bedeckt mehr oder weniger geöffnet wird. Der genau schliefsende Deckel ist mit 4 aufgesetzten kurzen Röhren a b c d versehn, in welche andere gesteckt werden können, die vorzüglich zur Aufnahme längerer Thermometer dienen, eine auch deswegen vortheilhafte Einrichtung, weil sie die scharfe Bezeichnung des Siedepunctes erleichtert. Zahlreiche Versuche ergaben, dafs bei fortdauerndem lebhaftem Sieden des Wassers

Fig. 82.

Fig. 83.

Fig. 84.

1 Traité T. I. p. 45.

und gleichbleibendem Barometerstande der Siedepunct selbst Stunden lang unverändert blieb; auch hatte die Menge des Wassers im Gefäſse keinen Einfluſs, jedoch durften ganz von Wasser entblöſste Theile des Gefäſses der Einwirkung des Feuers nicht zu sehr ausgesetzt seyn, weswegen es immer rathsam bleibt, das Wasser nicht unter etwa 1 Zoll tief sinken zu lassen. Der Abstand der Thermometerkugeln von der Oberfläche des Wassers war ohne Einfluſs, doch durften sie dem oberen Deckel nicht allzunahe seyn, und ebenso schien die Gröſse der Oeffnung a, aus welcher der Dampf entwich, keinen Unterschied herbeizuführen, obgleich dieses wohl eine Grenze haben muſs, die sich jedoch leicht bestimmen läſst, sobald man nur beachtet, daſs eine hinlängliche Quantität Dampf entweichen kann, ohne eine vermehrte Spannung zu erhalten; wurde aber die Röhre c gleichfalls geöffnet, so zeigte sich der Siedepunct höchst schwankend und im Ganzen tiefer liegend, was davon abzuleiten ist, daſs dann in die Oeffnung des Schiebers oder neben dem nicht absolut schlieſsenden Deckel äuſsere Luft eindringt und mit dem Dampfe durch die Röhre entweicht.

37) Etwas später, als Egen, jedoch ohne von dessen Arbeit Kenntniſs zu haben, unterwarf G. F. Parrot[1] die Aufgabe über die Auffindung der beiden festen Puncte einer ausführlichen Untersuchung, deren Resultate im Ganzen wohl mit den eben erwähnten übereinstimmen muſsten, und es wird daher genügen, hier nur einige Abweichungen anzuführen. Dahin gehört eine wegen ihrer Leichtigkeit zu empfehlende sichere Methode zur Bestimmung des Frostpunctes, welche darin besteht, daſs man das Thermometer mit festgedrücktem lockerem Schnee bei einer Temperatur von etwa — 4° bis — 6° oder tiefer genau umgiebt, dasselbe bis unter den Nullpunct herabgehn läſst, dann das Gefäſs in einen etwa 6° bis 8° warmen Raum bringt und abwartet, bis ein Theil des äuſseren Schnees durch die von auſsen zuströmende Wärme geschmolzen ist. Der so erzeugte Nullpunct bleibt wohl eine Stunde und darüber constant, so lange noch die Kugel von ungeschmolzenem Schnee umgeben ist, der längere Zeit un-

1 Mémoire sur les Points fixes du Thermomètre, par G. F. Parrot. Avec deux Planches. St. Peterb. 1828. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

veränderte Stand zeigt aber, dafs der eigentliche Nullpunct wirklich erreicht sey. Nimmt man statt des Schnees Eis, was im Sommer nothwendig seyn würde, so müfste man dasselbe aus destillirtem Wasser herstellen, oder man würde gegen merkliche Fehler nicht gesichert seyn, weswegen es am gerathensten scheint, diese Methode ganz aufzugeben. In Beziehung auf den Siedepunct hat Parrot das beachtenswerthe Resultat aufgefunden, dafs die äufsere Temperatur ohne Einflufs ist, mindestens innerhalb der Grenze seiner Versuche von — 5° bis — 15° R. Wenn er aufserdem eine hinlänglich wirkende Weingeistlampe als am besten geeignet empfiehlt, um das Wasser in stets gleichmäfsigem Sieden zu erhalten, so mag dieses allerdings gegründet seyn, weil bei einer solchen die Flamme sich am leichtesten reguliren läfst. Ein Umstand, auf welchen Parrot aufmerksam macht, verdient zwar allerdings Beachtung, ob er aber geeignet ist, zur Einführung von zwei verschiedenen Arten eigens benannter Thermometer zu führen, dürfte noch fraglich scheinen. Man hat als Regel angenommen, dafs nicht blofs die Kugel, sondern auch die ganze Länge des Quecksilberfadens dem erhitzenden Dampfe zur richtigen Bestimmung des Siedepunctes ausgesetzt seyn müsse. Ein so graduirtes Thermometer wird dann allerdings die Temperatur richtig zeigen, wenn es dem erwärmenden Medium ganz ausgesetzt ist, z. B. bei Witterungsbeobachtungen u. s. w., wenn aber die Wärme von Flüssigkeiten gemessen wird, in welche man nur die Kugel eintauchen kann, so findet man dieselbe um eine geringe Gröfse unrichtig, weswegen Parrot für die erste Art von Thermometern den Namen *Atmothermometer*, für die zweite *Hydrothermometer* in Vorschlag bringt, wobei zugleich die erstere Art im Dampfe, die zweite aber durch Einsenkung der Kugel in siedendes Wasser bis zu einer bestimmten Tiefe ihren Siedepunct erhalten haben soll; inzwischen dürfte der Grund nicht erheblich genug seyn, die Uebersicht thermometrischer Beobachtungen durch Verdoppelung der Apparate zu erschweren, und es vorzuziehn seyn, nur die eine Art derselben zur möglichst genauen Uebereinstimmung zu bringen.

38) Rudberg[1] liefs einen Apparat für diesen Zweck con-

1 Poggendorff Ann. XL. 60.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

struiren, welcher insofern erwähnt werden mufs, als er von einem ausgezeichneten Physiker nach der Bekanntwerdung der bereits beschriebenen gewählt wurde und sich von diesen durch eine angebrachte doppelte Röhre unterscheidet. Die Construction desselben ist aus der Zeichnung ohne ausführliche Beschreibung zu entnehmen. Er besteht aus einem gröfseren cylindrischen Gefäfse zur Aufnahme des Wassers, einem äufseren Cylinder MN von ungefähr 1,25 schwed. Decimalzoll (1,37 Par. Z.) und einem inneren von 0,66 schwed. Decimalzoll (0,87 Par. Z.) Durchmesser, beide von so kleiner Dimension, damit die Oberfläche nicht zu stark abgekühlt wird und ein nur mäfsiges Feuer zur Bildung einer hinlänglichen Quantität Dampf genügt. Beide Röhren sind oben mit einem Korke verschlossen und bestehn aus einzelnen Stücken, deren eine für die Länge des jedesmaligen Thermometers hinlängliche Anzahl in einander gesteckt wird, wobei jedoch die Fugen verlöthet werden sollen, weil sonst etwas condensirtes Wasser durchdringt, verdunstet und dadurch eine gröfsere Abkühlung bis zur Unsicherheit der Beobachtung erzeugt. Dafs diese Argumentation auf den äufseren Cylinder anwendbar sey, begreift man leicht, wie sie aber auch auf den inneren passen könne, welcher doch nothwendig sowohl inwendig als auch auswendig mit siedend heifsem Wasserdampf erfüllt und von diesem umgeben ist, so dafs keine Condensation erfolgen darf, wenn man eine richtige Bestimmung verlangt, ist mir wenigstens nicht klar, und ich möchte fragen, ob nicht die geringen Durchmesser der Röhren, sofern bei ihnen die Oberflächen in einem geringeren Verhältnisse abnehmen, als der Inhalt des eingeschlossenen Dampfcylinders, einen nachtheiligen Einflufs herbeiführen, dem man so leicht durch einen kaum der Berücksichtigung werthen gröfseren Aufwand von etwas Brennmaterial entgehn könnte. Bei einem zweiten Apparate von Glas, dessen sich Rudberg lieber bediente, weil man darin den Procefs des Siedens und alles dessen, was vorgeht, sehn kann, findet die angegebene Sicherungsmafsregel nicht statt, obgleich das Glas leichter als Weifsblech die Wärme an seine äufsere Umgebung abgiebt, und man darf hieraus folgern, dafs sie an sich überflüssig ist, um so mehr, als man die Fugen blechener Röhren vermittelst umwickelten Hanfes leicht dampfdicht verschliefsen kann. Bei dem gläsernen

Fig. 85.

Fig. 86.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Apparate ist der innere Cylinder mit zwei Schrauben an der messingnen Hülse c d befestigt, weil man nicht leicht einen dem erweichenden Einflusse des Dampfes auf die Dauer widerstehenden Kitt findet. Die obere Fassung A B, woran c d festgelöthet ist, kann bei r r abgeschraubt werden. Für die Bezeichnung des Siedepunctes wendet Rudberg das nämliche Verfahren an, welches oben beim Frostpuncte beschrieben ist; auch ersieht man aus der Zeichnung, wie das auf das Messingblech festgeschraubte Thermometer in den Dampfapparat gebracht wird, um die feinen Theile, welche die Abweichung des vorläufig mit einem Diamantstriche bezeichneten Siedepunctes vom gesuchten Puncte geben, mikroskopisch abzulesen. Da diese Methode aber für praktische Künstler nicht wohl zu empfehlen ist, so dürfte die von mir für die genaue Bezeichnung des Gefrierpunctes angegebene für diesen Zweck den Vorzug verdienen, da sie neben der leichten Ausführbarkeit noch obendrein den Vortheil gewährt, dafs das Thermometer in dem nicht dicken, die Wärme schlecht fortleitenden, die Siedehitze dagegen leicht annehmenden oberen Korke bis nahe an den Siedepunct herabgeschoben und der Silberdraht dann ohne Schwierigkeit mit dem oberen Ende des Quecksilberfadens, sobald sein Stand stationär geworden ist, allenfalls mit Hülfe einer Loupe, genau in eine und dieselbe Ebene gebracht werden kann. Daneben gewährt es einen grofsen Vortheil, wenn die beiden festen Puncte auf den Thermometern genau bezeichnet sind, damit jeder Besitzer derselben diese, die so wichtig sind, jederzeit mit Anwendung der für den jedesmaligen Zweck erforderlichen Genauigkeit controliren kann.

39) Bei Weingeistthermometern und den vorgeschlagenen, mit Petroleum oder Schwefelkohlenstoff gefüllten, kann der Gefrierpunct auf die angegebene Weise bestimmt werden, der Siedepunct aber nicht, und es ist daher am räthlichsten, bei ihnen durch Einsenken in warmes Wasser etwa den 50sten Grad der Centesimalscale nach einem sehr genauen Normal-Quecksilberthermometer scharf zu bestimmen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

E. Thermometerscalen und deren Reduction.

40) Sind die beiden festen Puncte, der Gefrierpunct und Siedepunct, bei einem Thermometer bestimmt, so geht man insgemein von dem Grundsatze aus, dafs die innere Oeffnung der Röhren überall gleiche Weite habe oder dafs die Röhren richtig calibrirt seyen. Unter dieser Voraussetzung und der andern, dafs die Volumensvermehrungen der thermoskopischen Substanz den Zunahmen der Wärme direct proportional zu betrachten sind, mufs der Zwischenraum zwischen beiden in eine gewisse Anzahl gleicher Theile getheilt werden, und eine gewisse Menge solcher Theile, wie die hierdurch erhaltenen, wird dann noch unterhalb des Gefrierpunctes aufgetragen; der Träger dieser Theile, gewöhnlich Grade genannt, heifst die *Thermometerscale.* Entweder befindet sich die Theilung auf der Thermometerröhre selbst, oder das Thermometer wird auf einer Scale befestigt. Im ersten Falle ist es nicht gut ausführbar, die Theilstriche auf der Glasröhre mit irgend einem Farbestoffe zu zeichnen, indefs kann man sie auf Papier auftragen und dieses mit Vermeidung der Ausdehnung des Papiers durch Nässe auf die Thermometerröhre kleben, was jedoch ein dürftiger, zur Ungenauigkeit führender Nothbehelf ist, und man mufs sie daher entweder mit einer Diamantspitze ritzen, ohne sie so tief einzuschneiden, dafs die Haltbarkeit der Röhre darunter leiden würde, oder, was bei weitem vorzuziehn ist, man mufs sie mit Flufssäure ätzen. Solche Scalen sind ohne Widerrede die vorzüglichsten, sie sind am kleinsten, werden weder durch Feuchtigkeit, noch durch Säuren angegriffen, sind stets unverrückbar, lassen sich höchst fein darstellen und geben ein leichtes Mittel, parallaktische Fehler beim Ablesen zu vermeiden, indem man nur die Röhren um ihre verticale Axe drehn darf. Sollte es schwierig seyn, bei sehr feinen Thermometern die Grade abzulesen, so beseitigt man diese Unbequemlichkeit dadurch, dafs man die eine Hälfte der Röhre mit schwarzem Tusch oder, was dauerhafter ist, mit schwarzem Lack aus zusammengeriebenem Copalfirnifs und Kienrufs überstreicht und dann den silberweifsen Faden auf dem schwarzen Grunde sehr scharf erkennt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Auf welche Weise das Aetzen geschehe, ist bereits angegeben worden[1]. Im zweiten Falle sind die für sich bestehenden Scalen meistens von Kupfer und übersilbert, oder von Elfenbein[2], oder von Holz und dann meistens mit Papier überklebt, oder von Glas mit eingeätzten Theilstrichen. Diese Scalen haben entweder eine Vertiefung am einen Ende, um die Kugel hineinzulegen, oder diese steht mit einem Theile der Röhre über die Scale hinaus; zuweilen sind auch die Scalen mit einem Scharniere versehn, um einen Theil derselben zurückzuschlagen und die Kugel nebst dem unteren Ende der Röhre frei zu machen. Ordinäre Thermometer, aber auch vorzüglich gute, haben ihre Röhre in eine andere Glasröhre eingeschlossen, in welcher sich zugleich die auf Papier gezeichnete Scale befindet. Soll sich in diesem Falle die Scale durch wechselnden Feuchtigkeitszustand nicht verändern, so muſs sie von der äuſsern Luft gänzlich abgeschlossen seyn, was auf die Weise bewerkstelligt wird, daſs man die äuſsere umgebende Röhre unmittelbar über der Kugel anschmelzt und nach eingebrachter Scale oben an der Blaslampe verschlieſst oder mit einer messingnen Fassung versieht. Auf welche Weise die Thermometer auf den Scalen befestigt werden, ist so bekannt, daſs es sich nicht belohnt, hierüber zu reden; auch genügt es nur zu bemerken, daſs genaue Scalen nothwendig mit einer *Theilmaschine*[3] gemacht werden müssen.

41) Auf die Scale werden diejenigen Grade aufgetragen, die der gewählten Eintheilung zugehören, und da auſser der hunderttheiligen Celsius'schen oder Centimalscale, der achtzigtheiligen oder Reaumür'schen und der Fahrenheit'schen keine der verschiedenen oben genannten jetzt mehr gebräuchlich sind, indem selbst die von de l'Isle vorgeschlagene, obgleich man sie bisher noch zu berücksichtigen pflegte, jetzt der Vergessenheit übergeben zu seyn scheint, auch selten nach ihr bezeichnete Beobachtungen vorkommen, die der wissenschaftliche Physiker dann leicht reduciren kann, so wird man es geeignet finden, wenn ich mich bloſs auf die drei ge-

---

1 S. Art. *Fluor*. Bd. IV. S. 519.

2 Elfenbeinerne Scalen sind vorzüglich in England sehr gemein; Baumgartner Supplem. S. 121.

3 S. *Theilung*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nannten beschränke, und dieses um so mehr, je wünschenswerther es offenbar ist, dafs man sich allgemein der einfachsten und angemessensten hunderttheiligen bedienen möge, indem nach Egen's[1] nur allzuwahrem Ausspruche aus dem Gebrauche mehrerer Scalen nicht selten Zweideutigkeiten hervorgehn und die mechanischen Rechnungen bei der Reduction dem Physiker einen bedeutenden, ganz nutzlos geopferten Zeitaufwand kosten, wozu man noch setzen kann, dafs beim Lesen die genaue Bekanntschaft mit der gebrauchten Scale sofort eine deutliche Vorstellung der mitgetheilten Beobachtungen erzeugt, die man nicht im gleichen Grade erhält, wenn die Gröfsen in einer ungewohnten Scale ausgedrückt sind. Für jetzt aber, da alle drei Scalen noch gebraucht werden und viele werthvolle Messungen in jeder derselben ausgedrückt sind, ist es unumgänglich nothwendig, die Angaben wechselseitig auf einander zu reduciren. Verschiedene Gelehrte haben es der Mühe werth gehalten, allgemeine Formeln aufzusuchen, um danach die erforderlichen Reductionen vorzunehmen, z. B. Hindenburg[2], Kramp[3], Heinsius[4] und Kaestner[5]; da man sich aber jetzt auf die drei gebräuchlichen Scalen beschränkt und de Luc's Thermometerscale für barometrische Höhenmessungen fast ganz in Vergessenheit gekommen, auf jeden Fall ganz unnütz ist, so bedarf es keiner allgemeinen Formeln zur Berechnung mehr, und man ist mit der Reduction sicher in kürzerer Zeit fertig, als erforderlich seyn würde, eine Formel dafür aufzusuchen. Wenn man nämlich weifs, dafs 100 Grade der Centesimalscale = C auf 80 Grade der achtzigtheiligen sogenannten Reaumür'schen = R gehn und dieses also das einfache Verhältnifs[6]

---

1 Poggendorff Ann. XI. 292.

2 Progr. Quo Formulae comparandis grad. thermom. idoneae proponuntur. Lips. 1791. 4.

3 Geschichte der Aerostatik. Th. I. S. 100. Anhang zur Gesch. d. Aerost. S. 45.

4 Winkler Philos. contempl. T. III. Phys. §. 1644. Anfangsgründe d. Phys. Leipz. 1754. 8. §. 124 ff.

5 Anfangsgr. d. angew. Mathematik. 4te Aufl. Gött. 1792. Aerom. S. 390.

6 Eigentlich ist das Verhältnifs das umgekehrte, sofern die Einheit in 100 und in 80 Theile getheilt wird, was sich jedoch von selbst versteht.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$C:R = 100:80 = 5:4$$

giebt, so ist $C = \frac{5}{4}R$ und $R = \frac{4}{5}C$. Ebenso einfach geben 180 Fahrenheit'sche Grade (= F) 100 Centesimal- und 80 Reaumür'sche Grade, wobei jedoch zu berücksichtigen, dafs die Fahrenheit'sche Scale mit 32° bei 0° C. oder R. anfängt und daher 212 statt 180 zählt. Das Verhältnifs giebt aber

$$F:C = 180:100 = 9:5 \text{ und } 180:80 = 9:4$$

und sonach ist also, mit Rücksicht auf den Gefrierpunct:

$$F = \tfrac{9}{4}R + 32;\quad F = \tfrac{9}{5}C. + 32;$$
$$R = \tfrac{4}{9}(F - 32);\quad C = \tfrac{5}{9}(F - 32).$$

Zuweilen werden zwei verschiedene Eintheilungen auf die nämliche Scale zu beiden Seiten der Röhre aufgetragen, um nach Belieben die eine oder die andere abzulesen, was zwar bequem ist, aber keine höhere Genauigkeit gewährt, weil leichter ein parallaktischer Fehler begangen wird, wenn die Theilstriche blofs an der Seite der Röhre stehn, als wenn sie durch diese und hinter dem Quecksilberfaden gesehn werden. Bei messingnen Scalen kann man sogar alle drei Theilungen zugleich auftragen, wenn man die Scale in der Mitte schlitzt, die Röhre in diesen Schlitz legt und auf die Vorderseite die achtzig- und hunderttheilige, auf die Rückseite die Fahrenheit'sche zeichnet. Man verfertigte häufig früher, aber auch noch jetzt, blofse Scalen, meistens hölzerne, mit Papier überzogene, und zeichnete auf ihnen die vier gangbaren Theilungen neben einander, um dadurch ein bequemes Mittel der Reduction zu erhalten, allein da die verschiedenen Grade nur zuweilen in ganzen Graden correspondiren und daher die Zehntel und Hundertstel geschätzt werden müssen, so gewährt dieses Mittel keine grofse Genauigkeit, abgesehn davon, dafs nur die zwei sich berührenden Eintheilungen auf einander reducirt werden können, wenn man nicht grofse Fehler begehen will, was durch das Anlegen eines Anschlaglineals nur schwer vermieden wird. Solche Vergleichungstafeln haben Martine[1], Braun[2] und am vollständigsten Strohmeyer[3] gegeben, welcher sogar die acht-

---

1 Diss. sur la chaleur avec des observ. nouvelles sur la construction et comparaison des therm. Trad. de l'Angl. Par. 1751. 12.

2 Harmonia Scalarum; in Nov. Comm. Petrop. T. VII.

3 Anleitung übereinst. Thermometer zu verf. Gött. 1775. 8.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

zigtheiligen Weingeistthermometerscalen mit aufgenommen hat. Nicht blofs die drei noch jetzt üblichen Scalen, sondern auch die von DE L'ISLE und mehrere alte, die man jetzt kaum mehr zu entziffern vermag, nebst einer Angabe ausgezeichneter Temperaturen findet man noch zuweilen auf älteren Thermometern, aus deren Ansicht die Ueberzeugung hervorgeht, dafs eine genaue Reduction auf diesem Wege nicht zu erreichen steht. Das einzige hierzu brauchbare, aber auch genügende und zugleich zur Vermeidung eines grofsen unnützen Zeitaufwandes unentbehrliche Hülfsmittel geben die Tabellen, bei denen man die einander correspondirenden Grade der verschiedenen Scalen neben einander stellt. Die älteren, deren einige in den eben genannten Werken, aufserdem durch HELL[1], v. SWINDEN[2] und Andere veröffentlicht worden sind, enthalten meistens eine grofse Menge von Scalen, ja der Letztere nennt, und vergleicht meistens, nicht weniger als 72 Thermometerscalen. Die späteren Tabellen beschränken sich auf die vier üblichsten Scalen, die neuesten auf die drei noch jetzt gangbaren. Solche findet man in verschiedenen Werken, z. B. von JAMESON[3], J. F. W. HERSCHEL[4], SCHUMACHER[5], sehr vollständige von BAUMGARTNER[6] und andern. Dafs eine solche Tafel hier nicht fehlen dürfe, und zugleich von gröfserer Ausdehnung und der Bequemlichkeit wegen dreifach, für jede Scale eine besondere, versteht sich von selbst. Die Tabellen enthalten zunächst nur die Grade des Thermometers, wie sie die eine Scale giebt, in Graden der beiden andern ausgedrückt; wenn es sich aber fragt, wie sich die Grade der einen Scale zu denen der andern verhalten, z. B. wie viele Centesimal- oder Fahrenheit'sche Grade 10° R. geben, so genügen hierfür die Tabellen der achtzigtheiligen und hunderttheiligen Scalen gleichfalls, weil beide gleichmäfsig von dem nämlichen

---

1 Ephemer. Vienn. 1764. p. 164 u. 243. Journal de Phys. T. XVI.

2 Diss. sur la comparaison des thermomètres. Amst. 1778. 8.

3 Edinburgh New Phil. Journ. N. XXI. p. 133.

4 Encyclop. metrop. Art. Heat. p. 329.

5 Jahrbuch für 1838. S. 77.

6 Die Naturlehre nach ihrem gegenwärtigen Zustande. Wien 1831. Supplem. Th. V. S. 928.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Nullpuncte ausgehn, für die Fahrenheit'sche war aber hierfür eine eigene Tabelle erforderlich[1].

I. Tabelle zur Reduction der Thermometergrade nach den drei üblichen Scalen.

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
-100	-73,33	-59,66	-100	-80,0	-148,0	-100	-125,00	-193,00
- 99	-72,77	-58,22	- 99	-79,2	-146,2	- 99	-123,75	-190,75
- 98	-72,22	-57,77	- 98	-78,4	-144,4	- 98	-122,50	-188,50
- 97	-71,66	-57,33	- 97	-77,6	-142,6	- 97	-121,25	-186,25
- 96	-71,11	-56,88	- 96	-76,8	-140,8	- 96	-120,00	-184,00
- 95	-70,55	-56,44	- 95	-76,0	-139,0	- 95	-118,75	-181,75
- 94	-70,00	-56,00	- 94	-75,2	-137,2	- 94	-117,50	-179,50
- 93	-69,44	-55,55	- 93	-74,4	-135,4	- 93	-116,25	-177,25
- 92	-68,88	-55,11	- 92	-73,6	-133,6	- 92	-115,00	-175,00
- 91	-68,33	-54,66	- 91	-72,8	-131,8	- 91	-113,75	-172,75
- 90	-67,77	-54,22	- 90	-72,0	-130,0	- 90	-112,50	-170,50
- 89	-67,22	-53,77	- 89	-71,2	-128,2	- 89	-111,25	-168,25
- 88	-66,66	-53,33	- 88	-70,4	-126,4	- 88	-110,00	-166,00
- 87	-66,11	-52,88	- 87	-69,6	-124,6	- 87	-108,75	-163,75
- 86	-65,55	-52,44	- 86	-68,8	-122,8	- 86	-107,50	-161,50
- 85	-65,00	-52,00	- 85	-68,0	-121,0	- 85	-106,25	-159,25
- 84	-64,44	-51,55	- 84	-67,2	-119,2	- 84	-105,00	-157,00
- 83	-63,88	-51,11	- 83	-66,4	-117,4	- 83	-103,75	-154,75
- 82	-63,33	-50,66	- 82	-65,6	-115,6	- 82	-102,50	-152,50
- 81	-62,77	-50,22	- 81	-64,8	-113,8	- 81	-101,25	-150,25
- 80	-62,22	-49,77	- 80	-64,0	-112,0	- 80	-100,00	-148,00
- 79	-61,66	-49,33	- 79	-63,2	-110,2	- 79	- 98,75	-145,75
- 78	-61,11	-48,88	- 78	-62,4	-108,4	- 78	- 97,50	-143,50
- 77	-60,55	-48,44	- 77	-61,6	-106,6	- 77	- 96,25	-141,25
- 76	-60,00	-48,00	- 76	-60,8	-104,8	- 76	- 95,00	-139,00
- 75	-59,44	-47,55	- 75	-60,0	-103,0	- 75	- 93,75	-136,75
- 74	-58,88	-47,11	- 74	-59,2	-101,2	- 74	- 92,50	-134,50
- 73	-58,33	-46,66	- 73	-58,4	- 99,4	- 73	- 91,25	-132,25
- 72	-57,77	-46,22	- 72	-57,6	- 97,6	- 72	- 90,00	-130,00
- 71	-57,22	-45,77	- 71	-56,8	- 95,8	- 71	- 88,75	-127,75
- 70	-56,66	-45,33	- 70	-56,0	- 94,0	- 70	- 87,50	-125,50
- 69	-56,11	-44,88	- 69	-55,2	- 92,2	- 69	- 86,25	-123,25

1 Der Umfang solcher Tabellen ist willkürlich, durfte aber hier nicht gering seyn. Es schien mir am angemessensten, den tiefsten, neuerdings angeblich durch liquide Kohlensäure erreichten Kältepunct von — 100° C. und den Siedepunct des Quecksilbers = + 350° C. als natürliche Grenzen anzunehmen.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
—68	—55,55	—44,44	—68	—54,4	—90,4	—68	-85,00	-121,00
—67	—55,00	—44,00	—67	—53,6	—88,6	—67	-83,75	-118,75
—66	—54,44	—43,55	—66	—52,8	—86,8	—66	-82,50	-116,50
—65	—53,88	—43,11	—65	—52,0	—85,0	—65	-81,25	-114,25
—64	—53,33	—42,66	—64	—51,2	—83,2	—64	-80,00	-112,00
—63	—52,77	—42,22	—63	—50,4	—81,4	—63	-78,75	-109,75
—62	—52,22	—41,77	—62	—49,6	—79,6	—62	-77,50	-107,50
—61	—51,66	—41,33	—61	—48,8	—77,8	—61	-76,25	-105,25
—60	—51,11	—40,88	—60	—48,0	—76,0	—60	-75,00	-103,00
—59	—50,55	—40,44	—59	—47,2	—74,2	—59	-73,75	-100,75
—58	—50,00	—40,00	—58	—46,4	—72,4	—58	-72,50	- 98,50
—57	—49,44	—39,55	—57	—45,6	—70,6	—57	-71,25	- 96,25
—56	—48,88	—39,11	—56	—44,8	—68,8	—56	-70,00	- 94,00
—55	—48,33	—38,66	—55	—44,0	—67,0	—55	-68,75	- 91,75
—54	—47,77	—38,22	—54	—43,2	—65,2	—54	-67,50	- 89,50
—53	—47,22	—37,77	—53	—42,4	—63,4	—53	-66,25	- 87,25
—52	—46,66	—37,33	—52	—41,6	—61,6	—52	-65,00	- 85,00
—51	—46,11	—36,88	—51	—40,8	—59,8	—51	-63,75	- 82,75
—50	—45,55	—36,44	—50	—40,0	—58,0	—50	-62,50	- 80,50
—49	—45,00	—36,00	—49	—39,2	—56,2	—49	-61,25	- 78,25
—48	—44,44	—35,55	—48	—38,4	—54,4	—48	-60,00	- 76,00
—47	—43,88	—35,11	—47	—37,6	—52,6	—47	-58,75	- 73,75
—46	—43,33	—34,66	—46	—36,8	—50,8	—46	-57,50	- 71,50
—45	—42,77	—34,22	—45	—36,0	—49,0	—45	-56,25	- 69,25
—44	—42,22	—33,77	—44	—35,2	—47,2	—44	-55,00	- 67,00
—43	—41,66	—33,33	—43	—34,4	—45,4	—43	-53,75	- 64,75
—42	—41,11	—32,88	—42	—33,6	—43,6	—42	-52,50	- 62,50
—41	—40,55	—32,44	—41	—32,8	—41,8	—41	-51,25	- 60,25
—40	—40,00	—32,00	—40	—32,0	—40,0	—40	-50,00	- 58,00
—39	—39,44	—31,55	—39	—31,2	—38,2	—39	-48,75	- 55,75
—38	—38,88	—31,11	—38	—30,4	—36,4	—38	-47,50	- 53,50
—37	—38,33	—30,66	—37	—29,6	—34,6	—37	-46,25	- 51,25
—36	—37,77	—30,22	—36	—28,8	—32,8	—36	-45,00	- 49,00
—35	—37,22	—29,77	—35	—28,0	—31,0	—35	-43,75	- 46,75
—34	—36,66	—29,33	—34	—27,2	—29,2	—34	-42,50	- 44,50
—33	—36,11	—28,88	—33	—26,4	—27,4	—33	-41,25	- 42,25
—32	—35,55	—28,44	—32	—25,6	—25,6	—32	-40,00	- 40,00
—31	—35,00	—28,00	—31	—24,8	—23,8	—31	-38,75	- 37,75
—30	—34,44	—27,55	—30	—24,0	—22,0	—30	-37,50	- 35,50
—29	—33,88	—27,11	—29	—23,2	—20,2	—29	-36,25	- 33,25
—28	—33,33	—26,66	—28	—22,4	—18,4	—28	-35,00	- 31,00
—27	—32,77	—26,22	—27	—21,6	—16,6	—27	-33,75	- 28,75
—26	—32,22	—25,77	—26	—20,8	—14,8	—26	-32,50	- 26,50
—25	—31,66	—25,33	—25	—20,0	—13,0	—25	-31,25	- 24,25
—24	—31,11	—24,88	—24	—19,2	—11,2	—24	-30,00	- 22,00
—23	—30,55	—24,44	—23	—18,4	— 9,4	—23	-28,75	- 19,75

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
—22	—30,00	—24,00	—22	—17,6	—7,6	—22	—27,50	—17,50
—21	—29,44	—23,55	—21	—16,8	—5,8	—21	—26,25	—15,25
—20	—28,88	—23,11	—20	—16,0	—4,0	—20	—25,00	—13,00
—19	—28,33	—22,66	—19	—15,2	—2,2	—19	—23,75	—10,75
—18	—27,77	—22,22	—18	—14,4	—0,4	—18	—22,50	— 8,50
—17	—27,22	—21,77	—17	—13,6	1,4	—17	—21,25	— 6,25
—16	—26,66	—21,33	—16	—12,8	3,2	—16	—20,00	— 4,00
—15	—26,11	—20,88	—15	—12,0	5,0	—15	—18,75	— 1,75
—14	—25,55	—20,44	—14	—11,2	6,8	—14	—17,50	0,50
—13	—25,00	—20,00	—13	—10,4	8,6	—13	—16,25	2,75
—12	—24,44	—19,55	—12	— 9,6	10,4	—12	—15,00	5,00
—11	—23,88	—19,11	—11	— 8,8	12,2	—11	—13,75	7,25
—10	—23,33	—18,66	—10	— 8,0	14,0	—10	—12,50	9,50
— 9	—22,77	—18,22	— 9	— 7,2	15,8	— 9	—11,25	11,75
— 8	—22,22	—17,77	— 8	— 6,4	17,6	— 8	—10,00	14,00
— 7	—21,66	—17,33	— 7	— 5,6	19,4	— 7	— 8,75	16,25
— 6	—21,11	—16,88	— 6	— 4,8	21,2	— 6	— 7,50	18,50
— 5	—20,55	—16,44	— 5	— 4,0	23,0	— 5	— 6,25	20,75
— 4	—20,00	—16,00	— 4	— 3,2	24,8	— 4	— 5,00	23,00
— 3	—19,44	—15,55	— 3	— 2,4	26,6	— 3	— 3,75	25,25
— 2	—18,88	—15,11	— 2	— 1,6	28,4	— 2	— 2,50	27,50
— 1	—18,33	—14,66	— 1	— 0,8	30,2	— 1	— 1,25	29,75
0	—17,77	—14,22	0	0,0	32,0	0	0,00	32,00
1	—17,22	—13,77	1	0,8	33,8	1	1,25	34,25
2	—16,66	—13,33	2	1,6	35,6	2	2,50	36,50
3	—16,11	—12,88	3	2,4	37,4	3	3,75	38,75
4	—15,55	—12,44	4	3,2	39,2	4	5,00	41,00
5	—15,00	—12,00	5	4,0	41,0	5	6,25	43,25
6	—14,44	—11,55	6	4,8	42,8	6	7,50	45,50
7	—13,88	—11,11	7	5,6	44,6	7	8,75	47,75
8	—13,33	—10,66	8	6,4	46,4	8	10,00	50,00
9	—12,77	—10,22	9	7,2	48,2	9	11,25	52,25
10	—12,22	— 9,77	10	8,0	50,0	10	12,50	54,50
11	—11,66	— 9,33	11	8,8	51,8	11	13,75	56,75
12	—11,11	— 8,88	12	9,6	53,6	12	15,00	59,00
13	—10,55	— 8,44	13	10,4	55,4	13	16,25	61,25
14	—10,00	— 8,00	14	11,2	57,2	14	17,50	63,50
15	— 9,44	— 7,55	15	12,0	59,0	15	18,75	65,75
16	— 8,88	— 7,11	16	12,8	60,8	16	20,00	68,00
17	— 8,33	— 6,66	17	13,6	62,6	17	21,25	70,25
18	— 7,77	— 6,22	18	14,4	64,4	18	22,50	72,50
19	— 7,22	— 5,77	19	15,2	66,2	19	23,75	74,75
20	— 6,66	— 5,33	20	16,0	68,0	20	25,00	77,00
21	— 6,11	— 4,88	21	16,8	69,8	21	26,25	79,25
22	— 5,55	— 4,44	22	17,6	71,6	22	27,50	81,50
23	— 5,00	— 4,00	23	18,4	73,4	23	28,75	83,75

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
24	—4,44	—3,55	24	19,2	75,2	24	30,00	86,00
25	—3,88	—3,11	25	20,0	77,0	25	31,25	88,25
26	—3,33	—2,66	26	20,8	78,8	26	32,50	90,50
27	—2,77	—2,22	27	21,6	80,6	27	33,75	92,75
28	—2,22	—1,77	28	22,4	82,4	28	35,00	95,00
29	—1,66	—1,33	29	23,2	84,2	29	36,25	97,25
30	—1,11	—0,88	30	24,0	86,0	30	37,50	99,50
31	—0,55	—0,44	31	24,8	87,8	31	38,75	101,75
32	0,00	0,00	32	25,6	89,6	32	40,00	104,00
33	0,55	0,44	33	26,4	91,4	33	41,25	106,25
34	1,11	0,88	34	27,2	93,2	34	42,50	108,50
35	1,66	1,33	35	28,0	95,0	35	43,75	110,75
36	2,22	1,77	36	28,8	96,8	36	45,00	113,00
37	2,77	2,22	37	29,6	98,6	37	46,25	115,25
38	3,33	2,66	38	30,4	100,4	38	47,50	117,50
39	3,88	3,11	39	31,2	102,2	39	48,75	119,75
40	4,44	3,55	40	32,0	104,0	40	50,00	122,00
41	5,00	4,00	41	32,8	105,8	41	51,25	124,25
42	5,55	4,44	42	33,6	107,6	42	52,50	126,50
43	6,11	4,88	43	34,4	109,4	43	53,75	128,75
44	6,66	5,33	44	35,2	111,2	44	55,00	131,00
45	7,22	5,77	45	36,0	113,0	45	56,25	133,25
46	7,77	6,22	46	36,8	114,8	46	57,50	135,50
47	8,33	6,66	47	37,6	116,6	47	58,75	137,75
48	8,88	7,11	48	38,4	118,4	48	60,00	140,00
49	9,44	7,55	49	39,2	120,2	49	61,25	142,25
50	10,00	8,00	50	40,0	122,0	50	62,50	144,50
51	10,55	8,44	51	40,8	123,8	51	63,75	146,75
52	11,11	8,88	52	41,6	125,6	52	65,00	149,00
53	11,66	9,33	53	42,4	127,4	53	66,25	151,25
54	12,22	9,77	54	43,2	129,2	54	67,50	153,50
55	12,77	10,22	55	44,0	131,0	55	68,75	155,75
56	13,33	10,66	56	44,8	132,8	56	70,00	158,00
57	13,88	11,11	57	45,6	134,6	57	71,25	160,25
58	14,44	11,55	58	46,4	136,4	58	72,50	162,50
59	15,00	12,00	59	47,2	138,2	59	73,75	164,75
60	15,55	12,44	60	48,0	140,0	60	75,00	167,00
61	16,11	12,88	61	48,8	141,8	61	76,25	169,25
62	16,66	13,33	62	49,6	143,6	62	77,50	171,50
63	17,22	13,77	63	50,4	145,4	63	78,75	173,75
64	17,77	14,22	64	51,2	147,2	64	80,00	176,00
65	18,33	14,66	65	52,0	149,0	65	81,25	178,25
66	18,88	15,11	66	52,8	150,8	66	82,50	180,50
67	19,44	15,55	67	53,6	152,6	67	83,75	182,75
68	20,00	16,00	68	54,4	154,4	68	85,00	185,00
69	20,55	16,44	69	55,2	156,2	69	86,25	187,25

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
70	21,11	16,88	70	56,0	158,0	70	87,50	189,50
71	21,66	17,33	71	56,8	159,8	71	88,75	191,75
72	22,22	17,77	72	57,6	161,6	72	90,00	194,00
73	22,77	18,22	73	58,4	163,4	73	91,25	196,25
74	23,33	18,66	74	59,2	165,2	74	92,50	198,50
75	23,88	19,11	75	60,0	167,0	75	93,75	200,75
76	24,44	19,55	76	60,8	168,8	76	95,00	203,00
77	25,00	20,00	77	61,6	170,6	77	66,25	205,25
78	25,55	20,44	78	62,4	172,4	78	97,50	207,50
79	26,11	20,88	79	63,2	174,2	79	98,75	209,75
80	26,66	21,33	80	64,0	176,0	80	100,00	212,00
81	27,22	21,77	81	64,8	177,8	81	101,25	214,25
82	27,77	22,22	82	65,6	179,6	82	102,50	216,50
83	28,33	22,66	83	66,4	181,4	83	103,75	218,75
84	28,88	23,11	84	67,2	183,2	84	105,00	221,00
85	29,44	23,55	85	68,0	185,0	85	106,25	223,25
86	30,00	24,00	86	68,8	186,8	86	107,50	225,50
87	30,55	24,44	87	69,6	188,6	87	108,75	227,75
88	31,11	24,88	88	70,4	190,4	88	110,00	230,00
89	31,66	25,33	89	71,2	192,2	89	111,25	232,25
90	32,22	25,77	90	72,0	194,0	90	112,50	234,50
91	32,77	26,22	91	72,8	195,8	91	113,75	236,75
92	33,33	26,66	92	73,6	197,6	92	115,00	239,00
93	33,88	27,11	93	74,4	199,4	93	116,25	241,25
94	34,44	27,55	94	75,2	201,2	94	117,50	243,50
95	35,00	28,00	95	76,0	203,0	95	118,75	245,75
96	35,55	28,44	96	76,8	204,8	96	120,00	248,00
97	36,11	28,88	97	77,6	206,6	97	121,25	250,25
98	36,66	29,33	98	78,4	208,4	98	122,50	252,50
99	37,22	29,77	99	79,2	210,2	99	123,75	254,75
100	37,77	30,22	100	80,0	212,0	100	125,00	257,00
101	38,33	30,66	101	80,8	213,8	101	126,25	259,25
102	38,88	31,11	102	81,6	215,6	102	127,50	261,50
103	39,44	31,55	103	82,4	217,4	103	128,75	263,75
104	40,00	32,00	104	83,2	219,2	104	130,00	266,00
105	40,55	32,44	105	84,0	221,0	105	131,25	268,25
106	41,11	32,88	106	84,8	222,8	106	132,50	270,50
107	41,66	33,33	107	85,6	224,6	107	133,75	272,75
108	42,22	33,77	108	86,4	226,4	108	135,00	275,00
109	42,77	34,22	109	87,2	228,2	109	136,25	277,25
110	43,33	34,66	110	88,0	230,0	110	137,50	279,50
111	43,88	35,11	111	88,8	231,8	111	138,75	281,75
112	44,44	35,55	112	89,6	233,6	112	140,00	284,00
113	45,00	36,00	113	90,4	235,4	113	141,25	286,25
114	45,55	36,44	114	91,2	237,2	114	142,50	288,50
115	46,11	36,88	115	92,0	239,0	115	143,75	290,75

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
116	46,66	37,33	116	92,8	240,8	116	145,00	293,00
117	47,22	37,77	117	93,6	242,6	117	146,25	295,25
118	47,77	38,22	118	94,4	244,4	118	147,50	297,50
119	48,33	38,66	119	95,2	246,2	119	148,75	299,75
120	48,88	39,11	120	96,0	248,0	120	150,00	302,00
121	49,44	39,55	121	96,8	249,8	121	151,25	304,25
122	50,00	40,00	122	97,6	251,6	122	152,50	306,50
123	50,55	40,44	123	98,4	253,4	123	153,75	308,75
124	51,11	40,88	124	99,2	255,2	124	155,00	311,00
125	51,66	41,33	125	100,0	257,0	125	156,25	313,25
126	52,22	41,77	126	100,8	258,8	126	157,50	315,50
127	52,77	42,22	127	101,6	260,6	127	158,75	317,75
128	53,33	42,66	128	102,4	262,4	128	160,00	320,00
129	53,88	43,11	129	103,2	264,2	129	161,25	322,25
130	54,44	43,55	130	104,0	266,0	130	162,50	324,50
131	55,00	44,00	131	104,8	267,8	131	163,75	326,75
132	55,55	44,44	132	105,6	269,6	132	165,00	329,00
133	56,11	44,88	133	106,4	271,4	133	166,25	331,25
134	56,66	45,33	134	107,2	273,2	134	167,50	333,50
135	57,22	45,77	135	108,0	275,0	135	168,75	335,75
136	57,77	46,22	136	108,8	276,8	136	170,00	338,00
137	58,33	46,66	137	109,6	278,6	137	171,25	340,25
138	58,88	47,11	138	110,4	280,4	138	172,50	342,50
139	59,44	47,55	139	111,2	282,2	139	173,75	344,75
140	60,00	48,00	140	112,0	284,0	140	175,00	347,00
141	60,55	48,44	141	112,8	285,8	141	176,25	349,25
142	61,11	48,88	142	113,6	287,6	142	177,50	351,50
143	61,66	49,33	143	114,4	289,4	143	178,75	353,75
144	62,22	49,77	144	115,2	291,2	144	180,00	356,00
145	62,77	50,22	145	116,0	293,0	145	181,25	358,25
146	63,33	50,66	146	116,8	294,8	146	182,50	360,50
147	63,88	51,11	147	117,6	296,6	147	183,75	362,75
148	64,44	51,55	148	118,4	298,4	148	185,00	365,00
149	65,00	52,00	149	119,2	300,2	149	186,25	367,25
150	65,55	52,44	150	120,0	302,0	150	187,50	369,50
151	66,11	52,88	151	120,8	303,8	151	188,75	371,75
152	66,66	53,33	152	121,6	305,6	152	190,00	374,00
153	67,22	53,77	153	122,4	307,4	153	191,25	376,25
154	67,77	54,22	154	123,2	309,2	154	192,50	378,50
155	68,33	54,66	155	124,0	311,0	155	193,75	380,75
156	68,88	55,11	156	124,8	312,8	156	195,00	383,00
157	69,44	55,55	157	125,6	314,6	157	196,25	385,25
158	70,00	56,00	158	126,4	316,4	158	197,50	387,50
159	70,55	56,44	159	127,2	318,2	159	198,75	389,75
160	71,11	56,88	160	128,0	320,0	160	200,00	392,00
161	71,66	57,33	161	128,8	321,8	161	201,25	394,25

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
162	72,22	57,77	162	129,6	323,6	162	202,50	396,50
163	72,77	58,22	163	130,4	325,4	163	203,75	398,75
164	73,33	58,66	164	131,2	327,2	164	205,00	401,00
165	73,88	59,11	165	132,0	329,0	165	206,25	403,25
166	74,44	59,55	166	132,8	330,8	166	207,50	405,50
167	75,00	60,00	167	133,6	332,6	167	208,75	407,75
168	75,55	60,44	168	134,4	334,4	168	210,00	410,00
169	76,11	60,88	169	135,2	336,2	169	211,25	412,25
170	76,66	61,33	170	136,0	338,0	170	212,50	414,50
171	77,22	61,77	171	136,8	339,8	171	213,75	416,75
172	77,77	62,22	172	137,6	341,6	172	215,00	419,00
173	78,33	62,66	173	138,4	343,4	173	216,25	421,25
174	78,88	63,11	174	139,2	345,2	174	217,50	423,50
175	79,44	63,55	175	140,0	347,0	175	218,75	425,75
176	80,00	64,00	176	140,8	348,8	176	220,00	428,00
177	80,55	64,44	177	141,6	350,6	177	221,25	430,25
178	81,11	64,88	178	142,4	352,4	178	222,50	432,50
179	81,66	65,33	179	143,2	354,2	179	223,75	434,75
180	82,22	65,77	180	144,0	356,0	180	225,00	437,00
181	82,77	66,22	181	144,8	357,8	181	226,25	439,25
182	83,33	66,66	182	145,6	359,6	182	227,50	441,50
183	83,88	67,11	183	146,4	361,4	183	228,75	443,75
184	84,44	67,55	184	147,2	363,2	184	230,00	446,00
185	85,00	68,00	185	148,0	365,0	185	231,25	448,25
186	85,55	68,44	186	148,8	366,8	186	232,50	450,50
187	86,11	68,88	187	149,6	368,6	187	233,75	452,75
188	86,66	69,33	188	150,4	370,4	188	235,00	455,00
189	87,22	69,77	189	151,2	372,2	189	236,25	457,25
190	87,77	70,22	190	152,0	374,0	190	237,50	459,50
191	88,33	70,66	191	152,8	375,8	191	238,75	461,75
192	88,88	71,11	192	153,6	377,6	192	240,00	464,00
193	89,44	71,55	193	154,4	379,4	193	241,25	466,25
194	90,00	72,00	194	155,2	381,2	194	242,50	468,50
195	90,55	72,44	195	156,0	383,0	195	243,75	470,75
196	91,11	72,88	196	156,8	384,8	196	245,00	473,00
197	91,66	73,33	197	157,6	386,6	197	246,25	475,25
198	92,22	73,77	198	158,4	388,4	198	247,50	477,50
199	92,77	74,22	199	159,2	390,2	199	248,75	479,75
200	93,33	74,66	200	160,0	392,0	200	250,00	482,00
201	93,88	75,11	201	160,8	393,8	201	251,25	484,25
202	94,44	75,55	202	161,6	395,6	202	252,50	486,50
203	95,00	76,00	203	162,4	397,4	203	253,75	488,75
204	95,55	76,44	204	163,2	399,2	204	255,00	491,00
205	96,11	76,88	205	164,0	401,0	205	256,25	493,25
206	96,66	77,33	206	164,8	402,8	206	257,50	495,50
207	97,22	77,77	207	165,6	404,6	207	258,75	497,75

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
208	97,77	78,22	208	166,4	406,4	208	260,00	500,00
209	98,33	78,66	209	167,2	408,2	209	261,25	502,25
210	98,88	79,11	210	168,0	410,0	210	262,50	504,50
211	99,44	79,55	211	168,8	411,8	211	263,75	506,75
212	100,00	80,00	212	169,6	413,6	212	265,00	509,00
213	100,55	80,44	213	170,4	415,4	213	266,25	511,25
214	101,11	80,88	214	171,2	417,2	214	267,50	513,50
215	101,66	81,33	215	172,0	419,0	215	268,75	515,75
216	102,22	81,77	216	172,8	420,8	216	270,00	518,00
217	102,77	82,22	217	173,6	422,6	217	271,25	520,25
218	103,33	82,66	218	174,4	424,4	218	272,50	522,50
219	103,88	83,11	219	175,2	426,2	219	273,75	524,75
220	104,44	83,55	220	176,0	428,0	220	275,00	527,00
221	105,00	84,00	221	176,8	429,8	221	276,25	529,25
222	105,55	84,44	222	177,6	431,6	222	277,50	531,50
223	106,11	84,88	223	178,4	433,4	223	278,75	533,75
224	106,66	85,33	224	179,2	435,2	224	280,00	536,00
225	107,22	85,77	225	180,0	437,0	225	281,25	538,25
226	107,77	86,22	226	180,8	438,8	226	282,50	540,50
227	108,33	86,66	227	181,6	440,6	227	283,75	542,75
228	108,88	87,11	228	182,4	442,4	228	285,00	545,00
229	109,44	87,55	229	183,2	444,2	229	286,25	547,25
230	110,00	88,00	230	184,0	446,0	230	287,50	549,50
231	110,55	88,44	231	184,8	447,8	231	288,75	551,75
232	111,11	88,88	232	185,6	449,6	232	290,00	554,00
233	111,66	89,33	233	186,4	451,4	233	291,25	556,25
234	112,22	89,77	234	187,2	453,2	234	292,50	558,50
235	112,77	90,22	235	188,0	455,0	235	293,75	560,75
236	113,33	90,66	236	188,8	456,8	236	295,00	563,00
237	113,88	91,11	237	189,6	458,6	237	296,25	565,25
238	114,44	91,55	238	190,4	460,4	238	297,50	567,50
239	115,00	92,00	239	191,2	462,2	239	298,75	569,75
240	115,55	92,44	240	192,0	464,0	240	300,00	572,00
241	116,11	92,88	241	192,8	465,8	241	301,25	574,25
242	116,66	93,33	242	193,6	467,6	242	302,50	576,50
243	117,22	93,77	243	194,4	469,4	243	303,75	578,75
244	117,77	94,22	244	195,2	471,2	244	305,00	581,00
245	118,33	94,66	245	196,0	473,0	245	306,25	583,25
246	118,88	95,11	246	196,8	474,8	246	307,50	585,50
247	119,44	95,55	247	197,6	476,6	247	308,75	587,75
248	120,00	96,00	248	198,4	478,4	248	310,00	590,00
249	120,55	96,44	249	199,2	480,2	249	311,25	592,25
250	121,11	96,88	250	200,0	482,0	250	312,50	594,50
251	121,66	97,33	251	200,8	483,8	251	313,75	596,75
252	122,22	97,77	252	201,6	485,6	252	315,00	599,00
253	122,77	98,22	253	202,4	487,4	253	316,25	601,25

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
254	123,33	98,66	254	203,2	489,2	254	317,50	603,50
255	123,88	99,11	255	204,0	491,0	255	318,75	605,75
256	124,44	99,55	256	204,8	492,8	256	320,00	608,00
257	125,00	100,00	257	205,6	494,6	257	321,25	610,25
258	125,55	100,44	258	206,4	496,4	258	322,50	612,50
259	126,11	100,88	259	207,2	498,2	259	323,75	614,75
260	126,66	101,33	260	208,0	500,0	260	325,00	617,00
261	127,22	101,77	261	208,8	501,8	261	326,25	619,25
262	127,77	102,22	262	209,6	503,6	262	327,50	621,50
263	128,33	102,66	263	210,4	505,4	263	328,75	623,75
264	128,88	103,11	264	211,2	507,2	264	330,00	626,00
265	129,44	103,55	265	212,0	509,0	265	331,25	628,25
266	130,00	104,00	266	212,8	510,8	266	332,50	630,50
267	130,55	104,44	267	213,6	512,6	267	333,75	632,75
268	131,11	104,88	268	214,4	514,4	268	335,00	635,00
269	131,66	105,33	269	215,2	516,2	269	336,25	637,25
270	132,22	105,77	270	216,0	518,0	270	337,50	639,50
271	132,77	106,22	271	216,8	519,8	271	338,75	641,75
272	133,33	106,66	272	217,6	521,6	272	340,00	644,00
273	133,88	107,11	273	218,4	523,4	273	341,25	646,25
274	134,44	107,55	274	219,2	525,2	274	342,50	648,50
275	135,00	108,00	275	220,0	527,0	275	343,75	650,75
276	135,55	108,44	276	220,8	528,8	276	345,00	653,00
277	136,11	108,88	277	221,6	530,6	277	346,25	655,25
278	136,66	109,33	278	222,4	532,4	278	347,50	657,50
279	137,22	109,77	279	223,2	534,2	279	348,75	659,75
280	137,77	110,22	280	224,0	536,0	280	350,00	662,00
281	138,33	110,66	281	224,8	537,8	281	351,25	664,25
282	138,88	111,11	282	225,6	539,6	282	352,50	666,50
283	139,44	111,55	283	226,4	541,4	283	353,75	668,75
284	140,00	112,00	284	227,2	543,2	284	355,00	671,00
285	140,55	112,44	285	228,0	545,0	285	356,25	673,25
286	141,11	112,88	286	228,8	546,8	286	357,50	675,50
287	141,66	113,33	287	229,6	548,6	287	358,75	677,75
288	142,22	113,77	288	230,4	550,4	288	360,00	680,00
289	142,77	114,22	289	231,2	552,2	289	361,25	682,25
290	143,33	114,66	290	232,0	554,0	290	362,50	684,50
291	143,88	115,11	291	232,8	555,8	291	363,75	686,75
292	144,44	115,55	292	233,6	557,6	292	365,00	689,00
293	145,00	116,00	293	234,4	559,4	293	366,25	691,25
294	145,55	116,44	294	235,2	561,2	294	367,50	693,50
295	146,11	116,88	295	236,0	563,0	295	368,75	695,75
296	146,66	117,33	296	236,8	564,8	296	370,00	698,00
297	147,22	117,77	297	237,6	566,6	297	371,25	700,25
298	147,77	118,22	298	238,4	568,4	298	372,50	702,50
299	148,33	118,66	299	239,2	570,2	299	373,75	704,75

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
300	148,88	119,11	300	240,0	572,0	300	375,00	707,00
301	149,44	119,55	301	240,8	573,8	301	376,25	709,25
302	150,00	120,00	302	241,6	575,6	302	377,50	711,50
303	150,55	120,44	303	242,4	577,4	303	378,75	713,75
304	151,11	120,88	304	243,2	579,2	304	380,00	716,00
305	151,66	121,33	305	244,0	581,0	305	381,25	718,25
306	152,22	121,77	306	244,8	582,8	306	382,50	720,50
307	152,77	122,22	307	245,6	584,6	307	383,75	722,75
308	153,33	122,66	308	246,4	586,4	308	385,00	725,00
309	153,88	123,11	309	247,2	588,2	309	386,25	727,25
310	154,44	123,55	310	248,0	590,0	310	387,50	729,50
311	155,00	124,00	311	248,8	591,8	311	388,75	731,75
312	155,55	124,44	312	249,6	593,6	312	390,00	734,00
313	156,11	124,88	313	250,4	595,4	313	391,25	736,25
314	156,66	125,33	314	251,2	597,2	314	392,50	738,50
315	157,22	125,77	315	252,0	599,0	315	393,75	740,75
316	157,77	126,22	316	252,8	600,8	316	395,00	743,00
317	158,33	126,66	317	253,6	602,6	317	396,25	745,25
318	158,88	127,11	318	254,4	604,4	318	397,50	747,50
319	159,44	127,55	319	255,2	606,2	319	398,75	749,75
320	160,00	128,00	320	256,0	608,0	320	400,00	752,00
321	160,55	128,44	321	256,8	609,8	321	401,25	754,25
322	161,11	128,88	322	257,6	611,6	322	402,50	756,50
323	161,66	129,33	323	258,4	613,4	323	403,75	758,75
324	162,22	129,77	324	259,2	615,2	324	405,00	761,00
325	162,77	130,22	325	260,0	617,0	325	406,25	763,25
326	163,33	130,66	326	260,8	618,8	326	407,50	765,50
327	163,88	131,11	327	261,6	620,6	327	408,75	767,75
328	164,44	131,55	328	262,4	622,4	328	410,00	770,00
329	165,00	132,00	329	263,2	624,2	329	411,25	772,25
330	165,55	132,44	330	264,0	626,0	330	412,50	774,50
331	166,11	132,88	331	264,8	627,8	331	413,75	776,75
332	166,66	133,33	332	265,6	629,6	332	415,00	779,00
333	167,22	133,77	333	266,4	631,4	333	416,25	781,25
334	167,77	134,22	334	267,2	633,2	334	417,50	783,50
335	168,33	134,66	335	268,0	635,0	335	418,75	785,75
336	168,88	135,11	336	268,8	636,8	336	420,00	788,00
337	169,44	135,55	337	269,6	638,6	337	421,25	790,25
338	170,00	136,00	338	270,4	640,4	338	522,50	792,50
339	170,55	136,44	339	271,2	642,2	339	423,75	794,75
340	171,11	136,88	340	272,0	644,0	340	425,00	797,00
341	171,66	137,33	341	272,8	645,8	341	426,25	799,25
342	172,22	137,77	342	273,6	647,6	342	427,50	801,50
343	172,77	138,22	343	274,4	649,4	343	428,75	803,75
344	173,33	138,66	344	275,2	651,2	344	430,00	806,00
345	173,88	139,11	345	276,0	653,0	345	431,25	808,25

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	R.	Fahr.	R.	Cent.	Fahr.
346	174,44	139,55	346	276,8	654,8	346	432,50	810,50
347	175,00	140,00	347	277,6	656,6	347	433,75	812,75
348	175,55	140,44	348	278,4	658,4	348	435,00	815,00
349	176,11	140,88	349	279,2	660,2	349	436,25	817,25
350	176,66	141,33	350	280,0	662,0	350	437,50	819,50

II. Tabelle zur Reduction der Thermometergrade für sich genommen.

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	Fahr.	R.	Fahr.
1	0,55	0,44	1	1,8	1	2,25
2	1,11	0,88	2	3,6	2	4,50
3	1,66	1,33	3	5,4	3	6,75
4	2,22	1,77	4	7,2	4	9,00
5	2,77	2,22	5	9,0	5	11,25
6	3,33	2,66	6	10,8	6	13,50
7	3,88	3,11	7	12,6	7	15,75
8	4,44	3,55	8	14,4	8	18,00
9	5,00	4,00	9	16,2	9	20,25
10	5,55	4,44	10	18,0	10	22,50
11	6,11	4,88	11	19,8	11	24,75
12	6,66	5,33	12	21,6	12	27,00
13	7,22	5,77	13	23,4	13	29,25
14	7,77	6,22	14	25,2	14	31,50
15	8,33	6,66	15	27,0	15	33,75
16	8,88	7,11	16	28,8	16	36,00
17	9,44	7,55	17	30,6	17	38,25
18	10,00	8,00	18	32,4	18	40,50
19	10,55	8,44	19	34,2	19	42,75
20	11,11	8,88	20	36,0	20	45,00
21	11,66	9,33	21	37,8	21	47,25
22	12,22	9,77	22	39,6	22	49,50
23	12,77	10,22	23	41,4	23	51,75
24	13,33	10,66	24	43,2	24	54,00
25	13,88	11,11	25	45,0	25	56,25
26	14,44	11,55	26	46,8	26	58,50
27	15,00	12,00	27	48,6	27	60,75
28	15,55	12,44	28	50,4	28	63,00
29	16,11	12,88	29	52,2	29	65,25
30	16,66	13,33	30	54,0	30	67,50
31	17,22	13,77	31	55,8	31	69,75
32	17,77	14,22	32	57,6	32	72,00

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	Fahr.	R.	Fahr.
33	18,33	14,66	33	59,4	33	74,25
34	18,88	15,11	34	61,2	34	76,50
35	19,44	15,55	35	63,0	35	78,75
36	20,00	16,00	36	64,8	36	81,00
37	20,55	16,44	37	66,6	37	83,25
38	21,11	16,88	38	68,4	38	85,50
39	21,66	17,33	39	70,2	39	87,75
40	22,22	17,77	40	72,0	40	90,00
41	22,77	18,22	41	73,8	41	92,25
42	23,33	18,66	42	75,6	42	94,50
43	23,88	19,11	43	77,4	43	96,75
44	24,44	19,55	44	79,2	44	99,00
45	25,00	20,00	45	81,0	45	101,25
46	25,55	20,44	46	82,8	46	103,50
47	26,11	20,88	47	84,6	47	105,75
48	26,66	21,33	48	86,4	48	108,00
49	27,22	21,77	49	88,2	49	110,25
50	27,77	22,22	50	90,0	50	112,50
51	28,33	22,66	51	91,8	51	114,75
52	28,88	23,11	52	93,6	52	117,00
53	29,44	23,55	53	95,4	53	119,25
54	30,00	24,00	54	97,2	54	121,50
55	30,55	24,44	55	99,0	55	123,75
56	31,11	24,88	56	100,8	56	126,00
57	31,66	25,33	57	102,6	57	128,25
58	32,22	25,77	58	104,4	58	130,50
59	32,77	26,22	59	106,2	59	132,75
60	33,33	26,66	60	108,0	60	135,00
61	33,88	27,11	61	109,8	61	137,25
62	34,44	27,55	62	111,6	62	139,50
63	35,00	28,00	63	113,4	63	141,75
64	35,55	28,44	64	115,2	64	144,00
65	36,11	28,88	65	117,0	65	146,25
66	36,66	29,33	66	118,8	66	148,50
67	37,22	29,77	67	120,6	67	150,75
68	37,77	30,22	68	122,4	68	153,00
69	38,33	30,66	69	124,2	69	155,25
70	38,88	31,11	70	126,0	70	157,50
71	39,44	31,55	71	127,8	71	159,75
72	40,00	32,00	72	129,6	72	162,00
73	40,55	32,44	73	131,4	73	164,25
74	41,11	32,88	74	133,2	74	166,50
75	41,66	33,33	75	135,0	75	168,75
76	42,22	33,77	76	136,8	76	171,00
77	42,77	34,22	77	138,6	77	173,25
78	43,33	34,66	78	140,4	78	175,50

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fahr.	Cent.	R.	Cent.	Fahr.	R.	Fahr.
79	43,88	35,11	79	142,2	79	177,75
80	44,44	35,55	80	144,0	80	180,00
81	45,00	36,00	81	145,8	81	182,25
82	45,55	36,44	82	147,6	82	184,50
83	46,11	36,88	83	149,4	83	186,75
84	46,66	37,33	84	151,2	84	189,00
85	47,22	37,77	85	153,0	85	191,25
86	47,77	38,22	86	154,8	86	193,50
87	48,33	38,66	87	156,6	87	195,75
88	48,88	39,11	88	158,4	88	198,00
89	49,44	39,55	89	160,2	89	200,25
90	50,00	40,00	90	162,0	90	202,50
91	50,55	40,44	91	163,8	91	204,75
92	51,11	40,88	92	165,6	92	207,00
93	51,66	41,33	93	167,4	93	209,25
94	52,22	41,77	94	169,2	94	211,50
95	52,77	42,22	95	171,0	95	213,75
96	53,33	42,66	96	172,8	96	216,00
97	53,88	43,11	97	174,6	97	218,25
98	54,44	43,55	98	176,4	98	220,50
99	55,00	44,00	99	178,2	99	222,75
100	55,55	44,44	100	180,0	100	225,00

42) Bei den vorstehenden Tabellen ist noch zu bemerken, dafs die Decimalbrüche für die Reductionen der Fahrenheit'schen Grade auf centesimale und achtzigtheilige unendliche Reihen gleicher fortlaufender Zahlen bilden, die man also willkürlich weit fortsetzen kann. Es betragen also z. B. in der ersten Tabelle 60° F. nicht, wie in der Tabelle steht, 15°,55 C. und 12°,44 R., sondern 15°,55555 .... C. und 12°,44444 .... R. und ebenso in der zweiten 60° F. nicht 33°,33 C. und 26°,66 R., sondern 33°,33333 . . . . C. und 26°,66666 . . . . R. Die zweite Tabelle kann daher auch für solche Fälle benutzt werden, in denen noch gröfsere Mengen von Graden zu reduciren sind. Wenn es also z. B. hiefse, der Temperaturunterschied zwischen dem Gefrierpuncte und dem Siedepuncte des Quecksilbers betrage 650 Grade nach Fahrenheit[1], so giebt

1 Eine hiervon verschiedene Aufgabe wäre, wenn man 650° F. oder 650 Grade der Fahrenheit'schen Thermometerscale auf die Centesimal- oder Reaumür'sche Scale reduciren wollte, denn diese wür-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Tabelle für 65 Grade F. 36,11 C. und 28,88 R., mithin würden 650 Grade F. 361,111... C. und 288,888.. R. betragen. Liegt der Gefrierpunct des Quecksilbers bei — 39° C. und sein Siedepunct bei 350° C., so beträgt das Intervall der Wärme 389 Grade der Centesimalscale. Sollen diese auf Reaumür'sche und Fahrenheit'sche reducirt werden, so giebt für Reaumür'sche Grade die erste Tabelle

350° C.	=	280°,0 R.	
39 C.	=	31,2 R.	
389 C.	=	311,2 R.,	

für Fahrenheit'sche Grade aber die zweite Tabelle

350 Cent. Grade	=	630,0 Fahr. Grade	
39 — —	=	70,2 — —	
389 — —	=	700,2 — —	

Die Tabellen können auch gebraucht werden, um die Decimalbrüche der verschiedenen Scalengrade auf einander zu reduciren, und es bedarf also hierzu keiner besondern Tabelle; aus der ersten Tabelle sind die Werthe für die Reduction der Cent. auf R. Grade und umgekehrt zu entnehmen, aus der zweiten für die Reduction der Fahrenheit'schen Grade auf die beiden andern Scalen und umgekehrt; denn da 1 Grad F. = 0,55 Grad Cent. und 0,44 Grad R. ist, so mufs 0,1 Grad F. = 0,055 Grad Cent. und 0,044 Grad R. seyn u. s. w. Es sey daher 16,73 Grad Cent. auf Grade R. zu reduciren, so hat man nach der ersten Tabelle:

16,00 Grad Cent.	=	12,8 Grad R.	
0,70 — —	=	0,56 — —	
0,03 — —	=	0,024 — —	
16,73 — —	=	13,384 — —	

und wenn 125,32 Grade Fahr. auf Cent. und R. Grade zu reduciren sind, so hat man nach der zweiten Tabelle

100 Grad Fahr.	=	55,5555 Grad Cent.	und	44,4444	Grad R.
25 — —	=	13,8888 — —	—	11,1111	— —
0,32 — —	=	0,1777 — —	—	0,1444	— —
125,32 — —	=	69,6222 — —	—	55,7	— —

---

den (650 — 32) $\frac{5}{9}$ C. und (650 — 32) $\frac{4}{9}$ R. = 343,33 C. und 274,66 R. betragen, wie aus der ersten Tabelle zu ersehen, wenn man aus den Columnen für Cent. und R. Grade die zugehörigen nach Fahr. sucht.

Das Null der Thermometerscalen bezeichnet kein absolutes Null, und somit sind auch die negativen Grade keine eigentlichen negativen Gröſsen, wie denn überhaupt eine negative Wärme nicht existiren kann, sofern dieses einen Zustand der Körper anzeigen würde, in welchem eine positive Gröſse hinzukommen oder eine negative abgezogen werden müſste, um das wirkliche Null, die Abwesenheit aller Wärme, hervorzubringen, was nicht wohl vorstellbar ist. Das Null der Thermometerscalen ist vielmehr ein willkürlich angenommener Punct der Temperatur, von wo an die Zunahmen der Wärme gezählt werden. Bei verschiedenen Aufgaben muſs dieses wohl berücksichtigt werden; ob es aber einen eigentlichen Nullpunct der Wärme gebe und wohin derselbe zu setzen sey, wird im Art. *Wärme* untersucht werden.

F. Correctionen des Thermometers.

43) Es wird jetzt allgemein angenommen, daſs alle Thermometer, sobald sie zu genauen Messungen dienen sollen, corrigirt, und zwar nicht nach einem bestimmten Gesetze, wie z. B. wegen ihrer Abweichung von einer eigentlichen, nur durch Luftthermometer möglichen, genauen Messung der Temperaturen reducirt, sondern als ganz eigentlich fehlerhafte Apparate wegen mehrerer Unrichtigkeiten verbessert werden müssen, wodurch die nur scheinbar vorhandene Bequemlichkeit, die gesuchten Werthe ohne weitere Reduction durch bloſses Ablesen zu erhalten, gänzlich wegfällt. Die Prüfung soll ferner durch die Physiker selbst vorgenommen und durch diese sollen dann die erforderlichen Correctionen aufgefunden werden, denen sich zwar Geschicklichkeit in der Manipulation der Instrumente und, wie sich dieses von selbst versteht, durch viele Uebung erlangte Genauigkeit und Schärfe im Beobachten und Messen aller Art im Allgemeinen nicht absprechen läſst, die jedoch in Beziehung auf die vorliegende specielle Aufgabe der Behandlung von Thermometern solchen Künstlern nothwendig nachstehn müssen, die sich mit diesem individuellen Gegenstande anhaltend beschäftigt haben. Nach mehreren eigenen Erfahrungen hat es mir daher mitunter geschienen, als würden bei den jetzt allgemein für nothwendig erachteten Ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

besserungen der Thermometer zuweilen Fehler hineincorrigirt, die ursprünglich nicht vorhanden waren. Es versteht sich dabei wohl von selbst, dafs nur von vorzüglich guten, aus den Händen geübter und gewissenhafter Künstler kommenden Thermometern die Rede seyn kann, denn die Richtigkeit der gewöhnlichen Apparate dieser Art wird kein Sachkenner nur vorauszusetzen wagen. So viel ist aber wohl gewifs, dafs die Naturforscher eigentlich berechtigt wären, von den Künstlern, die durch viele Uebung nothwendig eine gröfsere Fertigkeit in diesen speciellen Operationen erlangen müssen, genaue und fehlerfreie Thermometer zu verlangen, wogegen letztere gerechte Ansprüche haben, ihre Mühe belohnt zu erhalten, da es unmöglich ist, für etwa zwei Gulden oder gar einen Thaler einen viele Zeit und Mühe erfordernden Apparat dieser Art zu erstehn. Wir wollen indefs die einzelnen Fehler und die dafür erforderlichen Correctionen näher untersuchen, woraus dann die Gründe für die eben aufgestellen Behauptungen hervorgehn werden.

44) *Verrückung des Gefrierpunctes.* Aus der Construction der Thermometer erhellt, dafs vor allen Dingen die beiden festen Puncte im höchsten Grade zuverlässig seyn müssen, und man nahm dieses auch als wirklich bestehend an, mindestens bei guten Thermometern, bis Gourdon[1] den Nullpunct bei verschiedenen, mehrere Jahre alten Thermometern controlirte und ihn bei Quecksilberthermometern um 0°,5 bis sogar 1° C. zu hoch fand, bei Weingeistthermometern dagegen fast unmerklich. Die Ursache dieses constanten Fehlers suchte er in einem geringen Antheile von Luft, welcher seiner Ansicht nach beim Auskochen dieser Apparate zurückbleiben, sich nachher vom Quecksilber trennen und dadurch das Volumen desselben vergröfsern sollte. Pictet[2] bestätigte die Thatsache, auch fand man bei dem berühmten Thermometer im Keller der Pariser Sternwarte den Gefrierpunct nicht mehr richtig[3]. Auch Flaugergues[4] fand durch sorgfältige Prüfung diesen Fehler, jedoch nur bei oben verschlossenen Thermometern, statt dafs er sich

1 Biblioth. univ. T. XIX. p. 154.
2 Ebend. T. XIX. p. 62.
3 Brugnatelli Giorn. di Fis. 1821. p. 341.
4 Biblioth. univ. T. XX. p. 117.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bei solchen nicht zeigte, bei denen man unterlassen hatte, sie luftleer zu machen. In Gemäfsheit dieser Erfahrungen stellte er die von Gourdon gegebene Erklärung in Zweifel, zugleich auch aus dem triftigen Grunde, weil die Luft sich vom Weingeiste schwieriger als vom Quecksilber gänzlich entfernen lasse und daher die mit dieser Flüssigkeit gefüllten Thermometer noch gröfsere Unrichtigkeiten zeigen müfsten; wozu man noch setzen könnte, dafs durch die ausgeschiedene Luft, sofern sie sich als frei stärker ausdehnt, der Siedepunct noch mehr verrückt werden müfste. Dagegen glaubte er den Fehler aus dem Drucke der Luft auf die Aufsenfläche der luftleeren Thermometer ableiten zu müssen, sofern das elastische Glas diesem nachgebe und der Fehler sich daher durch die Länge der Zeit vergröfsere, weswegen er rieth, die Thermometer nicht mehr luftleer herzustellen, und das obere Ende der Röhre nicht zuzuschmelzen, sondern durch übergebundenes Leder gegen eindringenden Staub und einen Verlust von Quecksilber zu schützen. Weitläuftige Untersuchungen, sowohl über die Richtigkeit der Thatsache, als auch die Ursachen dieses Fehlers, stellte Bellani[1] an, fand die Sache allerdings bestätigt, getraute sich aber nicht, über die Richtigkeit der einen oder der anderen der gegebenen Erklärungen mit Bestimmtheit zu entscheiden. Um dieselbe Zeit prüfte v. Yelin[2] nicht weniger als 21 zum Theil ältere Thermometer, und fand nur bei einem derselben die Lage des Gefrierpunctes ganz richtig, bei dreien lag er etwas zu tief, bei allen übrigen zu hoch, und zwar so sehr, dafs das Maximum des Fehlers 2°,5 C. betrug. Der Grund dieses Fehlers ist nach ihm theils im Luftdrucke, theils in einer Art von Krystallisation der schnell erkaltenden Kugel zu suchen. Das gröfste Ansehn erhielten die genauen und ausgedehnten Versuche von de la Rive und Marcet[3], welche nicht blofs den constanten Fehler der Thermometer durch das gewöhnliche Einsenken in schmelzenden Schnee bestätigt fanden, sondern auch die Ursache dieser Unrichtigkeit dadurch nachwiesen, dafs sie dieselben unter der Luftpumpe abwechselnd dem äufsern Luftdrucke aussetzten und ihm ent-

1 Brugnatelli Giorn. di Fis. T. XV. p. 268. Bibl. univ. T. XXI. p. 252. 330.

2 Kastner's Archiv. Th. III. S. 109.

3 Bibl. univ. T. XXII. p. 265.

zogen, wobei sie im ersten Falle den Nullpunct allezeit tiefer, im zweiten aber höher liegend fanden. Seitdem sind fast alle Physiker dieser Ansicht beigetreten, haben gröfsere oder geringere Abweichungen der durch sie geprüften Thermometer wahrgenommen und den Luftdruck als Ursache derselben nicht weiter in Zweifel gezogen. Sabine[1] unter Andern untersuchte das bei seinen Pendelmessungen gebrauchte höchst genaue Thermometer gleichfalls unter der Luftpumpe und fand seinen Nullpunct 0°,78 F. zu hoch liegend, bei gewöhnlichen Thermometern ergab die Prüfung einen mittleren Fehler von 1° F., wenn die Kugel die im Ganzen übliche Dicke hat. Drei von Egen[2] untersuchte Thermometer zeigten nach dem Abbrechen der Spitzen eine Erniedrigung des Eispunctes von 0°,205; 0°,080; 0°,369 C. Einen indirecten Beweis, dafs der Luftdruck den Stand des Quecksilbers im Thermometer zu ändern im Stande seyn müsse, giebt Rudberg[3] durch die gemachte Erfahrung, dafs man die Thermometerkugel, nachdem sie durch einen schlechten Leiter, z. B. mehrmals umgelegtes Papier, gegen den Einflufs der Wärme der Hand geschützt ist, mit den Fingern zusammendrücken und den Quecksilberfaden zum Steigen bringen kann. Poggendorff bemerkt dabei, dafs sich die Erscheinung am auffallendsten an den, zu wissenschaftlichen Untersuchungen allerdings wenig gebräuchlichen, Thermometern mit platten cylindrischen Behältern zeige, man kann sie aber auch an Thermometern mit cylindrischen oder bauchigen Behältern und selbst an Kugeln, wenn sie etwas grofs sind, sichtbar machen und bedarf dazu einer Umlegung derselben mit Papier nicht, die obendrein das feinere Fühlen der Stärke des Drucks hindert, indem es leicht ist, das obere Ende des Quecksilberfadens durch momentanes wechselndes Drücken in eine hüpfende Bewegung zu bringen. Einen directen Beweis liefern ferner Egen's[4] Versuche, welcher vermittelst eines eigenen Apparates drei Thermometer einem wachsenden Quecksilberdrucke aussetzte und die Verrückung des Frostpunctes den Höhen der drückenden Quecksilbersäule

1 Philos. Trans. 1829. p. 215. 1831. p. 460.
2 Poggendorff Ann. IX. 349.
3 Ebend. XL. 46.
4 Ebend. XI. 353.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

direct und der Glasdicke der Kugeln umgekehrt proportional fand. Rudberg erwähnt aufserdem, dafs Thermometer, die viele Grade unter Null angeben und in denen also ein langer Quecksilberfaden in der Röhre vorhanden ist, in verticaler Lage niedriger stehn, als in horizontaler. Bei gewöhnlichen Thermometern kann dieser Unterschied nur ein geringer seyn, es zeigte sich aber ein sehr grofser, als ich den Versuch mit den langen, in die Erde zu grabenden Thermometern anstellte, deren eins eine Quecksilbersäule von 72 Par. Zoll enthält[1], und betrug über 0°,75 R. Eine Reihe specieller Versuche ist diesem Gegenstande später durch Egen[2] gewidmet worden. Er liefs sich einen geeigneten Apparat verfertigen, um die dem Dampfe des siedenden Wassers ausgesetzten Thermometer abwechselnd in horizontaler, in verticaler Lage und bei 30° Neigung zu beobachten, verglich ihre Stände hierbei mit denen, die sie in gleichen Lagen bei mittlerer Temperatur und im schmelzenden Schnee zeigten, und fand durch Messung der Länge des in den Röhrchen bei diesen verschiedenen Wärmegraden enthaltenen Quecksilberfadens, dafs die verursachten Depressionen im Ganzen den Druckhöhen proportional sind und sich den hydrostatischen Gesetzen gemäfs verhalten. Werden die Thermometer, wie meistens der Fall ist, in verticaler Richtung beobachtet, in welcher auch ihre festen Puncte bestimmt wurden, so gleicht sich dieser Fehler von selbst aus, bei horizontaler Lage aber mufs er berücksichtigt werden, auch ergiebt sich aus den Versuchen, dafs selbst eine Veränderung des äufsern Luftdruckes von 1 Zoll Quecksilberhöhe einen durch feine Messungen merkbaren Fehler der Thermometerstände herbeiführt.

45) Läfst sich gleich die Thatsache im Allgemeinen hiernach nicht in Abrede stellen, so würde man doch der neuen Beobachtung allzusehr huldigen, wenn man alle Thermometer danach für bedeutend unrichtig halten wollte, und viele gefundene Verrückungen des Nullpunctes wären sicher kleiner

---

1 S. oben *Temperatur der Erdkruste*, und meine Abhandl. über die Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten, S. 9. Anm. Eine ähnliche Erscheinung bei einem 3 Fufs langen Thermometer erwähnt Baumgartner Naturlehre. Supplem. S. 130.

2 Poggendorff Ann. XIII. 41.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ausgefallen oder ganz verschwunden, wenn man bei ihrer Untersuchung die Fehler sorgfältig vermieden hätte, die bei der Bestimmung dieses Punctes so leicht begangen werden. Auffallend bleibt es immer, dafs man in England, wo der Gefrierpunct nicht auf 0° fällt und sonach nicht unmittelbar als ein Hauptpunct auffällt, den Fehler anfangs nicht finden wollte[1] und dafs auch seitdem dort nicht eben viel davon geredet wird, ja, was allerdings merkwürdig ist, Blackadder[2] macht eine Bemerkung bekannt, dafs man verschiedentlich einen constanten Fehler des Quecksilberthermometers gefunden habe, allein er versteht darunter gerade den umgekehrten, einen niedrigern Stand beim Gefrierpuncte, und leitet dieses von einem geringen Theile atmosphärischer Luft ab, der in der Kugel zurückgeblieben und dessen Sauerstoffgas vom Quecksilber durch Oxydation absorbirt seyn sollte. Möglich wäre immer, dafs die englischen Künstler genauer arbeiten und dafs dort nicht so viele schlechte Thermometer in die Hände selbst der Physiker kommen, als vielleicht auf dem Continente der Fall ist, wo die Preise dieser Instrumente allmälig sehr tief herabgedrückt worden sind, wodurch sie dann aber nur in den mittleren Graden eine annähernde Genauigkeit haben können. Auch Moll[3], ein so genauer und besonnener, auf gute Apparate haltender Physiker, bezweifelte die Thatsache; Bürg[4] fand bei der absichtlich angestellten Untersuchung nur bei einem zufällig oben abgebrochenen Thermometer den Gefrierpunct völlig genau, bei den übrigen lag er jedoch nur $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$ eines Reaumür'schen Grades über dem gemachten Zeichen, und bei einem mit einer Kugel von 3,75 Lin. Durchmesser, auf dessen Scale die achtzigtheiligen Grade 2,5 Lin. betrugen, zugleich aber halbe Grade gezeichnet waren, nicht mehr als $\frac{1}{8}$ eines achtzigtheiligen Grades. Ich selbst zog anfangs die Rich-

---

1 Annals of Philos. 1823. Jul. p. 74.

2 Edinburgh Journ. of Science. N. IX. p. 47. It has been remarked, by various observers, that the most accurately constructed mercurial thermometers are liable, in the course of long use, to become inaccurate; and in such cases it is a lowering of the original height of the mercury that has been observed to take place.

3 Edinburgh Philos. Journ. N. XVII. p. 196.

4 Wiener Zeitschr. Th. III. S. 18.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tigkeit der Sache in Zweifel[1], weil von drei Thermometern, die ich der Versuche wegen oftmals genau geprüft hatte, das eine von Greiner in Berlin, welches in Viertelgrade R. getheilt ist, die wieder bis auf Viertel genügend geschätzt werden können, den Eispunct 0°,05 R. unter dem Striche zeigte, die beiden andern aber, von Loos in Darmstadt, völlig genau waren. Auch bei einem Pariser Thermometer, welches zufällig durch Abbrechen der oberen Spitze offen war, dessen Scale bis 400° C. reicht, fand ich den Gefrierpunct genau, obgleich der Quecksilberfaden sich bei einer Wärme von 20° C. und darüber in mehrere Theile trennte und also etwas Luft oder Feuchtigkeit enthalten mufste. Den Einflufs des Luftdruckes konnte ich um so weniger bezweifeln, als ich einen auffallenden Beweis vom Nachgeben des Gefäfses gegen mechanischen Druck, namentlich durch die Quecksilbersäule im Innern, bei der Prüfung der langen Thermometer erhalten hatte, allein aus ebendieser Erfahrung ging auch hervor, dafs das Glas bei fortdauerndem unverändertem Drucke sich nur bis zu einer gewissen Grenze ausdehnt oder zusammenzieht; denn seit mehreren Jahren zeigte sich keine Veränderung des Gefrierpunctes bei dem langen Thermometer, obgleich der Druck des Quecksilberfadens gegen die inneren Wandungen des Gefäfses ungefähr $2\frac{4}{7}$ Atmosphären betrug. Indem aber bei gewöhnlichen Thermometern die festen Puncte erst mehrere Tage, meistens sogar Wochen und selbst Monate nach dem Verschliefsen ihrer Röhren bestimmt werden, so sollte man schliefsen, dafs die Kugeln derselben während dieser Zeit durch den steten Einflufs des Luftdrucks so weit zusammengedrückt seyn müfsten, als das Glas diesem nachzugeben vermag, nach welcher Zeit aber nothwendig ein Stillstand eintreten mufs. Hiermit übereinstimmend ist auch die Erfahrung, dafs die von Lenz auf v. Kotzebue's Entdeckungsreise gebrauchten Thermometer binnen vier Jahren den Gefrierpunct nicht änderten[2], wobei bemerkt wird, die Kugeln derselben seyen von dickem Glase; auch meint Rudberg[3], man könne die Glasdicke der Thermometerkugeln so stark machen, dafs keine Zusammen-

1 Meine Abhandl. über d. Ausdehnung tropfbarer Flüssigkeiten. S. 5.

2 Mém. de l'Acad. de Petersb. VI. Sér. T. I. p. 255.

3 A. o. a. O.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

drückung möglich bleibe, was jedoch der Empfindlichkeit schaden würde.

46) Die von mir anfangs untersuchten drei Thermometer sind die vorzüglichsten, die ich besitze, und aus der auf ihre Verfertigung verwandten gröfseren Sorgfalt dürfte wohl die genaue Lage ihres Eispunctes zu erklären seyn; spätere Versuche haben mich allerdings überzeugt, dafs dieses bei andern Thermometern keineswegs der Fall ist, auch überraschte mich bald die Entdeckung, dafs der höher gefundene Gefrierpunct tiefer herabging, wenn ich zwischen den beiden Messungen das Thermometer einige Zeit in siedendes Wasser senkte, jedoch habe ich keine hinlänglich erschöpfenden Versuche angestellt, um hiernach über das Problem genügend zu entscheiden. Auf jeden Fall mufs durch den äufseren Luftdruck eine Zusammendrückung des Behälters am Thermometer statt finden und hierauf eine Verrückung der Grade beruhn, sofern diese nicht durch vorhandene Dämpfe im Innern compensirt wird, wie denn schon Taberati[1] fand, dafs Thermometer im Vacuum der Luftpumpe einen niedrigern Stand zeigen, ohne die Ursache hiervon zu kennen, die nachher durch Marcet und de la Rive aufgefunden wurde. Gay-Lussac[2] erkannte zwar bald, dafs eine Absorption der zurückgebliebenen Luft nach Blackadder den entgegengesetzten Fehler erzeugen müsse, indefs wollte er im Gegentheil die Verrückung des Eispunctes von etwas vorhandener Luft ableiten, da schon de Luc[3] bemerkt habe, dafs dieselbe, anfangs im Quecksilber zerstreut, sich mit der Zeit sammle und an Elasticität zunehme. Gay-Lussac war daher nicht geneigt, den erwähnten Ansichten von Flaugergues und Bellani beizupflichten, liefs aber zwei gleiche Thermometer verfertigen, das eine oben offen, das andere verschlossen, und wirklich zeigte sich bei dem letzteren die fragliche Verrückung des Eispunctes, obgleich die Kugel von solcher Glasdicke war, dafs sie nach seiner Ansicht dem Luftdrucke widerstehn mufste. Diesemnach glaubt er ein Mittel gegen diesen Fehler in einem starken Auskochen des Quecksilbers zu finden, welches aber nach Dulong ohne Anwendung der gröfsten Sorgfalt

1 Comm. Soc. Bonon. T. II. P. I. p. 319. T. II. P. III. p. 237.
2 Ann. Chim. et Phys. T. XXXIII. p. 425.
3 Modific. de l'Atmosph. T. I. p. 232.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nicht leicht erreichbar seyn soll. In dieser Beziehung sey es erlaubt zu bemerken, dafs verschiedentlich der Schwierigkeiten gedacht wird, die letzten Antheile von Luft und Feuchtigkeit aus dem Quecksilber der Thermometer zu entfernen, und man hält diese deswegen für sehr grofs, weil es beim Füllen der Barometer so gefunden wurde. Man glaubte aber nicht selten, die Barometer seyen nur dann völlig luftleer, wenn bei ihnen die Capillardepression, die mit der Convexität der Oberfläche zusammenhängt, wegfiele und die Oberfläche sich ganz eben zeigte, da doch dieses auf der eigenthümlichen Beschaffenheit des Glases beruht, wie jetzt bekannt ist[1]. Es findet indefs ein wesentlicher Unterschied des Verfahrens beim *Auskochen* der Barometer und der Thermometer statt; erstere werden von unten nach oben allmälig ausgekocht, wobei das schwerere kalte, noch unreine Quecksilber fortwährend wieder niedersinkt, letztere aber werden in ihrer ganzen Ausdehnung der Hitze ausgesetzt (wobei man sie an zwei Eisendrähten zu halten pflegt), die ganze Masse des Quecksilbers siedet gleichzeitig in den beiden Behältern, dem unteren bleibenden und dem oberen provisorischen, und die erzeugten Quecksilberdämpfe verjagen bald die letzten Antheile von Luft und Feuchtigkeit, weswegen auch bei alten, aber guten Thermometern das Bläschen, welches sich in der Kugel bildet, wenn man beim Umkehren derselben den Quecksilberfaden bis ans Ende der Röhre herabsinken läfst, nach dem Rückgange des Quecksilbers ohne irgend eine Spur wieder verschwindet. Neuerdings hat Legrand[2] absichtlich zur Lösung des vorliegenden Problems eine grofse Reihe von Versuchen mit 60 von Bunten verfertigten Thermometern angestellt und folgende Resultate erhalten. Die Verrückung des Eispunctes erfolgt sowohl, wenn die Thermometer einer unveränderlichen, als einer wechselnden Temperatur ausgesetzt werden, sie kommt aber zum Stillstande in einem Zeitraume, welcher vier Monate nicht übersteigt, und hängt nicht von der Form des Behälters, sondern von der Beschaffenheit des Glases, vielleicht seiner Zusammensetzung und Abkühlung ab.

---

1 S. Art. *Meteorologie*. Bd. VI. S. 1847.

2 L'Institut. 5me Année. N. 195.. Ann. Chim. et Phys. T. LXIII. p. 368.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Bei Behältern von gewöhnlichem Glase schwankt die Verrückung zwischen 0°,3 und 0°,5 C. und kann im Mittel = 0°,35 C. gesetzt werden, bei solchen von Krystallglas oder Email (*verre tendre, dit émail*) war sie bei fünf untersuchten = 0, bei zweien unter zwanzig, deren Nullpunct Bunten bestimmt hatte, = 0°,25 und = 0°,5 C., vermuthlich wegen fehlerhafter Bestimmung. Die Verrückung erfolgt nicht gleichmäfsig, sondern anfangs schneller, doch nicht so, dafs man ihren Gang verfolgen kann. Erwärmt man das Thermometer bis zum Siedepuncte des Quecksilbers und läfst man es in der Luft erkalten, so stellt sich das ursprüngliche Zero wieder her, und die Verrückung desselben erfolgt dann ebenso, wie sie anfangs entstanden war; erhitzt man dasselbe aber bis 300° C. und läfst es langsam, z. B. in Oel, erkalten, so erleidet der Nullpunct eine Verrückung, die bis auf 3° C. steigen kann, erhitzt man es dann aber bis zum Siedepuncte des Quecksilbers und läfst man es in der Luft erkalten, so bleibt eine Verrückung des Eispunctes, die bis 1°,1 C. und wohl noch mehr betragen kann, als sie anfangs nach der Construction des Thermometers betrug, insbesondere wird die Verrückung des Eispunctes sehr bedeutend, wenn man die Erhitzung bis zu hohen Wärmegraden und die langsame Erkältung öfter wiederholt. Alles dieses ist im Ganzen mit sonstigen Erfahrungen übereinstimmend und daher nicht auffallend, um so überraschender aber erscheint die Behauptung, dafs sich das beschriebene Verhalten auf gleiche Weise bei verschlossenen und offenen Thermometern zeige, also nicht Folge des äufsern Luftdruckes seyn könne, sondern auf einer eigenthümlichen Zusammenziehung des Glases beruhn müsse.

47) Gegen alle hier mitgetheilte Behauptungen ist bisher kein Widerspruch erfolgt, aufser gegen die eine, wonach die Verrückung des Eispunctes im Verlaufe von 4 Monaten zum Stillstande kommen soll, indem Despretz[1] durch eine Reihe gleichfalls absichtlich angestellter Versuche gefunden haben will, dafs sie über zwei Jahre zunehmend fortdaure. Diesemnach räth er, wenn es auf eine vorzügliche Genauigkeit thermometrischer Messungen ankommt, sich zuvor von der Richtigkeit des Gefrierpunctes zu überzeugen. Allein auch

1 L'Institut. 1837. Mars. N. 199. p. 73.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dieses ist schwieriger, als es auf den ersten Blick scheint, denn Egen's[1] Messungen zeigen, dafs der genau bestimmte Frostpunct nach einer Erhitzung des Thermometers in den Dämpfen des siedenden Wassers herabgeht, und zwar um eine Gröfse, die bei vier vorzüglichen Thermometern 0°,057; 0°,074; 0°,098; 0°,105 C. betrug. Man vermifst die Beantwortung der Frage, ob eine Erwärmung des Thermometers, welche nicht gerade die Siedehitze erreicht, also etwa nur bis 50° C. steigt, diese Herabdrückung ihrer Gröfse proportional herbeiführt, allein es ist dieses auf jeden Fall wahrscheinlich, und dann folgt hieraus, dafs auf einander folgende Messungen abwechselnd niederer und höherer Wärmegrade überall nicht absolut genau seyn können. Hiermit stimmen auch die Resultate der beachtungswerthen Versuche überein, welche Gintl[2] angestellt hat. Er fand die durch den Luftdruck bewirkte Erhöhung des Eispunctes keineswegs so grofs, als sie von Manchen angegeben wird, denn sie betrug nach der beim Abbrechen der Spitzen sich zeigenden Depression gemessen bei Kugeln nur 1 Millim., bei Cylindern 1,4 und bei birnförmigen Behältern nur 0,8 Millimeter, wobei jedoch das Verhältnifs dieser Gröfsen zu denen der Scalentheile nicht angegeben ist. Die durch Molecularattraction bewirkte Erhebung des Eispunctes tritt auch nach seiner Ansicht bald nach dem Zuschmelzen der Thermometer ein und dauert auf jeden Fall nicht sehr lange, denn er fand bei seinen Thermometern nach fünf Jahren ungefähr die nämliche Verrückung desselben, welche Bürg bei den seinigen nach zehn Jahren gefunden hatte. Die Frage, ob der Eispunct der Thermometer, soweit seine Erhebung durch Molecularattraction des gläsernen Gefäfses bewirkt wird, auch später durch Erhitzung der Thermometer wieder herabgehe, bejaht auch er bestimmt, jedoch nur in Beziehung auf eine Erhitzung bis zum Siedepuncte des Wassers.

48) Hiermit ist also alles dasjenige genügend mitgetheilt, was die Physiker über die Verrückung des Eispunctes bei Quecksilberthermometern aufgefunden zu haben angeben, und es wäre nun angemessen, eine genaue Bestimmung dieses Fehlers und die dafür erforderliche Correction hierauf zu gründen;

---

1 Poggendorff Ann. XIII. 38.
2 Baumgartner's und v. Holger's Zeitschr. Th. V. S. 8 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

allein man übersieht bald, dafs dieses nicht etwa nur schwierig, sondern in der That unmöglich ist, weil die Resultate der verschiedenen Untersuchungen bedeutend von einander abweichen und sich in einigen wesentlichen Puncten sogar widersprechen. Alles genau erwogen scheinen mir folgende Sätze als hinlänglich begründet gelten zu können. Erstlich ist der gerügte Fehler keineswegs so allgemein, als man den Angaben nach schliefsen sollte, denn sonst könnte unmöglich in den Resultaten thermometrischer Messungen, namentlich der Temperaturen der Luft an den verschiedenen Orten, die unter mittleren Polhöhen nur gegen 10° C. über dem Eispuncte liegen und durch zahlreiche Messungen der Grade über und unter diesem fehlerhaft genannten Puncte gefunden wurden, so viele Uebereinstimmung herrschen, als doch wirklich gefunden wird. Bei guten, nicht marktmäfsig verkäuflichen Thermometern, die mit mäfsig grofsen Kugeln und nicht mit künstlich verzierten Behältern versehn sind, darf man daher eine fehlerfreie oder nur unmerklich abweichende Lage des Eispunctes voraussetzen. Dafs zweitens der äufsere Luftdruck auf die Oberfläche der Quecksilberbehälter, nachdem der innere Raum der Thermometerröhre luftleer verschlossen ist, eine mefsbare, obgleich geringe Zusammendrückung verursachen werde, die um so merklicher seyn mufs, je gröfser und dünner von Glase die Kugel ist, läfst sich wohl nicht bezweifeln, nur in seltenen Fällen wird aber hieraus eine Verrückung des Eispunctes erwachsen, weil gute Thermometer mit kleinen, nicht zu dünnen Kugeln versehn zu seyn und ihre festen Puncte erst eine hinlängliche Zeit nach dem Verschliefsen bestimmt zu werden pflegen. Weniger geneigt bin ich drittens, eine lange Zeit hindurch allmälig wachsende Zusammenziehung des Glases in Folge einer Art von Zusammensinterung oder Krystallisation anzunehmen; doch ist es nicht unmöglich, dafs sie, mindestens bei einigen Glassorten, und zugleich in verschiedenem Grade statt finde. Nicht zu bezweifeln ist dagegen, dafs eine negative (vermindernde) Verrückung des Nullpunctes eintreten und eine Zeit lang dauern wird, wenn man das Thermometer bis zum Siedepuncte des Quecksilbers oder bis gegen etwa 300° C. erhitzt, die dann im Verlaufe der Zeit wieder in die entgegengesetzte übergeht. In dieser Beziehung kann Leblanc nicht so sehr getäuscht worden seyn, als man voraus-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

setzen müſste, wenn man diesen Satz in Abrede stellen wollte, ja ich habe selbst einigemal, obgleich die Versuche nur mit geringer Sorgfalt angestellt wurden, gefunden, daſs die Verrückung des Nullpunctes geringer geworden oder ganz verschwunden war, nachdem ich das Thermometer einige Zeit in siedendes Wasser oder in die Dämpfe desselben getaucht hatte, und Egen's[1] directe Versuche entfernen jeden hiergegen zu erhebenden Zweifel. Die zu Beobachtungen der Lufttemperatur dienenden Thermometer bleiben daher in ihrem Gange constant, weil sie in der Regel keinen hohen Temperaturen ausgesetzt sind; auch ist es auf jeden Fall rathsam, die Bestimmung des Nullpunctes erst einige Wochen oder noch besser Monate nach der Verfertigung der Thermometer und vor der Auffindung des Siedepunctes vorzunehmen. Der gröſste Theil der wirklich vorhandenen oder vermeintlich aufgefundenen Verrückungen des Nullpunctes ist endlich viertens sicher eine Folge ursprünglich vorhandener oder bei der Prüfung statt gefundener unrichtiger Bestimmungen. Es ist keineswegs leicht, die Fehler sicher zu vermeiden, welche hierbei sich einschleichen können, und es kommt zugleich weit weniger auf mikroskopisch feine Messungen an, nach den von Rudberg und Egen angewandten Methoden, als auf die Vermeidung möglicher Fehler bei der Operation selbst; denn man liest die Thermometer in der Regel beim Gebrauche nicht mikrometrisch ab und die Anwendung der mikroskopischen Meſsapparate hindert leicht die erforderliche sorgfältige Manipulation. Bei letzterer ist aber hauptsächlich darauf zu sehn, daſs der Schnee reinlich aufgesammelt und das Gefäſs zur Vornahme der Bestimmung in ein nur etwa 5° C. erwärmtes Zimmer gebracht werde, daſs sich das Thermometer eine hinlänglich lange Zeit darin befinde und man den Nullpunct nicht eher bezeichne, als bis der Schnee in seiner ganzen Masse, ohne vorhandenes freies Wasser, sich durchscheinend, der Thermometerstand aber sich eine hinlängliche Zeit unveränderlich zeigt. Das von Bürg[2] angewandte Verfahren, reines Wasser in einem Gefäſse (allenfalls mit eingesenktem Thermometer) gefrieren zu lassen, bis die Oberfläche mit einer einige

1 Poggendorff Ann. XI. 357.
2 Wiener Zeitschrift. Th. III. S. 18.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Linien dicken Eisdecke überzogen ist, dann dasselbe in ein nur wenige Grade über dem Gefrierpuncte warmes Zimmer zu bringen, den längere Zeit stationären Stand des Thermometers, auch nach zerstofsener oberer Eisdecke, abzuwarten und auf diese Weise den Nullpunct zu bestimmen, dürfte allerdings Empfehlung verdienen.

49) Sind demnach die Normalpuncte der Thermometer allerdings wohl minder fehlerhaft, als nach der Ansicht Vieler angenommen wird, so kann es doch nicht überflüssig erscheinen, bei solchen, die zur genauen Messung mittlerer Temperaturen, als namentlich der Luft-, Boden- und Erdwärme, der thierischen Wärme u. s. w., verwandt werden sollen, die Richtigkeit des Eispunctes auf die angegebene Weise zu prüfen, insbesondere wenn sie vorher einer hohen Temperatur, der Siedehitze des Wassers oder gar einer höheren, ausgesetzt wurden oder wenn sie noch neu sind. Dürfte man hierbei die ursprüngliche Richtigkeit des zweiten Normalpunctes voraussetzen, so würde es genügen, blofs den Gefrierpunct zu rectificiren, und die Gröfse des gefundenen Fehlers würde dann zugleich diejenige Correction angeben, die für alle Grade der Scale gleichmäfsig anzubringen wäre; in der Regel wird man aber auch den zweiten Normalpunct prüfen und die erforderliche Correction anbringen, die sich dann von selbst ergiebt[1]. Hierbei ist es aber gewifs räthlich, zuerst den Eis-

1 Man nimmt meistens an, dafs der Fehler des Gefrierpunctes allen Graden als constante Gröfse hinzuaddirt werden müsse. Dieses scheint mir jedoch unrichtig, da der Theil des Fehlers, welcher aus der Zusammenziehung des Glases folgt, mit zunehmender Wärme abnimmt und im siedenden Wasser gänzlich zu verschwinden scheint. Darf dieses als richtig gelten, wie ich meinerseits nicht bezweifle, so ist es unmöglich, den Fehler des Gefrierpunctes völlig genau zu corrigiren, weil man nicht weifs, wie weit derselbe bei jeder Beobachtung durch vorausgegangene Erwärmung des Thermometers bereits verschwunden ist. Egen in Poggendorff's Ann. IX. 288. bemerkt hierüber, dafs die Körper zwar im Allgemeinen sich durch Temperaturverminderung um ebenso viel wieder zusammenziehn, als sie sich durch Wärme ausdehnten, dafs aber solche Körper hiervon eine Ausnahme machen, die durch schnelles Erkalten spröde werden, wie Glas, Stahl u. s. w. Beim Glase ist noch besonders zu berücksichtigen, dafs seine Sprödigkeit in einer dem Gefrierpuncte nahen Temperatur ausnehmend wächst, und die an den Thermometerkugeln wahrgenommene

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

punct, dann den Siedepunct, und gleich darauf nochmals den Eispunct zu prüfen, um zu ermitteln, ob die Erhitzung bis zum Sieden des Wassers auf die Lage des Eispunctes einen Einflufs ausübe, in welchem Falle man erst einige Zeit später den Eispunct definitiv fixiren müfste.

50) *Correction des Siedepunctes.* Die meisten Verfertiger von Thermometern bestimmen den Siedepunct ihrer Instrumente durch Eintauchen derselben in siedendes Wasser. Geht ihre Kenntnifs der Sache nicht über den Bereich der gemeinen hinaus, so wählen sie hierzu gewöhnliche, man darf annehmen irdene, Gefäfse, tauchen die Kugel und einen Theil der Röhre in das Wasser, ohne dafs der Boden berührt wird, und indem die stark aufsteigenden Dämpfe sich an die Röhre anlegen, erschweren sie ausnehmend das scharfe Ablesen und Bezeichnen des Punctes, welchen der Quecksilberfaden erreicht und der sich aufserdem bei diesem Verfahren in einer steten hüpfenden Bewegung befindet. Werden die hieraus erwachsenden Schwierigkeiten durch die aus vielfacher Uebung erlangte Fertigkeit überwunden und achten die Künstler, wie man bei den nur etwas besseren voraussetzen darf, auf den Barometerstand, den man zu 28 Par. Zoll anzunehmen pflegt, so wird auf diese Weise der Siedepunct mit sehr annähernder Genauigkeit gefunden. Setzt man inzwischen den begangenen Fehler auch auf einen ganzen Grad der Centesimalscale, den Eispunct als genau angenommen, so beträgt die hierfür erforderliche Correction für n Grade über oder unter dem Eispuncte $\frac{n}{100}$ Grade, also für eine mittlere Temperatur der Luft als Correction des Endresultates für 10° C. unter mittleren Breiten $\frac{10}{100}$ oder $0^0,1$ C., was noch nicht als bedeutende Unrichtigkeit auffallen würde und die Uebereinstimmung der gewöhnlichen Beobachtungen erklärlich macht. Gegenwärtig kennen aber die besseren Künstler, und auf jeden Fall die Physiker, den Einflufs der Gefäfse auf die Wärme des in ihnen siedenden Wassers, die ursprüngliche Auffindung und spätere Controle des Siedepunctes geschieht daher nach der oben beschriebenen Methode durch Eintauchen in die Dämpfe und

---

Zusammenziehung mag daher wohl nahe über dem Gefrierpuncte erst beginnen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dadurch werden die hieraus entspringenden Fehler vermieden. Rücksichtlich des Barometerstandes ist oben §. 35. bereits bemerkt worden, dafs die Annahme von 28 Par. Zoll oder 336 Lin. nur eine in Deutschland gewöhnliche, keineswegs aber allgemein und bestimmt festgesetzte ist, und dafs es besser seyn würde, sich mit Frankreich über 0,76 Meter = 336,905 oder in runder Zahl = 336,9 Par. Lin. zu vereinigen, um dadurch der in England festgesetzten Gröfse von 30 engl. Zoll = 0,762 Meter = 337,791 Par. Lin. möglichst nahe zu kommen. Will man indefs nicht warten, bis dieser Barometerstand, versteht sich auf 0° Temperatur der Quecksilbersäule reducirt, wirklich statt findet, so mufs der bei einem gegebenen Barometerstande gemessene Siedepunct auf den normalen reducirt werden. Die hierfür erforderliche Correction liefse sich aus der mit den Temperaturen wachsenden Elasticität des Wasserdampfes entnehmen, am besten aber dürfte es seyn, diejenigen Resultate zu benutzen, welche Egen[1] durch directe Messungen an 10 verschiedenen Thermometern erhalten hat. Von diesen gaben vier für jede Linie des auf 0° reducirten Barometerstandes 0°,091, vier andere im Mittel 0°,0872 und zwei 0°,086; indem aber auch Dalton 0°,086 gefunden hat, so kann füglich im genäherten Mittel 0°,0881 genommen werden. Ist die Scale an dem geprüften Thermometer bereits befindlich, so beträgt dieser Fehler für jede Linie über oder unter dem normalen Stande des auf 0° C. reducirten Barometers ∓ 0°,0881 C. der ganzen Scale, oder unter der wohl allgemein gültigen Voraussetzung, dafs vom Eispuncte aus gleiche Grade aufwärts und abwärts aufgetragen worden sind, für jeden einzelnen Grad ∓ 0°,000881. Heifst also der bei der Bestimmung oder Prüfung des Siedepunctes beobachtete Barometerstand in Par. Linien B, nennt man (B — 336,9) = B′ und die über

---

1 Poggendorff Ann. XIII. 40. XI. 528. Man findet hier S. 284. die bisherigen verschiedenen Angaben zusammengestellt, wie grofs die erforderliche Correction für 1 Lin. Barometer-Unterschied seyn müsse. Nach Lemonnier um 1740 ist sie 0°,104 C.; nach Martène 0°,092; nach Faugère um 1770 einmal 0°,112, ein anderes Mal 0°,062; nach de Luc um dieselbe Zeit 0°,094. Mehr Vertrauen verdient die Bestimmung von Dalton zu 0°,085 und die von Arzberger, welche dieser sehr nahe kommt. Vergleiche hierüber Soldner in G. XVII. 58.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

oder unter 0° abgelesenen Thermometergrade t, die corrigirten t′, so ist

$$t' = t\ (1 + B'\ 0{,}000881).$$

Wäre z. B. der Siedepunct bei B = 334 Lin. bestimmt worden, so hätte das Thermometer eine zu kurze Scale, der Quecksilberfaden würde auf höhere, als die richtigen Grade zeigen, und die Correction gäbe B′ = (334 — 336,9) = — 2,9 und man erhielte für t = 10° die corrigirte Gröfse

$$t' = 10\,(1 - 2{,}9 \times 0{,}000881) = 9^\circ{,}97448;$$

wäre dagegen B = 339 Par. Lin. und t = 10°, so erhielte man B′ = (339 — 336,9) = 2,1 und die corrigirten Grade betrügen

$$t' = 10\,(1 + 2{,}1 \times 0{,}000881) = 10^0{,}001848.$$

Die Correction ist weitläuftig und beschwerlich, betrüge bei 1 Lin. Unterschied für 50° C. zwar nur 0°,044, für 3 Lin. aber schon über 0°,1 und kann daher nicht wohl vernachlässigt werden, man müfste sich daher in voraus eine Tabelle berechnen, um danach die beobachteten Grade zu corrigiren. Bei einer auf die Röhre selbst geätzten Scale bliebe dieses das einzige Auskunftsmittel, eine jede andere würde man aber lieber verwerfen und mit einer richtigen vertauschen. Das hierbei dann vorkommende Problem, wie man bei einem niederen oder höheren Barometerstande eine richtige Scale erhalte oder den gefundenen Siedepunct corrigire, beantwortet sich aus dem Vorhergehenden von selbst; denn wenn die Abweichung für eine Linie Unterschied der auf 0° Temperatur reducirten, bei der Bestimmung des Siedepunctes statt findenden Barometerhöhe und der normalen 0°,0881 beträgt, so wird sie für n Linien einfach = ± n . 0°,0881 C. betragen, und da 1 Grad der Scale den hundertsten Theil ihrer Länge vom Eispuncte bis zum Siedepuncte ausmacht, so sey diese uncorrigirte Länge = L, die corrigirte = L′, und man wird nach den oben gegebenen Bezeichnungen erhalten

$$L' = L\ (1 - B'.0{,}000881).$$

Die hiernach aufgetragene und richtig getheilte Scale würde dann eine hinsichtlich der Lage des Siedepunctes genaue seyn.

Eine Erfahrung, welche Egen in Beziehung auf dieses Problem mittheilt, verdient sehr beachtet zu werden. Nachdem er die angegebene mittlere Gröfse aufgefunden hatte, prüfte

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

er hiermit die genannten Thermometer bei verschiedenen Barometerständen und fand, dafs bei keiner einzigen Beobachtungsreihe der Siedepunct aller Thermometer nach einer und derselben Seite abwich. Dieses beweist vollständig, dafs die Abweichungen vom Mittel nicht in der Temperatur des Wasserdampfes ihren Grund haben, weil sie sonst bei allen Thermometern gemeinsam und also von einerlei Zeichen seyn müfsten, sondern dafs sie auf Veränderung des Quecksilbers oder des Glases beruhn. Veränderungen des Quecksilbers scheinen mir auf jeden Fall höchst unwahrscheinlich, dagegen ziehe ich gewisse Modificationen des Glases nicht in Zweifel. Egen bemerkt ferner, dafs man zu ebenso sehr abweichenden Resultaten gelangt seyn würde, wenn man die Lage des Eispunctes nach der Erwärmung des Thermometers zum Grunde gelegt hätte. Zum Glück sind die hieraus erwachsenden Unrichtigkeiten nur gering und für niedere und mittlere Temperaturen, deren Genauigkeit in vielen Fällen so wichtig ist, verschwindend klein; auf jeden Fall aber begründen sie die oben bereits angegebene Regel, dafs man bei Thermometern, von denen man die gröfste Zuverlässigkeit in mittleren Graden verlangt, zuerst den Eispunct scharf bestimmen müsse, dann den Siedepunct, um die zwischen beiden liegende Länge der Scale für den normalen Barometerstand zu corrigiren, und demnächst erst, nach Verflufs von einigen Wochen oder Monaten, nochmals definitiv den Eispunct. Aller dieser angewandten Vorsicht ungeachtet gelangen wir aber dennoch zu dem Resultate, dafs wegen der eigenthümlichen Beschaffenheit des Glases ebenso wenig absolut genaue Thermometer als Barometer zu erhalten sind[1].

51) *Correction der Scale.* Wenn die beiden Normalpuncte auf der Röhre genau bezeichnet sind, so trägt man den Raum zwischen beiden auf die Scale auf, theilt diesen in so viele Grade, als die beabsichtigte Theilung verlangt, und setzt diese Theilung auch unter dem Eispuncte so weit fort, als erfordert wird oder als die Länge der Röhre bis an die Kugel gestattet. Geschieht das Auftragen der Scalentheile auf die Thermometerröhre selbst, so unterliegt diese zwischen den beiden Normalpuncten bei allen Temperaturen denjenigen Ver-

1 Vergl. *Meteorologie.* Bd. VI. S. 1847.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

änderungen ihrer Länge, welcher sie bei der Bestimmung der festen Puncte ausgesetzt war, und ihre Ausdehnung hat daher auf die Genauigkeit der Grade keinen Einflufs, bei Temperaturen unter dem Gefrierpuncte aber wird die Röhre verkürzt, und unter Voraussetzung einer gleichmäfsigen Zusammenziehung des Quecksilbers oder der gewählten thermoskopischen Flüssigkeit wird also aus dieser Ursache die Kälte zu grofs gefunden werden. Allein wenn man die lineare Ausdehnung des Glases auch hoch zu 0,000009 der Einheit für 1° C. annimmt[1], so würde die Aenderung für 50 Grade, eine selten vorkommende Kälte, doch nur 0°,00045 betragen und kann also füglich als unmefsbar vernachlässigt werden.

Uebergehn wir die Scalen von Elfenbein, Holz oder Papier in eine Glasröhre eingeschlossen, weil diese Substanzen durch trockne Wärme oder Kälte ihr Volumen nur unmerklich ändern, und berücksichtigen wir die sehr gewöhnlichen Scalen von versilbertem Kupfer oder Messing, so werden auf diese wohl allezeit bei einer mittleren Temperatur von 15° bis etwa 18° C. die Grade aufgetragen, dann wird das Thermometer mit zwei Drähten oder übergeschraubten kleinen Bügeln in der Gegend von etwa 60° und — 12° auf derselben festgeklemmt. Die Kugel hängt entweder frei unter der Scale, oder ist in eine Vertiefung derselben eingesenkt, zuweilen, und wohl meistens, ist dann zu noch gröfserer Festigkeit das obere verjüngte und rechtwinklig umgebogene Ende der Röhre in ein Loch in der Scale genau eingelassen. Dafs auf jeden Fall bei dieser Einrichtung die Ausdehnung des Metalls Berücksichtigung verdiene, hat Fischer[2] zur Erörterung gebracht, welcher diese auch auf das Glas ausgedehnt wissen will, und ein unleugbar vorhandener Einflufs dieser Ausdehnung des Metalles geht auch namentlich aus dem Umstande hervor, dafs man leicht bei langen Thermometern, namentlich solchen, deren Scalen beträchtlich über den Siedepunct des Wassers hinausgehn, die obere, genau in die Vertiefung eingesteckte Spitze abgebrochen findet. Von diesem Umstande darf man jedoch nicht auf eine bedeutende Gröfsenänderung schliefsen; denn eben wenn die Spitze bei mittlerer Temperatur scharf passend ein-

1 Vergl. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 585.
2 Berliner Denkschriften 1816 und 1817. S. 88.

gesteckt ist, so mufs sie leicht abbrechen, da beide Körper, das Glas und das Metall, bei einer Veränderung ihres Volumens durch Wärme nicht im Mindesten nachgeben. Um einen festen Anhaltpunct zu haben, welcher für irgend eine Bestimmung unumgänglich nothwendig ist, wollen wir annehmen, die Thermometerröhre werde durch ihre Befestigungen so auf der Scale gehalten, dafs die Lage des Eispunctes unverändert bleibe. Wird dann die Ausdehnung des Kupfers und des Messings[1] in sehr genähertem Werthe zu 0,00176 der Einheit für den Temperaturunterschied zwischen den beiden festen Puncten des Thermometers angenommen, die des Glases aber, die hierbei compensirend wirkt, zu 0,0009, so beträgt der gröfste, beim Siedepuncte des Wassers durch die Ausdehnung der Scale erzeugte Fehler nicht mehr als $-0^0,00086$, welcher aufser dem Bereiche der Messung liegt.

52) Ein gröfserer Fehler scheint aus einem andern ähnlichen Umstande hervorzugehn. Nach der angegebenen Vorschrift soll das gesammte Quecksilber im Thermometer, also nicht blofs der Behälter, sondern auch die Röhre, so weit der Quecksilberfaden reicht, sowohl den Dämpfen des siedenden Wassers, als auch der Berührung des schmelzenden Schnees bei der Bestimmung der beiden festen Puncte ausgesetzt werden. Ist dieses nicht geschehn, so wird das nicht ausgesetzte Ende des Quecksilberfadens eine andere Temperatur als die Kugel und der eingetauchte Theil haben, die Normalpuncte können nicht genau seyn und die gezeigten Grade des Thermometers müssen daher corrigirt werden. Herschel[2] behandelt diesen, durch Cavendish der Beachtung empfohlenen Fehler ausführlich und giebt Formeln zur Correction desselben. Ist l die Länge des Quecksilberfadens beim Eintauchen der Kugel in Eis und x die Länge desselben, im Fall dafs er ganz eingetaucht wäre, t endlich die Temperatur des freien Quecksilberfadens in Graden der gegebenen Scale über dem Gefrierpuncte des Wassers und $\frac{1}{\delta}$ die Ausdehnung des Quecksilbers mit Rücksicht auf die gleichzeitige des Glases, so wird die normale Länge $= x$ des Quecksilberfadens durch die Tempe-

Fig. 87.

1 Nach Sabine in Account of Experiments cet. p. 207.
2 Art. *Heat* in Encyclopaedia metropolitana. p. 230.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

ratur von t Graden verwandelt werden in $x + \frac{t}{\delta}x$. Diese ist aber $= l$ angenommen, und es ist also

$$x + \frac{t}{\delta}x = x\left(1 + \frac{t}{\delta}\right) = l,$$

woraus

$$x = \frac{l}{1 + \frac{t}{\delta}} = l - \frac{lt}{\delta + t}$$

gefunden wird. Herschel setzt dann den Ueberschuſs der Ausdehnung des Quecksilbers über die des Glases oder $\delta =$ 6480 für einen Centesimalgrad und $=$ 11664 für einen Grad der Fahrenheit'schen Scale[1], wonach

$$x = l - \frac{lt}{6480 + t} \text{ oder } l - \frac{lt}{11664 + t}$$

wird. Auf gleiche Weise sey l die Länge des den Dämpfen des siedenden Wassers nicht ausgesetzten Quecksilberfadens, x die Länge desselben beim Eispuncte und x′ die Länge desselben, wenn er den Dämpfen gänzlich ausgesetzt wäre, t die Zahl der Temperaturgrade, um welche der Quecksilberfaden weniger warm ist, als die Siedehitze des Wassers, und n die Zahl der Grade, in welche die Scale zwischen beiden festen Puncten getheilt ist, so wird, wie oben, Fig. 88.

$$x' = x + \frac{nx}{\delta} = x\left(1 + \frac{n}{\delta}\right),$$

also auch

$$l = x + \frac{(n-t)x}{\delta} = x\left(1 + \frac{n-t}{\delta}\right).$$

Beide Gleichungen in einander dividirt geben

$$\frac{x'}{l} = \frac{1 + \frac{n}{\delta}}{1 + \frac{n-t}{\delta}} = \frac{\delta + n}{\delta + n - t},$$

also

$$x' = \frac{l\delta + ln}{\delta + n - t} = l + \frac{lt}{\delta + n - t}.$$

1 Die Gröſse $\frac{1}{6480}$ ist bekanntlich der durch Dulong und Petit gefundene Ueberschuſs der Ausdehnung des Quecksilbers über die des Glases. S. Ann. Chim. et Phys. T. VII. p. 138.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Werden für δ und für $n = 100$ oder 180 die Zahlenwerthe gesetzt, so ist

$$x' = 1 + \frac{1t}{6580 - t} \text{ für C. und } = 1 + \frac{1t}{11844 - t} \text{ für F. Grade.}$$

So richtig diefs in theoretischer Hinsicht ist, so liegt doch die wirkliche Correction aufser dem Bereiche einer erforderlichen Genauigkeit, wo nicht der Möglichkeit überhaupt, sofern die Temperatur t über dem Eispuncte oder unter dem Siedepuncte wohl überall nicht mefsbar ist. Man würde nämlich sehr mit Unrecht hierfür die Wärme der Umgebung nehmen; denn wäre z. B. bei der Bestimmung des Eispunctes das Zimmer auch 15^0 bis 18^0 warm, so würde diese Temperatur selbst einen Fufs über dem Gefäfse mit Schnee einige Grade geringer seyn und bis zur Oberfläche des Schnees bedeutend abnehmen, die Abkühlung der Röhre und des in ihr befindlichen Quecksilberfadens nicht gerechnet. Es mufs daher bei der Vorschrift, die ganze Röhre mit dem Schnee und nachher mit den Wasserdämpfen in Berührung zu bringen, festgehalten werden. Die so graduirten Thermometer werden dann richtig zeigen, wenn sie bei den Messungen sich ihrer ganzen Länge nach in demjenigen Medium befinden, dessen Temperatur gemessen werden soll. Ist Letzteres nicht der Fall, z. B. bei Messungen erhitzter Flüssigkeiten, in welche nur die Kugel eingesenkt wird, der thierischen Wärme u. s. w., so würde hieraus eine Unrichtigkeit erwachsen, die gleichfalls schwer, meistens gar nicht bestimmbar, zugleich aber so klein ist, dafs sie füglich vernachlässigt werden kann. Inwiefern dieses auf die in die Erde gesenkten Thermometer anwendbar ist, wurde bereits oben[1] untersucht.

53) Die *Correction des Calibers* wird gegenwärtig für unumgänglich nothwendig erachtet und alle Thermometer, mit kaum statt findender Ausnahme, gelten in dieser Beziehung für fehlerhaft.

Hällström[2] führt ein ganzes Register von Thermometern an, unter denen eins aus Vauquelin's chemischer Fabrik Correctionen zwischen $4^0,69$ und $-1^0,55$ C. erforderte, bei den übrigen aber hielten sich dieselben ungefähr zwischen $-0^0,2$ bis $+0^0,06$ und 0^0 bis $1^0,6$ C. Egen[3] be-

1 S. Art. *Temperatur der Erdkruste.*
2 Poggendorff Ann. IX. 535.
3 Ebend. XI. 276.

stätigt, dafs nach seinen Erfahrungen jene Thermometer nicht zu den schlechtesten gehören konnten, auch meint er, man dürfe sich nicht dadurch täuschen lassen, wenn Thermometer aus derselben Werkstatt unter einander übereinstimmten. In diesem Falle müfsten sie aber mit einem constanten, in ihrer Construction liegenden Fehler behaftet seyn, wie bei denen, die aus der Werkstätte geübter und bewährter Künstler als vorzüglich genau kommen, nicht wohl anzunehmen ist, und es bleibt daher stets ein bekanntes gutes Mittel, die Richtigkeit der Thermometer im Allgemeinen zu prüfen, wenn man sie unter einander vergleicht, was jedoch gleichfalls mit der gehörigen Vorsicht geschehn mufs. Die Hauptursache der bedeutenden Abweichungen sucht man in einem unrichtigen Caliber der Röhren. Bessel[1] gab eine Methode an, bei fertigen Thermometern die vorhandenen Fehler zu corrigiren, die seitdem nach ihm benannt ist, und man findet daher häufig angemerkt, dafs die zu genauen Versuchen verwandten Thermometer hiernach corrigirt seyen. Gleichzeitig brachte Hällström[2] ein diesem im Wesentlichen gleiches Verfahren in Vorschlag, Egen[3] empfiehlt eine einfachere Methode, dem Bessel'schen Verfahren kommt aber dasjenige nahe, welches Rudberg[4] bei der Correction seiner zur Normal-Mafsbestimmung dienenden Thermometer in Anwendung brachte, und auch dasjenige, welches Kupffer[5] für diejenigen Thermometer empfiehlt, welche zu correspondirenden meteorologischen Beobachtungen an den verschiedenen Stationen des russischen Reiches dienen sollen. Ich werde mich bemühen, eine Uebersicht des wesentlichsten Inhalts dieser schätzbaren Untersuchungen mitzutheilen.

53) Bei fabrikmäfsiger Verfertigung der Thermometer suchen die Künstler blofs nach dem Augenmafse diejenigen Theile der sehr langen, von den Glashütten ihnen zugekom-

---

1 Poggendorff Ann. VI. 287.

2 Ebendaselbst IX. 535. Aus Anmärkningar angäende termometerns färfardigande och Bruk. Acad. Diss. Abo 1823.

3 Poggendorff Ann. XI. 529.

4 Ebend. XL. 566.

5 Instructions pour faire des observations météorologiques et magnétiques. St. Petersb. 1836. 8.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

menen Röhren aus, die ihnen ein gleiches Caliber zu haben scheinen, schneiden die erforderliche Länge ab, bringen das Ende, wo ihnen das Caliber nicht mehr genau scheint, nach unten, und haben hierin durch Uebung eine solche Fertigkeit erlangt, dafs sie nicht allein die Gröfse des Behälters der Weite der Röhre blofs nach Schätzung anzupassen vermögen, sondern dafs auch manche dieser Thermometer ziemlich richtig sind, wobei es sich jedoch von selbst versteht, dafs sie gar nicht für den Physiker, sondern blofs für gewöhnliche Wetterbeobachter gehören, die an solche Werkzeuge nicht mehr als etwa einen Thaler wenden wollen. Für gute Thermometer liegt aber das Erfordernifs des richtigen Calibers so nahe, dafs kein Verfertiger derselben damit unbekannt seyn kann. Die von Gay-Lussac[1] neuerdings empfohlene Methode, einen kurzen Quecksilberfaden nach und nach in der ganzen Länge der Röhre hinzuschieben, um aus dem Gleichbleiben oder der Veränderung seiner Länge die gleichmäfsige oder wechselnde Weite der Röhre zu entnehmen, wurde ehemals und wird bis auf die neuesten Zeiten herab stets in Anwendung gebracht. Schon Hennert[2] redet davon, als von einer bekannten Sache, Lambert[3] empfiehlt einen Quecksilberfaden von wenigstens einem Zoll Länge zu nehmen, und seiner Autorität folgen alle diejenigen, welche seitdem über die Construction der Thermometer geschrieben haben, deren Werke gröfstentheils bereits oben angegeben worden sind. Es darf aber auch in dieser Beziehung ein wesentlicher Unterschied nicht unbeachtet bleiben. Ehemals setzte man voraus, der innere Raum der Röhren könne in Folge der Fabricationsart kein absolut genauer Cylinder seyn, sondern müsse sich etwas der konischen Form nähern, und zwar so, dafs derselbe hiernach in kaum merklichen Abstufungen, aber gleichmäfsig fortschreitend, entweder weiter oder enger würde. Hieraus folgt von selbst, dafs ein solcher beginnender Unterschied, obgleich im Anfange verschwindend, doch durch stete Zunahme allmälig

---

1 Bessel's astronomische Beobachtungen. Abth. VII. Vergl. Poggendorff Ann. VI. 287. Körner's Anleitung übereinstimmende Thermometer zu verfertigen. Jena 1824. Baumgartner's Physik. Supplem. S. 114.

2 Traité des Thermomètres. à la Haye. 1758. p. 44.

3 Pyrometrie. 1779. p. 31. 43.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

bedeutend werden müfste. Wäre dann die Gröfse der Zunahme von einem gewissen Puncte an bis zu einem andern genau bekannt, so könnte man mit einer accuraten Theilmaschine diese Aenderung in die Scale übertragen und dadurch den Fehler des Calibers corrigiren; die Künstler blieben aber bei der gleichen Theilung der Scalen, und gingen von dem Grundsatze aus, die Röhre dürfe nur so weit verwandt werden, als sich keine merkliche Aenderung ihrer Weite wahrnehmen lasse. Aus dieser Ursache wird von einer grofsen Masse von Röhren nur ein kleiner Theil zu guten Thermometern wirklich verwandt, der Rest aber zu den schlechteren genommen oder als unbrauchbar wieder eingeschmolzen, und bei der Operation des Calibrirens von hundert und mehr Röhren finden sich nur zwei, drei oder etwa fünf, die sich für längere, über den Siedepunct des Wassers hinaus gehende Thermometer eignen und die daher von gewissenhaften Künstlern nur aus Gefälligkeit oder gegen höhere Preise abgegeben werden. Ich gestehe, dafs ich nach eigenen Erfahrungen und aus theoretischen Gründen noch immer diese Ansicht theile. In Gemäfsheit der Fabricationsweise der Thermometerröhren mufs der innere Raum, wie mir scheint, konisch werden, aber regelmäfsig konisch; allein da die Abweichung von der Cylinderform nothwendig sehr langsam und allmälig eintritt, so läfst sich denken, dafs für eine gewisse Länge der Unterschied verschwindet und diese als genau cylindrisch gelten kann. Bei drei guten Thermometern habe ich einen abgetrennten Quecksilberfaden von etwa 50^0 bis 60^0 Länge in mittlerer Temperatur bis zum Siedepuncte gleiten lassen und eine stets gleichmäfsige Zunahme oder Abnahme wahrgenommen, die bei dem schlechtesten im Maximum $0^0,75$ C. betrug. Wird dann angenommen, dafs die beiden Normalpuncte richtig bestimmt sind, so fällt das Maximum des Fehlers wegen des Calibers in die Mitte der Scale, ist aber auch hier so gering, dafs er bei dem Mangel an Stabilität der zu messenden Wärme in den Fehlern der Messung verschwindet. Sonstige Prüfungen haben hiermit im Ganzen übereinstimmende Resultate gegeben, denn obgleich bei einer von Bessel geprüften Röhre die Ungleichheiten bis auf $\frac{1}{17}$ stiegen, so mufs man doch voraussetzen, dafs diese Röhre zu den sehr schlechten gehörte, da sie bei einer andern von Schafrinski nur $\frac{1}{90}$ erreichten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Sechs Röhren von Greiner, welche Egen[1] untersuchte, zeigten Ungleichheiten von $\frac{1}{80}$; $\frac{1}{60}$; $\frac{1}{60}$; $\frac{1}{40}$; $\frac{1}{40}$; $\frac{1}{30}$ und fünf von Apel $\frac{1}{90}$; $\frac{1}{40}$; $\frac{1}{40}$; $\frac{1}{20}$; $\frac{1}{20}$; drei von unbekanntem Ursprunge $\frac{1}{100}$; $\frac{1}{60}$; $\frac{1}{60}$. Nehmen wir die gröfste unter allen diesen, so ist $0^0,05$ auf gewöhnlichen Scalen ohne Anwendung künstlicher Mittel, und wenn nicht das Ende des Quecksilberfadens einem Theilstriche sehr nahe steht, kaum mehr unterscheidbar. Das von Jones in London verfertigte Thermometer, dessen sich Sabine[2] bei seinen Pendelmessungen bediente, scheint das einzige zu seyn, welches nach genauer Prüfung keine mefsbare Abweichung zeigte; es enthielt aber nur 150 Grade der Fahrenheit'schen Scale.

Die Ansichten der meisten Physiker der neuesten Zeit sind aber hiervon wesentlich verschieden. Hiernach sind die innern Räume der Röhren nicht regelmäfsig konisch, sondern sprungweise und regellos bald weiter bald enger[3], und dieser Voraussetzung angemessen ist dann auch die von Gay-Lussac vorgeschlagene Calibrirungsmethode. Man soll hiernach einen kurzen Quecksilberfaden in der Röhre (vor der Verfertigung des Thermometers) verschieben, so dafs das hintere Ende stets wieder genau an den Ort kommt, den das vordere eben verlassen hat, und jederzeit die Länge durch einen Diamantstrich bezeichnen, um eine gewisse Anzahl Räume von gleichem Inhalte zu bekommen, deren Werth nachher beim Verfertigen der Scale zwischen 0 und 100 interpolirt werden kann. Diese Methode ist höchst mühsam und, wie ich meine, auch unsicher, da es kaum möglich auf jeden Fall höchst schwierig ist, das Ende des Fadens jederzeit genau unter den Diamantstrich zu bringen, und man läuft Gefahr, Fehler hinein zu corrigiren, die gar nicht vorhanden sind. Rudberg[4] meint, in sehr engen Röhren, die allein zu guten Thermometern taugen, würde sich ein solcher Faden nicht verschie-

---

1 Poggendorff Ann. XI. 296.

2 Experiments to determine cet. p. 185.

3 Egen versichert, vier Thermometer geprüft und so ungleich von Weite gefunden zu haben, dafs sie keine regelmäfsige Stelle von einigem Umfange darboten und daher die von ihm früher angegebene Correctionsmethode für sie nicht genügte. Poggendorff's Ann. XIII. 46.

4 Poggendorff Ann. XL. 563.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ben lassen, allein dann könnte man keine der folgenden Correctionsmethoden in Anwendung bringen; vielmehr läfst sich durch Hülfe des Luftdrucks in einem an beiden Enden offenen Röhrchen von geringster Weite ein Quecksilberfaden ohne Mühe verschieben, insbesondere, wenn man nach Körner's[1] Vorschlage die Röhre in eine Fassung steckt, die mit einer kleinen Pumpe versehn ist, und durch Einpressen von Luft den Quecksilberfaden an die erforderliche Stelle bringt. Sowohl für diese Methode, als auch für die sonst üblichen des Calibrirens empfiehlt sich diese Vorrichtung, bei welcher man sich eine feine und mit gröfster Sorgfalt richtig getheilte Scale verschafft, dieser die Röhre parallel legt und nach ein- Fig.
gebrachtem Quecksilberfaden an der Scale vermittelst eines An- 89.
schlagelineals genau die gleichbleibende oder sich verändernde Länge desselben mifst. Das hierbei zu befolgende Verfahren ist aus der Zeichnung völlig klar und ich überhebe mich daher einer weiteren Beschreibung. Ungleich feiner und den höchsten Grad von Genauigkeit gewährend ist aber die durch Rudberg[2] angewandte *Calibrirungsmaschine*, insbesondere wenn man dabei eine von selbst sich darbietende, obgleich nicht unwesentliche Verbesserung anbringt. Sie besteht aus einem messingnen Lineale A B von gegen 2 Fufs Länge, auf Fig.
welchem zwei andere Lineale A G und E F so befestigt sind, 90.
dafs sich der Fufs m n des Mikroskophalters zwischen den parallelen Seiten derselben mit mäfsiger Reibung schieben läfst. Auf die breitere Leiste E F ist eine sehr feine, willkürliche Theilung auf Silber aufgetragen, die man bis zu beliebiger Feinheit treiben und durch Verlängerung der zu 5 und 10 Theilstrichen gehörigen Linien leichter ablesbar machen kann; bei der von Rudberg gebrauchten war der Decimalzoll in 198 Theile getheilt. Auf diese Leiste wird die Thermometerröhre gelegt, mittelst zweier Bügel p q und s z festgeschraubt, und die Längen der Quecksilberfäden werden dann vermittelst des Mikroskopes M abgelesen, indem die Theilstriche durch die Glasröhre sichtbar sind. Eine Verbesserung würde darin bestehn, wenn das Fufsstück m n nicht durch Verschiebung,

---

1 Anleitung übereinstimmende Thermometer zu verfertigen. Jena 1824.

2 Poggendorff Ann. XL. 572.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sondern vermittelst einer Mikrometerschraube sanft bewegt würde.

54) Bessel's *Correctionsmethode* bezieht sich sowohl auf die fehlerhafte Bestimmung der beiden festen Puncte, als auch auf ein unrichtiges Caliber der Röhre, und da vom Ersteren bereits die Rede war, so wird es genügen, blofs das Letztere zu berücksichtigen. Das Verfahren besteht im Allgemeinen darin, Quecksilberfäden zu trennen und aus den Unterschieden ihrer Länge, die sie an den verschiedenen Stellen der Scale einnehmen, gemessen vermittelst der bereits gezeichneten Grade, die Abweichungen des Calibers und die für die einzelnen Grade erforderlichen Correctionen zu finden. Um den Faden zu trennen, soll man die Röhre an dieser Stelle erwärmen oder nach Egen mit der Spitze der Flamme einer Blaslampe dagegen blasen; allein durch blofse und selbst starke Erwärmung trennt sich das Quecksilber nicht, sobald es ganz frei von Luft und Feuchtigkeit ist, wenn man die Erhitzung nicht bis zum Siedepuncte des Quecksilbers treibt, und dann werden die härteren, eben deswegen aber dauerhafteren Glasröhren durch starke einseitige Erhitzung leicht springen, weswegen dieses Verfahren gerade bei den besten Thermometern am gefährlichsten ist[1]. Die Länge der Fäden ist willkürlich, indefs mufs der erste sich mindestens über die Hälfte der Scale erstrecken; man kann diesen dann fortwährend halbiren, oder die folgenden um willkürliche Gröfsen kleiner nehmen, und die Correction wird um so viel vollständiger seyn, je gröfser die Zahl der angewandten Fäden ist, wobei der letzte Faden kleiner, als die Hälfte des ersten seyn soll. Die unteren Enden bringt man der Bequemlichkeit wegen mit einem Theilstriche der Scale zur genauen Berührung und zeichnet den Stand des oberen Endes auf, rückt dann auf diese Weise in beliebigen Intervallen, etwa von 5° zu 5° oder von 10° zu 10° weiter, bis an das Ende der Scale, wobei sich von selbst versteht, dafs man ebenso gut auch vom oberen Ende des Fadens als

1 Ich möchte rathen, vor der Anwendung der Correction erst die Genauigkeit der Theilung bei den Scalen zu untersuchen, denn sonst können leicht Fehler der Theilung, durch Nachlässigkeit oder Mangel an guten Theilmaschinen entstanden, für Fehler des Calibers gelten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Anfangspunct ausgehn oder beide Methoden verbinden könnte. Bessel erläutert diese Methode durch das Beispiel einer Correction, die er bei einem Fahrenheit'schen Thermometer vermittelst 8 Fäden in Anwendung gebracht hat, weil aber diese Grade minder gebräuchlich sind, aufserdem die Rechnung durch die gröfsere Zahl der Grade und die Menge der Fäden weitläuftiger wird, die Art des Verfahrens aber auch durch ein kürzeres Beispiel völlig klar wird, so wähle ich in Ermangelung eigener Versuche dasjenige, welches Baumgartner[1] mitgetheilt hat. Hiernach waren

Unteres Ende des Fadens	Oberes Ende des Fadens			
	I.	II.	III.	IV.
— 20	20,3	—	—	—
— 10	30,4	24,7	—	—
0	40,5	34,8	24,40	11,1
+ 10	50,6	44,9	34,55	21,1
+ 20	60,6	54,9	44,55	31,1
+ 30	70,5	64,8	54,50	41,1
+ 40	—	74,7	64,40	51,0
+ 50	—	—	74,30	61,0
+ 60	—	—	—	71,0

Um hieraus die Correction zu finden, drückt man alle Fäden in einem gleichen, an sich willkürlichen Mafse aus, denkt sich jeden an die Stelle der vorher gebrauchten Fäden gebracht, als ob sein unteres Ende auf den Theilstrich gefallen wäre, auf welchen der wirklich gebrauchte Faden fiel. Wird dann die Stelle seines oberen Endes mit derjenigen Stelle, welche der Faden in der Röhre wirklich einnahm, verglichen, so giebt der Unterschied die Correction für den Punct, auf welchen das untere Ende fällt. Das untere Ende ist auf diese Weise durch das obere bestimmt, und man erhält also so viele Bestimmungen desselben Scalenelements, als man Fäden ge-

1 Naturlehre. Supplem. S. 124. Ich habe nie gewagt, gute Thermometer dieser, wie mir scheint, gefährlichen Operation zu unterwerfen, mich dagegen begnügt, zufällig oder durch blofses Schütteln abgetrennte Fäden von 5° zu 5° fortgleiten zu lassen, und auf diese Weise die bereits erwähnten Resultate erhalten.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

braucht hat, deren Mittelwerth die gesuchte Correction giebt, wenn man die Verbesserung für das andere Ende des Fadens vernachlässigt. Man könnte sich daher mit einem einzigen Faden begnügen, was GAY-LUSSAC's Methode seyn würde, oder mit zwei, wobei die Annäherung durch die Zahl der Fäden stets weiter getrieben wird. Am einfachsten drückt man die Länge des Fadens so aus, wie er von 0 der Scale anfangend erscheint, und setzt allen folgenden eine unbekannte Correction hinzu, damit sich alle, der etwaigen Ungleichheiten der Röhre ungeachtet, auf das nämliche Mafs beziehn, worin der erste ausgedrückt ist. Hiernach ist die Länge

$$\begin{aligned} \text{des Fadens } \mathrm{I} &= 40{,}5 \\ \mathrm{II} &= 34{,}8 + c_{,} \\ \mathrm{III} &= 24{,}4 + c_{,,} \\ \mathrm{IV} &= 11{,}1 + c_{,,,}. \end{aligned}$$

Hiernach giebt die obige Tafel für die zu 30 gehörigen Gröfsen, wenn man den Fehler durch φ bezeichnet:

$$\begin{aligned} 70{,}5 + \varphi(70{,}5) - (30 + \varphi 30) &= 40{,}5 \\ 64{,}8 + \varphi(64{,}8) - (30 + \varphi 30) &= 34{,}8 + c_{,} \\ 54{,}5 + \varphi(54{,}5) - (30 + \varphi 30) &= 24{,}4 + c_{,,} \\ 41{,}1 + \varphi(41{,}1) - (30 + \varphi 30) &= 11{,}1 + c_{,,,} \end{aligned}$$

und hieraus

$$\begin{aligned} 30 + \varphi 30 &= 30 + \varphi 70{,}5 \\ &= 30 + \varphi 64{,}8 - c_{,} \\ &= 30{,}1 + \varphi 54{,}5 - c_{,,} \\ &= 30 + \varphi 41{,}1 - c_{,,,}. \end{aligned}$$

Aus diesen vier Werthen das Mittel genommen, das Mittel aus den Correctionen des oberen Theiles der Scale $= 0$ gesetzt, erhält man

$$30 + \varphi 30 = 30{,}02 - \tfrac{1}{4}(c_{,} + c_{,,} + c_{,,,})$$

oder,

$$\tfrac{1}{4}(c_{,} + c_{,,} + c_{,,,}) = \mathrm{C} \text{ gesetzt,}$$
$$\varphi 30 = 0{,}02 - \mathrm{C}.$$

Durch ein gleiches Verfahren müssen die zu 20, 10, 0 gehörigen Werthe gesucht werden, und man findet nach BAUMGARTNER

$$\begin{aligned} \varphi\, 20 &= 0{,}08 - \mathrm{C} \\ \varphi\, 10 &= 0{,}08 - \mathrm{C} \\ \varphi\, 0 &= 0{,}00 - \mathrm{C}. \end{aligned}$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Setzt man zu diesen Werthen die Fadenlängen und vergleicht man das Ergebnifs der Summirung mit den in der Tabelle angegebenen Werthen, so erhält man die Correctionen für diejenigen Stellen der Scale, wo sich das obere Ende des Fadens befand, während das untere mit 0, 10, 20, 30 zusammenfiel. Dieses giebt für den Faden I

$$0 + \varphi 0 = 0{,}00 - C$$

dazu Faden I $= 40{,}50$

$$40{,}50 + \varphi 40{,}50 = 40{,}50 - C$$

mithin

$$\varphi 40{,}50 = 0{,}00 - C.$$

Ebenso wird

$$10 + \varphi 10 = 10{,}08 - C$$

dazu Faden I $= 40{,}50$

$$50{,}6 + \varphi 50{,}6 = 50{,}58 - C$$

also

$$\varphi 50{,}6 = -0{,}02 - C.$$

Auf gleiche Weise erhält man

$$\varphi 60{,}6 = -0{,}01 - C$$
$$\varphi 70{,}5 = 0{,}02 - C.$$

Baumgartner erhielt aus den mit Faden II gefundenen Werthen auf gleiche Weise

$$\varphi 34{,}8 = 0{,}00 - C + c_{,}$$
$$\varphi 44{,}9 = -0{,}01 - C + c_{,}$$
$$\varphi 54{,}9 = -0{,}02 - C + c_{,}$$
$$\varphi 64{,}8 = 0{,}02 - C + c_{,};$$

durch Faden III

$$\varphi 24{,}4 = -0{,}01 - C + c_{,,}$$
$$\varphi 34{,}55 = -0{,}07 - C + c_{,,}$$
$$\varphi 44{,}55 = -0{,}07 - C + c_{,,}$$
$$\varphi 54{,}50 = -0{,}08 - C + c_{,,};$$

durch Faden IV

$$\varphi 11{,}10 = 0{,}00 - C + c_{,,,}$$
$$\varphi 21{,}10 = 0{,}08 - C + c_{,,,}$$
$$\varphi 31{,}10 = 0{,}08 - C + c_{,,,}$$
$$\varphi 41{,}05 = 0{,}02 - C + c_{,,,}.$$

Um die Werthe von $c_{,}$; $c_{,,}$; $c_{,,,}$ zu entfernen, nimmt man aus allen mittelst desselben Fadens erhaltenen Resultaten das

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Mittel und setzt das Mittel der Correctionen wieder = 0. Dieses giebt

$$0 = -0{,}01 - 4\,C \qquad \text{mithin } C = 0{,}00$$
$$0 = -0{,}01 - 4\,C + 4\,c_{,} \qquad c_{,} = 0{,}00$$
$$0 = -0{,}23 - 4\,C + 4\,c_{,,} \qquad c_{,,} = 0{,}06$$
$$0 = -0{,}18 - 4\,C + 4\,c_{,,,} \qquad c_{,,,} = -0{,}05.$$

Wenn man vermittelst der hier gefundenen Werthe die obigen Gröſsen von $c_{,}$; $c_{,,}$; $c_{,,,}$ befreit, so erhält man für den Faden III und IV folgende Gröſsen:

$$\varphi\,24{,}40 = 0{,}05 - C \qquad \varphi\,11{,}1 = -0{,}05 - C$$
$$\varphi\,34{,}55 = -0{,}01 - C \qquad \varphi\,21{,}1 = 0{,}03 - C$$
$$\varphi\,44{,}55 = -0{,}01 - C \qquad \varphi\,31{,}1 = 0{,}03 - C$$
$$\varphi\,54{,}50 = -0{,}02 - C \qquad \varphi\,41{,}1 = -0{,}03 - C.$$

In den Resultaten mit dem ersten Faden kommt c nicht vor und in denen mit dem zweiten ist $c_{,} = 0$.

Da C bekannt ist, so könnte man diese Gröſse wegschaffen, allein dieses ist unnöthig, da alle Scalentheile dadurch gleichmäſsig afficirt werden und es bei der genauen Bestimmung des Eispunctes wegfällt. Uebrigens beziehn sich die gefundenen Correctionen auf Scalenpuncte mit Decimalbrüchen; sofern es sich aber mehr um die Bestimmung der Correctionen für die ganzen Scalentheile handelt, so lassen sich diese aus jenen herleiten. Man bringt zu diesem Ende alle obere beobachtete Scalenpuncte in natürlicher Ordnung in eine Tabelle und setzt denen, woſür die Correction bereits gefunden ist, diese hinzu. Alsdann vereinigt man diejenigen Zahlen, welche nahe an einer zu suchenden runden Zahl liegen, zu einem arithmetischen Mittel und sucht die Correctionen für jene runden Zahlen durch Interpolation. Die folgende Tabelle enthält die schon gefundenen Correctionen so zusammengestellt, wie sie sich zur Auffindung der arithmetischen Mittel vereinigen lassen.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

x	φx	x	φx
11,1	— 0,05	41,1	— 0,03
21,1	+ 0,03	44,55	— 0,01
24,4	+ 0,05	44,9	— 0,01
31,1	+ 0,03	50,6	— 0,02
34,5	— 0,01	54,5	— 0,02
34,8	+ 0,00	54,9	— 0,02
40,5	+ 0,00	60,8	— 0,01
		64,8	+ 0,02
		70,5	+ 0,02

Hieraus findet man folgende arithmetische Mittel:

x	φx	x	φx
25,53	+ 0,03	56,65	— 0,01
39,90	+ 0,00	67,65	+ 0,02
45,41	— 0,01		

und aus allen Verbesserungen durch Interpolation

$\varphi\ 0^\circ = 0{,}00$	$\varphi\ 30^\circ = 0{,}02$	$\varphi\ 50^\circ = \quad 0{,}02$
$\varphi\ 10^\circ = 0{,}08$	$\varphi\ 40^\circ = 0{,}00$	$\varphi\ 60^\circ = -\ 0{,}01.$
$\varphi\ 20^\circ = 0{,}08$		

Um die Correctionen für -10°; -20° zu bestimmen, mufs man die Länge der Fäden kennen, welche bekannt wird, wenn man sie von dem anhängenden c befreit. Man findet hiernach:

$$\mathrm{I} = 40{,}5;\quad \mathrm{II} = 34{,}8;\quad \mathrm{III} = 24{,}46;\quad \mathrm{IV} = 11{,}05.$$

Man nimmt hierauf aus der ersten Tabelle die dann gefundenen Gröfsen, als das untere Fadenende auf -20; -10 u. s. w. stand, setzt dem oberen Ende die aus dem Vorhergehenden ihm zukommenden Verbesserungen hinzu, zieht die Fadenlänge, auf welche sich dieses bezieht, ab und erhält auf diese Weise $\varphi - 20$; $\varphi - 10$ u. s. w. Im vorliegenden Falle ist hiernach

$$20{,}3 + \varphi\, 20{,}3 = 20{,}8$$

davon Faden I $= 40{,}5$

giebt

$$\varphi\,(-20) = -\ 0{,}3.$$

Ebenso wird

$$\varphi\,(-10) = -\ 0{,}06.$$

Die bisher aufgefundenen Verbesserungen geben die erste

Annäherung, die man benutzen kann, um die oberen Fadenenden in der ersten Tabelle zu corrigiren. Wiederholt man das nämliche Verfahren mit diesen verbesserten Elementen aufs Neue, so erhält man eine zweite, noch genauere Annäherung, die sich dann auf gleiche Weise zu einer dritten Annäherung benutzen liefse, u. s. w. Wenn aber die Correctionen ohnehin klein sind, wird man sich dieser Mühe überheben.

55) Egen[1] hat eine von ihm mit Vortheil angewandte einfache Correctionsmethode angegeben, die sich auch für noch nicht gefüllte Röhren benutzen und vermittelst der oben beschriebenen Calibrirungsmaschine nach Gay-Lussac und Körner bewerkstelligen liefse, wenn man in voraus einen gewissen Anfangspunct der Scale bezeichnete, welchem man später die nach dem Caliber zu theilende Scale anpassen könnte, die dann vermittelst der Calibrirungsmaschine in völlig richtige Grade getheilt werden müfste. Die Methode verdient vorzüglich die Aufmerksamkeit der Künstler, die durch Anwendung derselben in den Stand gesetzt würden, auch wenn wirklich die Röhren nicht konisch, sondern unregelmäfsig wechselnd bald weiter, bald enger seyn sollten, den Physikern auf gleiche Weise richtige Thermometer zu liefern, als die getheilten Kreise der Astronomen sind. Egen wendet einen etwa 2 Lin. breiten und $\frac{1}{3}$ Lin. dicken Silberstreifen an, mit einer möglichst gleichen Eintheilung versehn, so dafs die feinen Theilstriche etwa 0,07 Lin. von einander abstehn, und wobei sich vermittelst zwölfmaliger Vergröfserung durch das Mikroskop immer noch Zehntel derselben schätzen lassen. Dieser Streifen wird mit Silberdraht unbeweglich an die Röhre, am festesten in der Nähe des Eispunctes, gebunden. Es wird dann ein Quecksilberfaden von etwa 30 Graden Länge getrennt und dessen Länge an den verschiedenen Stellen der Röhre gemessen, die Operation wird dreimal wiederholt, und wenn sich keine bedeutenden Unterschiede zeigen, wie in der Regel nicht der Fall zu seyn pflegt, so nimmt man aus den erhaltenen drei Werthen das Mittel. Bei der ersten Beobachtungsreihe wird das untere Ende des Fadens jederzeit auf einen Zehner der getheilten Scale gestellt, bei den folgenden

1 Poggendorff Ann. XI. 530.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

auf die benachbarten Theilstriche, und so bringt man dasselbe stets von 200 zu 200 Theilen höher hinauf; das Thermometer muſs hierbei auf ein Bret gebunden seyn und der Quecksilberfaden wird durch sanfte Schläge gegen dasselbe weiter gerückt. Weil man mit diesem längeren Quecksilberfaden nur die oberhalb desselben befindlichen Räume messen kann, indem der von unten nach oben geschobene Faden unten stets einen Raum leer läſst und oben einen gleich groſsen ausfüllt, deren Gröſsen sich also umgekehrt wie die Längen des in ihnen befindlichen Quecksilberfadens verhalten, so muſs nachher auch der anfänglich von dem längeren Quecksilberfaden eingenommene Raum geprüft werden, wozu man einen andern Faden von etwa 10° Länge abtrennt. Man wählt für diese zweite Messung einen Theil der Röhre, welcher sich anfänglich als vorzüglich genau zeigte, und kann also die Mühe sparen, noch diesen letzten Raum von 10° Länge zu messen, weil solche Stellen von völliger Genauigkeit sich in der Regel finden; im entgegengesetzten Falle müſste man noch einen Faden von etwa 3° Länge abtrennen. Bei dem längeren Faden muſs übrigens ein merklicher Temperaturwechsel vermieden werden, welcher bei den kürzeren nicht in Betrachtung kommt. Um endlich den Werth der willkürlichen Scalentheile in Graden der gegebenen Thermometerscale auszudrücken, dient eine Tabelle, welche den Werth von jedem Zehnerstriche in Thermometergraden angiebt und vor dem Auftragen der Scale berechnet werden muſs. Es scheint mir überflüssig, dieses einfache und leicht verständliche Verfahren durch ein Beispiel zu erläutern, welches Egen in gröſster Ausführlichkeit mittheilt.

Kupffer's Methode ist genau die von Bessel empfohlene, indeſs hat er sich, so wie Baumgartner, auf die Anwendung von vier Fäden beschränkt; Rudberg's Methode unterscheidet sich aber dadurch, daſs er Fadenlängen wählt, deren Längen entweder

$$\frac{1}{2};\ \frac{1}{3};\ \frac{5}{12};\ \frac{11}{24};\ \frac{23}{48}\ldots\ldots$$

oder $\frac{1}{2};\ \frac{1}{4};\ \frac{3}{8};\ \frac{7}{16};\ \frac{15}{32};\ \frac{31}{64}\ldots\ldots$

des ganzen Raumes zwischen dem Eis- und Siedepuncte betragen, diese an die verschiedenen Stellen der Röhre gleiten läſst und aus den Unterschieden, welche ihre berechneten und gemessenen Längen betragen, die Ungleichheiten der

Weiten der Röhre findet. Das Messen der Längen geschieht vermittelst der oben §. 53 beschriebenen Maschine, die Trennung des Fadens aber durch Erwärmen der Glasröhre bis zum Sieden des Quecksilbers an derjenigen Stelle, wo man die Trennung bewirken will, ein Verfahren, welches auch Kupffer empfiehlt.

56) *Correction wegen ungleichmäfsiger Ausdehnung der thermoskopischen Substanz.* Die Thermometer würden unter der Voraussetzung, dafs die Vermehrungen der Wärme den Vergröfserungen des Volumens proportional sind, die Temperaturen richtig angeben, soweit die Genauigkeit vermittelst der angewandten Correctionen erreichbar ist, allein eben die Voraussetzung jenes Verhältnisses ist nur bei der Luft vorhanden, fehlt aber bei allen andern thermoskopischen Substanzen. Sollen also die mit den letzteren gemachten Messungen richtig seyn, so mufs bei ihnen nothwendig noch eine Correction angebracht werden, um sie auf die einzig richtigen des *Luftthermometers* zu reduciren.

Für das *Quecksilberthermometer* ist oben bereits angegeben worden, dafs die darin enthaltene thermoskopische Substanz sich von etlichen Graden über ihrem Gefrierpuncte bis zum Siedepuncte, also von etwa — 36° bis + 100° C. gleichmäfsig genug ausdehnt, um keiner Correction zu bedürfen. Dieser jetzt allgemein angenommene Satz beruht auf den Resultaten, welche Dulong und Petit aus ihren Versuchen über die Ausdehnung des Quecksilbers, verglichen mit der der trocknen Luft, erhalten haben. Legen wir diese, die bereits ausführlich mitgetheilt worden sind[1], so lange zum Grunde, bis vielleicht mögliche genauere eine andere Belehrung geben, so lassen sich für die Reduction auf das Luftthermometer folgende Regeln daraus entnehmen. Zuerst bedarf das Quecksilberthermometer für alle Grade unter dem Eispuncte, die damit mefsbar sind, keiner Correction; denn wenn auch die Temperatur bis zum Gefrierpuncte dieses Metalles, also bis — 39° C. mit Quecksilberthermometern gemessen werden sollte, so kommen die wenigen, in dieser Beziehung noch nicht untersuchten Grade durchaus in keine Betrachtung, da die Versuche der genannten Gelehrten sich bis — 36°,29 C. erstrecken. Nach der

1 S. Art. *Ausdehnung.* Bd. I. S. 599.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mitgetheilten Zusammenstellung der von ihnen gefundenen correspondirenden Grade des Quecksilberthermometers Q. und des Luftthermometers L. geben diese folgende Gröfsen:

Q.	29,68;	30,46;	31,26;	31,63;	32,27;	33,31;	34,72;	36,29
L.	29,64;	30,59;	31,04;	31,54;	32,13;	33,40;	34,84;	36,18
Diff.	-0,04;	+0,13;	-0,22;	-0,09;	-0,14;	+0,09;	+0,12;	-0,09.

Die Unterschiede sind im Allgemeinen grofs, so dafs sie durch vermehrte Genauigkeit wohl hätten vermindert werden können. Nehmen wir sie indefs so, wie sie vorliegen, so wechseln sie vom Anfange bis ans Ende im Zeichen, und ein constanter, aus ungleicher Zusammenziehung des Quecksilbers entspringender Fehler wird daher durch sie nicht angezeigt. Bekanntlich ziehn sich die Flüssigkeiten durch zunehmende Kälte weniger zusammen, die Grade, welche sie am Thermometer zeigen, bleiben daher hinter denen des Luftthermometers zurück; da aber bei —29°,68 schon ein entgegengesetzter Fehler vorhanden ist, so müssen wir diesen oder können ihn wenigstens als einen constanten der Scale betrachten, in was immer für einer Ursache er auch gegründet seyn mochte. Ziehn wir diesen von allen einzelnen Differenzen ab, so erhalten wir folgende verbesserte Werthe:

Diff. 0,00; +0,17; -0,18; -0,05; -0,10; +0,13; +0,16; -0,05.

Diese Differenzen addirt geben — 0,08, eine unbedeutende Gröfse, die noch obendrein dem Fehler, welcher durch gröfsere Zusammenziehung des Quecksilbers zu erwarten war, entgegengesetzt ist, weswegen wir hiernach Regelmäfsigkeit der Zusammenziehung des Quecksilbers mindestens von — 36°,29 bis zum Eispuncte annehmen müssen. Das Quecksilberthermometer bedarf also wegen ungleichförmiger Ausdehnung keine Correction seiner Grade unter 0° C., ein Resultat, welches sich daraus erklären läfst, dafs dieses Metall nicht, wie das Wasser, sich vor dem Gefrieren wieder ausdehnt.

Die Resultate[1], welche ebendiese Physiker für die Ausdehnung des Quecksilbers über 0° C. erhalten haben, sind unzulänglich, um ein regelmäfsiges Gesetz der Ausdehnung dieses Metalles aufzufinden, denn dieses verlangt einen für alle

1 S. ebendaselbst.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Grade des gewählten Thermometers paſslichen analytischen Ausdruck, nach welchem dann die Differenz von 0° bis 100° unmöglich = 0 seyn könnte, wie aus den genannten Versuchen folgt; wohl aber können sie unter der Voraussetzung, daſs die Zunahme der gleichmäſsigen Ausdehnung bis 100° C. unmerklich, von da an aber merklich und von den genannten Gelehrten richtig gemessen worden sey, zur Auffindung der erforderlichen Correctionen für das Quecksilberthermometer von 100° C. bis zum Siedepuncte benutzt werden. Setzt man die für gleiche Zunahmen des Quecksilberthermometers und des Luftthermometers gefundenen Gröſsen neben einander, und sucht man die Differenzen der letzteren, so erhält man folgende Werthe:

Thermometer		Differenzen		
Quecksilber	Luft	I	II	III
100	100,00	0,00		
150	148,70	1,30		
			1,65	
200	197,05	2,95		0,35
			2,00	
250	245,05	4,95		0,35
			2,35	
300	292,70	7,30		0,35
			2,70	
360	350,00	10,00		

Die dritten Differenzen sind hiernach constant, die zu 50 Graden des Quecksilberthermometers gehörigen Grade des Luftthermometers bilden also eine arithmetische Reihe der zweiten Ordnung, und es läſst sich demnach ein Ausdruck für die Gröſsen finden, die man von den beobachteten Graden des Quecksilberthermometers abziehn muſs, um sie auf Grade des Luftthermometers zu reduciren. Hierbei darf nicht übersehn werden, daſs die Zunahmen des Quecksilberthermometers von 50 zu 50 Graden fortschreiten, auſser bei der letzteren Gröſse. Wären die Bestimmungen absolut richtig, so würde diese letztere Abweichung bei der Gleichheit der dritten Differenzen zu der gewiſs unstatthaften Folgerung führen, daſs die Ausdehnung des Quecksilbers über 300 Grade hinaus wieder abnähme; allein es ist zu schwer, den Gang seiner Ausdeh-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nung so nahe am Siedepuncte scharf zu messen, und zudem bleibt es immer fraglich, bei welchem Grade des Luftthermometers und des Quecksilberthermometers der Siedepunct des Quecksilbers eintritt, da er nach einer andern Bestimmung derselben Gelehrten bei 350° des Luftthermometers und bei 356° des Quecksilberthermometers liegen soll. Hiervon abgesehn läfst sich diejenige Gröfse, welche man von den beobachteten Graden des Quecksilberthermometers abziehn mufs, um sie auf Grade des Luftthermometers zu reduciren, leicht auffinden. Bezeichnet man 50 Grade des Quecksilberthermometers als Einheit durch s, berücksichtigt man, dafs die dritten Differenzen = 0,35 nach der Reihe der natürlichen Zahlen summirt werden müssen, deren Summe $= \frac{n(n+1)}{2}$ ist, dafs ferner diese Differenz erst beim dritten Gliede anfängt, und bezeichnet man die von den beobachteten Graden des Quecksilberthermometers abzuziehende Zahl durch y, so ist

$$-y = 1{,}3 + 1{,}65 . s + \frac{s(s-1)}{2} \times 0{,}35.$$

Hieraus wird

$$-y = 1{,}3 + 1{,}4755 + 0{,}175\, s^2;$$

weil aber die beiden letzten Glieder für s = 1 verschwinden müssen, so ist

$$-y = 1{,}3 + 1{,}475\,(s-1) + 0{,}175\,(s-1)^2,$$

welches aufgelöst giebt

$$-y = 1{,}125 . s + 0{,}175 . s^2.$$

Werden dann die Thermometergrade der Centesimalscale des Quecksilberthermometers durch t bezeichnet und t — 100 durch t′, so ist

$$-y = 0{,}0225\, t' + 0{,}00007\, t'^2$$

diejenige Gröfse, welche von den Graden des Quecksilberthermometers über 100° C. abgezogen wird, um sie in Grade des Luftthermometers zu verwandeln[1]. Wurde die Temperatur in Graden Θ der Reaumür'schen Scale gemessen und heifst $\Theta' = \Theta - 80$, so ist

1 Diese Formel habe ich zuerst gebraucht, als ich die bei der gemessenen Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten beobachteten Grade reducirte. S. meine Abhandl. über die Ausdehnung der tropfbaren Flüssigkeiten in den Mém. de Petersb. p. 121. Vor dem Er-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$-y = 0{,}0225\,\Theta' + 0{,}0000875\,\Theta'^2$$

die abzuziehende Gröfse. Die folgende Tabelle enthält die Grade des Quecksilberthermometers Q. nach der Centesimalscale und daneben die ihnen gleichen des Luftthermometers L., woraus also die Correctionen unmittelbar zu entnehmen sind. Für die Reaumür'sche Scale gleichfalls eine Tafel zu berechnen scheint mir unnöthig, da man die erforderlichen Reductionen aus der oben gegebenen Tabelle leicht entnehmen kann.

---

scheinen derselben machte August dieselbe, aus jenen Elementen abgeleitete, Correctionsformel bekannt. S. Poggendorff's Ann. XIII. 119.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Q.	L.	Q.	L.	Q.	L.
100	100,000	145	143,846	190	187,408
101	100,977	146	144,817	191	188,373
102	101,955	147	145,788	192	189,337
103	102,932	148	146,759	193	190,302
104	103,909	149	147,729	194	191,266
105	104,886	150	148,700	195	192,231
106	105,862	151	149,670	196	193,195
107	106,839	152	150,641	197	194,159
108	107,815	153	151,611	198	195,123
109	108,792	154	152,581	199	196,086
110	109,768	155	153,551	200	197,050
111	110,744	156	154,520	201	198,013
112	111,720	157	155,490	202	198,977
113	112,696	158	156,459	203	199,940
114	113,671	159	157,429	204	200,903
115	114,647	160	158,398	205	201,866
116	115,622	161	159,367	206	202,828
117	116,597	162	160,336	207	203,791
118	117,572	163	161,305	208	204,753
119	118,547	164	162,273	209	205,716
120	119,522	165	163,242	210	206,678
121	120,497	166	164,210	211	207,640
122	121,471	167	165,178	212	208,602
123	122,445	168	166,146	213	209,564
124	123,420	169	167,114	214	210,525
125	124,394	170	168,082	215	211,487
126	125,368	171	169,050	216	212,448
127	126,341	172	170,017	217	213,409
128	127,315	173	170,984	218	214,370
129	128,289	174	171,952	219	215,331
130	129,262	175	172,919	220	216,292
131	130,235	176	173,886	221	217,253
132	131,208	177	174,852	222	218,213
133	132,181	178	175,819	223	219,173
134	133,154	179	176,786	224	220,134
135	134,126	180	177,752	225	221,093
136	135,099	181	178,718	226	222,053
137	136,071	182	179,684	227	223,013
138	137,044	183	180,650	228	223,973
139	138,016	184	181,616	229	224,932
140	138,988	185	182,582	230	225,892
141	139,960	186	183,547	231	226,851
142	140,931	187	184,513	232	227,810
143	141,903	188	185,478	233	228,769
144	142,874	189	186,443	234	229,728

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Q.	L.	Q.	L.	Q.	L.
235	230,687	277	270,824	319	310,715
236	231,645	278	271,777	320	311,662
237	232,604	279	272,730	321	312,609
238	233,562	280	273,682	322	313,555
239	234,520	281	274,634	323	314,501
240	235,478	282	275,586	324	315,448
241	236,436	283	276,538	325	316,394
242	237,393	284	277,490	326	317,339
243	238,351	285	278,442	327	318,285
244	239,308	286	279,393	328	319,231
245	240,266	287	280,345	329	320,176
246	241,223	288	281,296	330	321,122
247	242,180	289	282,247	331	322,067
248	243,137	290	283,198	332	323,012
249	244,093	291	284,149	333	323,957
250	245,050	292	285,099	334	324,902
251	246,006	293	286,050	335	325,847
252	246,963	294	287,000	336	326,791
253	247,919	295	287,950	337	327,736
254	248,875	296	288,901	338	328,680
255	249,831	297	289,851	339	329,624
256	250,786	298	290,800	340	330,568
257	251,742	299	291,750	341	331,512
258	252,697	300	292,700	342	332,455
259	253,653	301	293,649	343	333,399
260	254,608	302	294,599	344	334,342
261	255,563	303	295,548	345	335,286
262	256,518	304	296,497	346	336,229
263	257,473	305	297,446	347	337,172
264	258,427	306	298,394	348	338,115
265	259,382	307	299,343	349	339,057
266	260,336	308	300,291	350	340,000
267	261,290	309	301,240	351	340,942
268	262,244	310	302,188	352	341,885
269	263,198	311	303,136	353	342,827
270	264,152	312	304,084	354	343,769
271	265,106	313	305,032	355	344,711
272	266,059	314	305,979	356	345,652
273	267,012	315	306,927	357	346,594
274	267,966	316	307,874	358	347,535
275	268,919	317	308,821	359	348,476
276	269,872	318	309,768	360	349,418

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

57) Weingeistthermometer wird man für Messung höherer Wärmegrade, sobald es auf eine gröſsere Genauigkeit ankommt, nicht in Anwendung bringen, und es dürfte in dieser Beziehung räthlich seyn, sie nach einem richtigen Quecksilberthermometer im Wasserbade mit Anwendung gehöriger Vorsicht, insbesondere wegen ihrer gröſseren Unempfindlichkeit, von 10 zu 10 Graden empirisch zu graduiren. Sucht man hierbei nach genauer Bestimmung des Frostpunctes 10° C. über 0° möglichst scharf auszumitteln, was sich zugleich durch Vergleichung der zwischen diesen beiden Puncten liegenden Länge der Scale mit denen zwischen + 10° und + 20°, desgleichen zwischen + 20° und + 30°, allenfalls auch bis 40° und 50° controliren läſst, genaues Caliber vorausgesetzt, so kann man jene, 10 Graden über 0° zugehörige Länge als normales Intervall für je 10 Grade unter 0° ohne groſsen Fehler auftragen und danach die Scale theilen. Ein unübersteigliches Hindernis einer genügenden Correction der tieferen Kältegrade, so wünschenswerth diese auch seyn würde, liegt in der unbekannten Reinheit des angewandten Alkohols. Sollte diese aber bekannt seyn, oder wollte man Thermometer von Petroleum und Schwefelkohlenstoff einführen, so lieſsen sich die Scalen ohne Schwierigkeit richtig theilen oder bei gleichgetheilten die erforderlichen Correctionen mit sehr genäherter Genauigkeit aus denjenigen Gröſsen entnehmen, die für die Ausdehnung dieser Flüssigkeiten, namentlich von mir selbst[1], aufgefunden und berechnet worden sind.

G. Eigenthümliche Arten von Thermometern.

58) a. Bellani[2] hat einen der Beachtung allerdings werthen Apparat bekannt gemacht und *Thermobarometer* genannt, welcher jedoch schon im Jahre 1819 durch Jaubert in Dijon

1 S. meine mehrgenannten Abhandlungen S. 88. der deutschen und S. 84. der französischen. Fechner's Repertorium. Th. II. S. 441.

2 Brugnatelli Giornale di Fisica 1827. Sesto Bim. p. 455. Wiener Zeitschrift Th. IV. S. 228.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 91. erfunden und ausgeführt worden seyn soll[1]. Dasselbe ist nichts weiter als ein Barometer nach der von Gay-Lussac angegebenen Construction, wie man aus der Zeichnung ersieht, in welcher dasselbe als Barometer dargestellt ist. Der eine weitere Schenkel AE und der zweite DB des Heberbarometers sind durch eine engere Röhre EXB mit einander verbunden, und die an beiden angebrachten Scalen geben dann die barometrische absolute Länge der durch den Luftdruck getragenen Quecksilbersäule. Eine geringe Abänderung besteht blofs darin, dafs Gay-Lussac für sein Barometer zwar eine enge, aber nicht eigentlich eine Thermometerröhre verlangt, welche Bellani von X bis B, gerade in der Krümmung des Barometers, anbringt. Um dieses Werkzeug als Thermometer zu gebrauchen, darf man es nur umkehren und an seinem unteren Ende B aufhängen. Hiernach giebt der obere Schenkel des Barometers das Gefäfs für das Thermometer, an dessen enger Röhre die Thermometerscale angebracht ist. Das enge Rohr soll 2 bis 3 Millimeter weit seyn, dennoch aber enthält das grofse Gefäfs so viel Quecksilber, dafs es über den Siedepunct hinausgehn würde; es mufs daher blofs der Schmelzpunct des Eises unmittelbar bestimmt werden, die übrigen Grade der Scale aber soll man durch eine Vergleichung mit einem andern richtigen Thermometer finden. Es wird dann ferner als räthlich angegeben, das Instrument für gewöhnlich so aufzuhängen, dafs es als Thermometer wirkt, und man darf voraussetzen, dafs aus diesen Barometern, die nur durch ein sehr enges Löchelchen im Schenkel D mit der äufsern Luft communiciren, auch beim Tragen kein Quecksilber verloren geht. Im Ganzen ist das Instrument, welches als Barometer nicht zu den vollendetsten gehört, als Thermometer zu unbeholfen, macht dadurch die genaue Bestimmung des Nullpunctes und des Werthes der Scalentheile schwierig und ist wegen der Länge des Cylinders, gegen dessen innere Wandungen abwechselnd eine etwas lange Quecksilbersäule drückt, zu andern Zeiten aber die Torricelli'sche Leere jede Gegenwirkung gegen den äufsern Luftdruck entfernt, dem Einflusse dieses äufsern Luftdruckes allzusehr ausgesetzt.

Fig. 92.

59) b. Es läfst sich hier am füglichsten das *thermometrische*

---

1 Bibliothèque universelle. T. XL. p. 87.

Barometer (*thermometrical Barometer*) anreihen, welches Wollaston[1] angegeben hat und wovon bereits oben[2] die Rede war. Der Erfinder erwähnte selbst, dafs ein gleicher Vorschlag schon früher durch Fahrenheit[3] und durch Cavallo[4] bekannt gemacht worden sey, ein dritter von Achard[5] aber war ihm unbekannt. Sykes[6] meint wohl nicht mit Unrecht, dafs ein gewöhnliches, nur hinlänglich genaues und mit langer Scale versehenes Thermometer nebst einem Topfe mit Wasser ebendas leisten würde, was Wollaston's sehr zusammengesetzter Apparat mit Weingeistlampe und schützenden Wandungen von Kupfer zu leisten vermöge, und es scheint mir hiernach und aus andern Gründen, die sich aus dem Folgenden von selbst ergeben, überflüssig, denselben ausführlich zu beschreiben. Die für diesen Zweck zu verwendenden Thermometer müssen eine lange Scale haben, auf welcher jedoch nur der Siedepunct bei 30 engl. Z. Barometerstand genau bestimmt ist, und da zugleich die Länge einzelner Grade sehr grofs seyn soll, so müssen diese durch Vergleichung mit einem andern Thermometer empirisch gefunden werden, was für so hohe Temperaturen keine vorzügliche Genauigkeit verspricht. Wollaston bestimmte die Länge eines Fahrenheit'schen Grades auf diesem Thermometer zwischen 0,5 und 10 Z. engl., bediente sich aber eines solchen, wobei 1° F. eine Länge von 3,98 Z. ausmachte, welcher Raum dann in 100 Theile und durch einen Nonius in 1000 Theile getheilt war; die ganze Scale hatte nur 22 Z. Länge. Als das beste Verhältnifs empfiehlt er 1 Z. Länge für 1° F., was sich jedoch nicht füglich scharf erreichen läfst, auch nicht eben erforderlich ist. Wollaston verfolgte die Idee mit grofser Vorliebe und bediente sich verschiedener Thermometer von ungleicher Gröfse der Grade, auch legte er bei seinen für diesen Zweck berechneten Tabellen nicht stets dieselben Gröfsen zum Grunde. Unter andern berechnete er Tabellen, die zum Messen gröfserer

---

1 Philos. Trans. 1817. p. 183. Schweigger's Journ. T. XXIII. p. 261.

2 S. Art. *Höhenmessung, thermometrische.* Bd. V. S. 332.

3 Philos. Trans. T. XXXIII. N. 385. p. 179.

4 Ebend. T. LXXI. p. 524.

5 Sammlung physik. u. chem. Abhandl. Berlin 1784. N. 17.

6 Philos. Trans. 1835. Lond. and Edinb. Phil. Mag. N. XL. p. 311.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Höhen vermittelst dieses Apparates dienen sollten, und fand damit die Höhe des Snowdon = 3546,25 engl. F., also 9,2 F. niedriger, als die trigonometrische Messung, und die des Moel-Ellio = 2350 engl. F., also 20,5 engl. F. zu niedrig.

Die Bestimmungen der Höhen aus den gemessenen Siedepuncten des Wassers hängen von den Werthen ab, die man der Elasticität des Wasserdampfes bei verschiedenen Wärmegraden beilegt, und Wollaston blieb, vermuthlich in Folge der aus wirklichen Messungen erhaltenen Resultate, nicht stets bei den nämlichen Gröfsen stehn. Nach einer seiner Angaben gehn 0,598 engl. Z. Barometerhöhe auf 1° F. und also 233 Theile der nach der obigen Angabe getheilten Scale auf 0,97 engl. Zoll, wonach 1 Zoll Barometerhöhe mit 395 Theilen oder 1,643 Zoll des thermometrischen Barometers correspondiren. Die ganze Scale von 1000 Theilen begreift hiernach die Barometerveränderungen zwischen 28 und 30,6 engl. Zoll. Aufserdem bediente er sich noch einer andern Scale, namentlich einer, bei welcher 1° F. 552 Theilen oder 2,3 Zoll der Thermometerröhre zugehörte. Für diese Scale fand er, dafs 552 Theile derselben einem Höhenunterschiede von 530 Fufs correspondirten, und hiermit mafs er einige geringere Höhen mit hinlänglicher Genauigkeit. Vorzüglich legten Wollaston und Apjohn[1] die durch Ure gegebenen Bestimmungen der Elasticität des Wasserdampfes bei verschiedenen Temperaturen zum Grunde, wonach folgende Tabelle gemacht worden ist, die ich neben der oben[2] bereits gegebenen noch mittheile, um so mehr, als sie noch einfacher für die Anwendung ist.

---

1 Ann. of Philos. N. Sér. T. II. p. 292.
2 S. Art. *Höhenmessung* a. a. O.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Siede-punct	Barometer-höhe	Höhe für 1° F.
214	31,2395	
213	30,6149	526,320
212	30,0000	528,666
211	29,3948	531,006
210	28,7993	533,352
209	28,2133	535,692
208	27,6367	538,028
207	27,0695	540,378
206	26,5115	543,724
205	25,9627	545,064
204	25,4230	547,404
203	24,8923	549,750
202	24,3704	552,090

Wird dann jeder Grad in 20 Theile getheilt, so ist die Berechnung bei einer gegebenen Messung sehr leicht. Es sey z. B. auf der einen Station der Siedepunct des Wassers bei $211\frac{17}{20}$, auf der andern bei $209\frac{13}{20}$ gefunden, so ist die gesuchte Höhe

$\frac{17}{20} \times 531{,}006 + 533{,}352 + \frac{7}{20} \times 535{,}692 = 1170{,}199$ engl. Fuſs,

welche Höhe dann noch wegen der Temperatur der Luft corrigirt werden muſs.

Der Reiz der Neuheit und der berühmte Name des Erfinders mögen veranlaſst haben, daſs man dem Apparate eine ungewöhnliche Aufmerksamkeit schenkte, denn die bekannte Schwierigkeit, den Siedepunct des Wassers in ungleichen Gefäſsen zu bestimmen, da man sich doch nicht wohl eines in dieser Hinsicht vorher geprüften bedienen und auch dieses sich mit der Zeit in dieser Beziehung ändern kann, so wie die oben erwähnte Unsicherheit in der Bestimmung des Einflusses, welchen die Barometerhöhe auf die Lage des Siedepunctes am Thermometer ausübt, muſsten die Genauigkeit dieser Methode der Höhenmessung sehr zweifelhaft machen. Einige Experimentatoren wollten daher zwar richtige Resultate mit diesem Apparate erhalten haben, andere aber gestanden unverhohlen die groſsen gefundenen Fehler. Namentlich erhielt Murray[1] auf

1 Annals of Philos. T. XII. p. 469.

dem Simplon die gemessene Höhe 577 Fuſs zu hoch[1], und auch Arjohn[2], welcher übrigens den Apparat sehr preist und ihn sogar dem Barometer vorzieht, so wenig dieses auch bei einem nur supplirenden und indirect messenden Werkzeuge der Natur der Sache nach möglich seyn kann, erhielt zwar in zwei Versuchen sehr genaue Resultate, gesteht aber doch, daſs er der angewandten groſsen Sorgfalt ungeachtet in zwei andern Fällen bei Bergen von 2000 und 2400 Fuſs Höhe Fehler von 122 und 267 Fuſs, jenes zu viel und dieses zu wenig, erhalten habe. Ein sehr günstiges Urtheil über diese Methode des Messens fällt dagegen Gintl[3] und belegt dieses zugleich mit eigenen Erfahrungen, die jedoch die entgegenstehenden Argumente nicht wohl beseitigen können. Derselbe giebt eine ausführliche Tabelle der Siedehitze für Hundertstel Grade C. von 100° bis 90° C., nebst den zugehörigen Barometerhöhen in Millimetern, die ich jedoch hier mitzutheilen nicht angemessen finde.

60) c. *Selbstregistrirende Thermometer* füllen eine wesentliche Lücke aus, denn man kann nicht stets zugegen seyn, wenn man die statt findende Temperatur zu wissen verlangt, und dennoch wäre es sehr wünschenswerth, den täglichen Gang der Temperatur mit Bestimmung ihrer wechselnden Gröſse und der jedesmaligen Zeitdauer genau zu kennen. Es sind daher verschiedene Vorschläge zur Erreichung dieses Zweckes gemacht worden, die meisten beschränken sich jedoch auf die Angabe der während einer gewissen Zeitdauer statt gefundenen oder an gegebenen Orten herrschenden Temperaturextreme und werden dann auch *Maximum*- und *Minimumthermometer* genannt. Eins der ältesten, aber noch stets am gangbarsten ist Rutherford's[4] *Thermometrograph.* Dieser besteht aus zwei horizontal auf einer Scale befestigten Thermometern, einem

Fig. 93.

1 Vermuthlich werden die Fehler meistens dahin ausfallen, daſs man die Höhen zu groſs findet. Es scheint, als ob das Wasser insbesondere auf hohen Bergen wegen der herrschenden Trockenheit und des selten fehlenden frischen Luftzuges leichter siedet, als in niedriger liegenden Ebenen. So wollte auch G. G. Schmidt nach einer mir mitgetheilten Nachricht gefunden haben.

2 Annals of Philos. N. Ser. T. II. p. 296.

3 Das Höhenmessen mit dem Thermometer. Wien 1835.

4 Edinburgh Philos. Trans. T. III. 1794. G. XVII. 320.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mit Quecksilber und einem mit Weingeist gefüllten. Nach der ursprünglichen Angabe des Erfinders befindet sich in der Röhre eines jeden dieser Thermometer ein kleiner Cylinder mit aufsitzendem Konus von Elfenbein, welcher im Weingeistthermometer die Spitze nach der Kugel, im Quecksilberthermometer nach dem Ende der Röhre hingerichtet hat. Jetzt macht man sie allgemein so, dafs in die Röhre des Weingeistthermometers ein etwa 6 Lin. langes und sehr feines Glasstängelchen mit einem schwarzen Knöpfchen am einen Ende gebracht wird, welches der Weingeist beim Sinken des Thermometers in Folge der Adhäsion zurückzieht, beim Steigen aber liegen läfst, so dafs das Knöpfchen auf der Scale den tiefsten während der Zeitdauer statt gefundenen Thermometerstand angiebt und dieses also als *Minimumthermometer* dient. Im andern Thermometer liegt vor dem Quecksilber ein kleiner, etwa 2 Lin. langer Stahlstift, welchen dieses bei seiner Ausdehnung vor sich hin treibt, beim Rückgehn des Quecksilberfadens aber liegen läfst; das Ende des Stiftes bezeichnet daher den statt gefundenen höchsten Stand und man hat sonach ein *Maximumthermometer*. Die in der Zeichnung ausgedrückte Construction des Instrumentes ist diejenige, welche ihm Greiner jun. in Berlin giebt. Die Glastafel, auf welcher die beiden Thermometer horizontal liegend befestigt sind und worauf sich zugleich die geätzte Scale befindet, ist in einen messingnen Rahmen gefafst und wird durch den gebogenen Messingstreifen B C getragen, dessen unterer, etwas breiterer Lappen am Fensterrahmen oder an einer eigens hergerichteten hölzernen Stange mit zwei Schrauben festgeschraubt wird, um die Grade der auswärts vom Fenster, am besten etwa einen Fufs weit abstehenden Scale durch die Fensterscheibe abzulesen. Der messingne Rahmen ist vermittelst eines Lappens in einem Scharniere des Trägers B so beweglich, dafs man zu einer bestimmten Tagszeit die Scale aus der horizontalen Lage in eine verticale bringt; dadurch sinken beide Stäbchen, das eine bis ans Ende des Weingeistfadens, das andere bis auf das des Quecksilberfadens herab, und nachdem sie dann ohne Erschütterung wieder in die horizontale Lage gebracht worden ist, schraubt man sie durch eine Klemmschraube fest. Auf diese Weise erhält man das während der verflossenen 24 Stunden statt gefundene Maximum und Minimum der Temperatur. Beim

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gebrauche habe ich dieses Instrument allezeit vortrefflich gefunden, auch ist gewifs sehr zweckmäfsig, dafs das Minimum durch Weingeist, das Maximum durch Quecksilber gemessen wird; Herschel[1] giebt jedoch, ohne Anzeige der Gründe, dem Sixthermometer den Vorzug.

61) Blackadder[2] hat sich vorzugsweise bemüht, selbstregistrirende meteorologische Werkzeuge auszudenken, und unter diesen auch ein Thermometer, welches er für einfach und leicht zu manipuliren ausgiebt, dem diese Eigenschaften aber auf keine Weise zukommen. Zwei Thermometer mit Fahrenheit'scher Scale sind auf einem gemeinschaftlichen Brete befestigt, das eine a ein gewöhnliches, das andere b soll oben offen und mit seinem oberen Ende vermittelst eines durchsichtigen Kittes in eine weitere Röhre mit einer Kugel c, worin sich etwas Quecksilber befindet, festgesteckt seyn, so dafs das Ende genau bis in die Kugel reicht. Das so verfertigte Instrument soll man vertical richten und dann die Kugel b erwärmen, bis das Quecksilber im Röhrchen aufsteigt und sich mit dem in der Kugel c verbindet, worauf man es bis zur äufseren Temperatur erkalten läfst. Legt man dasselbe horizontal, so fällt das Quecksilber in die Kugel c herab, das Röhrchen ist aber ganz gefüllt. Dann sollen beide Kugeln b und a mittelst einer kaltmachenden Flüssigkeit, als Aether, Alkohol u. s. w., abgekühlt werden, wodurch beide Thermometer um gleich viele Grade sinken und somit vergleichbar werden. Sobald sich das Quecksilber durch Wärme ausdehnt, fliefst ein Theil in die Kugel c, und ist dann ein Uhrwerk angebracht, welches das Thermometer in eine schräge Lage bringt, damit kein Quecksilber mehr ausfliefst und keins aus der Kugel c hinzukommt, so giebt die Vergleichung beider Thermometer die zur Zeit dieser Einstellung statt gefundene Temperatur, was weiter zu beschreiben überflüssig seyn würde, da eine wirkliche Anwendung desselben nicht zu erwarten steht.

Fig. 94.

62) Das in England am meisten gebräuchliche und am höchsten geachtete selbstregistrirende Thermometer, dessen man

---

1 Encyclopaedia Metropolitana. Art. *Heat*. p. 233.

2 Edinbourgh Journ. of Science. N. VI. p. 251. N. IX. p. 92. Wiener Zeitschr. Th. II. S. 78. Poggendorff Ann. VII. 244.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

sich auch zum Messen der Temperaturen in den verschiedenen Tiefen des Meeres bedient, ist das von Six[1] in Vorschlag gebrachte und nach ihm *Sixthermometer* genannte. Es ist dieses ein Weingeistthermometer mit einem langen und weiten Cylinder *aa*, um welchen das Thermometerrohr zweimal gebogen, am zugeblasenen Ende aber mit einer kleinen Kugel *β* zur Aufnahme des sich etwa stärker ausdehnenden Weingeistes versehn ist. Der Weingeistfaden im Thermometerrohre ist durch einen Quecksilberfaden a′a unterbrochen, welcher bei mittlerer Temperatur den heberförmig gebogenen Theil der Thermometerröhre ungefähr zu gleichen Längen ausfüllt und von dem Weingeistfaden bei steigender Wärme vorwärts geschoben, bei abnehmender aber zurückgezogen wird. Vor dem Quecksilberfaden liegen in vergröfsertem Mafsstabe hier dargestellte kleine Stifte von Stahl oder Eisen m l mit sehr feinen federnden Glasfädchen n o, welche die Stifte hindern sollen, durch ihr eigenes Gewicht oder durch unvermeidliche Erschütterungen in dem Rohre hinzugleiten, und man bedient sich dann eines Magnetes, um sie wieder mit den Enden des Quecksilberfadens in Berührung zu bringen. Es ergiebt sich von selbst, dafs der Quecksilberfaden bei seiner Bewegung nach der einen oder andern Seite diese Stiftchen vor sich her schiebt, die aber im Weingeistfaden liegen bleiben, wenn das Quecksilber sich wieder zurückzieht, und wenn daher die Röhre auf einem Bretchen befestigt und auf diesem die Thermometerscale aufgezeichnet ist, so giebt das eine Ende m′ des Stiftchens m′ l′ die höchste, das andere m des Stiftchens m l die niedrigste während der vergangenen Zeit statt gefundene Temperatur an. Die kleinen federnden Fädchen machen die Construction des Apparates schwierig und die Dauer ihrer geeigneten, nicht zu grofsen und nicht zu geringen, Federkraft erzeugen eine Unsicherheit bei seinem Gebrauche[2], sind aber wegen unvermeidlicher Schwankungen beim Messen der Temperatur in den verschiedenen Meerestiefen unvermeidlich; will man sich aber desselben blofs zum Messen der Extreme der Lufttemperatur bedienen, so genügen

Fig. 95.

Fig. 96.

---

1 Philos. Trans. for 1782. T. LXXII. p. 72. Vergl. Lemaistres in Journ. de Phys. T. V. p. 150. G. II. 287.

2 Vergl. Art. *Meer*. Bd. VI. S. 1671.

blofse Stahlstiftchen; man stellt, wie beim Rutherford'schen Thermometer, zu einer bestimmten Tageszeit die Scale vertical, so dafs beide Stiftchen bis zur Berührung des Quecksilberfadens herabgleiten, bringt sie dann wieder in die ursprüngliche Lage und erhält nach Verlauf der gewählten Zeit durch die Lage der beiden Enden m′ und m der beiden Stiftchen das statt gefundene Maximum und Minimum der Temperatur.

63) Man macht dem Rutherford'schen Thermometrographen den Vorwurf, dafs seine Thermometer mit zwei ungleichen Flüssigkeiten gefüllt sind[1] und dafs sie daher sorgfältig construirt oder durch Rechnung auf einander reducirt werden müssen. Dieses ist jedoch ungegründet, denn Genauigkeit der Construction ist nothwendige Bedingung bei der Verfertigung jedes Thermometers, und da die Thermometer ohne Rücksicht auf die absolute Ausdehnung der enthaltenen Flüssigkeit empirisch graduirt werden, so ist entweder die eine der beiden Flüssigkeiten thermoskopisch unbrauchbar, und sie dürfte dann gar nicht angewandt werden, oder beide Flüssigkeiten sind brauchbar, die Thermometer werden übereinstimmen und der Einwurf fällt von selbst weg. Dem Quecksilber kann unmöglich der Vorwurf der thermometrischen Unbrauchbarkeit gemacht werden, und da der Weingeist sich zum Messen tiefer Kältegrade vorzüglich eignet, in diesem Falle aber blofs zum Minimumthermometer gebraucht wird, so liegt in der Anwendung beider Flüssigkeiten, der einen blofs für das Maximum, der anderen blofs für das Minimum, wozu beide gerade vorzugsweise geeignet sind, eher ein Vorzug, als ein Nachtheil dieses Apparates. Gegen das Sixthermometer wendet man mit Recht ein, dafs die Federn sehr leicht Veränderungen ihres Widerstandes unterworfen sind und daher den Gebrauch erschweren, nicht selten unmöglich machen. Inzwischen hat Traill[2] das Letztere durch Weglassen der kleinen Federn und durch Vermeidung der doppelten Umbiegung des Röhr-

---

1 Edinb. New Phil. Journ. N. XLIV. p. 316.

2 Library of useful Knowledge cet. Part. I. II. Lond. 1828. Thermometer and Pyrometer. Part. II. p. 39. Ich gebe hier die nachher von ihm verbesserten Zeichnungen, die er selbst mir mitgetheilt hat.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chens verbessert, wobei jedoch die Bedingung bleibt, dasselbe in einer horizontalen Lage zu erhalten und die Stäbchen durch einen Magnet wieder mit den Enden des Quecksilberfadens in Berührung zu bringen. Nach der anfänglichen Construction befindet sich der Weingeistbehälter m n des Instrumentes unten und ist am Ende umgebogen, die Röhre läuft mit ihr parallel und ist auf einem geeigneten Bretchen in horizontaler Lage befestigt. In der Mitte der Röhre bei mittlerer Temperatur befindet sich der Quecksilberfaden $\alpha\beta$, welcher durch den Weingeistfaden vorwärts und rückwärts geschoben wird und die Stahlstiftchen a b, a′b′ vor sich hin schiebt, beim Rückgange aber an der Stelle des Maximums und Minimums liegen läfst, die dann nach Verlauf der gehörigen Zeit vermittelst eines Magnets mit den Enden des Quecksilberfadens wieder zur Berührung gebracht werden. Auf beiden Seiten der Röhre befinden sich die Scalen nach Fahrenheit, welche dem einen und dem andern dieser Stiftchen zugehören, deren Umfang sich jedoch nur von 0° bis 100° dieser Eintheilung erstreckt. Die zweite Construction dürfte unter allen dreien entschieden den Vorzug haben. Hierbei ist das Gefäfs m n, der Quecksilberfaden $\alpha\beta$, jeder der Stifte a b und a′b′ von selbst klar, sehr zweckmäfsig ist aber die Röhre in der Mitte herabwärts gekrümmt, wodurch der Quecksilberfaden mehr zusammengehalten, zugleich aber gehindert wird, dafs er sich nicht trennt und Schichten von Weingeist zwischen sich aufnimmt, was sonst wohl zu geschehn pflegt und gänzliche Unbrauchbarkeit des Apparates nach sich zieht. Nach der dritten Construction, worin die gleichen Theile dieselbe Bezeichnung haben, ist die Röhre in der Mitte herabwärts gebogen, beide Schenkel sind geneigt und der Quecksilberfaden befindet sich ursprünglich bei mittlerer Temperatur an der tiefsten Stelle der Röhre. Die Neigung darf nicht zu stark seyn, dafs die Stahlstiftchen beim Rückgange des Quecksilberfadens herabgleiten, was jedoch wegen des Gewichtes, womit sie aufliegen, ungeachtet ihrer immerhin merklichen Adhäsion an den Weingeist nicht zu fürchten ist, doch dürfte es möglich seyn, bei dieser Construction beide Stiftchen durch Erschütterung des Bretchens wieder mit den Enden des Quecksilberfadens, ohne die beschwerlichere Anwendung eines Magnetes, zur Berührung zu bringen. Bei allen drei Apparaten dient die Kugel k

Fig. 97.

Fig. 98.

Fig. 99.

am Ende der Röhre zur Aufnahme des etwa zu stark ausgedehnten Weingeistes; übrigens versteht sich von selbst, dafs solche Thermometer nicht luftleer seyn dürfen, auch nicht so hergestellt werden können.

64) Die ersten selbstregistrirenden Thermometer sind höchst wahrscheinlich durch Lord Cavendish[1] in Vorschlag gebracht worden, und zwar ein eigenes für die Bestimmung des Maximums und ein anderes für das Minimum, deren Beschreibung, obwohl sie aufser Gebrauch gekommen sind, hier nicht fehlen darf. Sein Maximumthermometer ist ein gewöhnliches mit Quecksilber gefülltes, wobei das Ende b des Quecksilberfadens auf bekannte Weise die Temperatur angiebt. Die Röhre ist oben in eine feine Spitze ausgezogen und diese in eine Kugel e e eingekittet. Ueber dem Quecksilberfaden befindet sich Weingeist, womit das Röhrchen ganz angefüllt ist, um bei Verminderung der Temperatur das Quecksilber im Gefäfse e e in die Spitze zu treiben, indem man dasselbe umkehrt und erwärmt, bis das Quecksilber die oberste Spitze erreicht, sich mit dem in der Kugel befindlichen verbindet, und nach dem Erkalten das Röhrchen ganz oder so weit, als es für die Beobachtung des zu erwartenden Maximums erforderlich ist, anfüllt. Steigt dann die Wärme, so läuft dasselbe aus der Spitze des Röhrchens in die Kugel e e, der Rest aber geht nach Verminderung der Temperatur wieder zurück. Wenn man demnächst beim Nachsehn weifs, wie hoch b steigen müfste, bis dieses Ende des Quecksilberfadens die Spitze des Röhrchens erreichen würde, so ist hierdurch die Höhe von b oder derjenige Thermometergrad gegeben, welcher beim Maximum statt fand. Eine andere Construction leistet dasselbe, und die Füllung des Gefäfses theils mit Weingeist theils mit Quecksilber ist blofs deswegen gewählt, um das Instrument etwas leichter zu machen. Es führte dieses dann eine Correction herbei, die Cavendish wegen der ungleichen Ausdehnung beider Flüssigkeiten für nöthig erachtete, die ich aber

Fig. 100.

Fig. 101.

---

1 Philos. Trans. for 1757. p. 300. Abridgement T. XI. p. 138. Aeltere Vorschläge, z. B. von Joh. Bernoulli im Briefe an Leibnitz, s. Commercium Phil. et Math., und von Kraft, dessen van Swinden in Comparaison des Thermomètres gedenkt, sind zu wenig bestimmt, als dafs sich über ihre Brauchbarkeit urtheilen liefse.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hier übergehe, weil das Instrument schon durch zweckmäfsigere verdrängt worden ist. Das Minimumthermometer besteht aus einem weiten Cylinder a, einer Kugel d, beide mit Weingeist gefüllt, und einer Röhre, worin der Quecksilberfaden b c enthalten ist, über welchem noch ein Theil Weingeist sich befindet. Das oben erweiterte Ende der Röhre ist zugeschmolzen. Soll das Thermometer gebraucht werden, so läfst man aus der Kugel d durch Neigung Quecksilber in das enge Rohr herabfliefsen, bis das Ende des Quecksilberfadens b an die Mündung f der Kugel reicht. Vermittelst des andern Endes c des Quecksilberfadens wird auf der daselbst befindlichen Scale die Temperatur gemessen. Wenn diese dann sinkt, so fliefst von dem Quecksilber ein Theil in die Kugel, ohne zurückzukehren, und vermittelst einer neben dem Schenkel b angebrachten Scale mifst man später, um wie viele Grade das Thermometer zur Zeit des Minimums tiefer stand, als bei der Beobachtung. Damit endlich nicht zu grofse Tropfen Quecksilber in die Kugel fallen und die Messung feiner wird, ist im Innern bei f ein kleines Glasstängelchen angebracht, welches das Quecksilber nur in kleinen Quantitäten in die Kugel fallen läfst. Nach einer andern einfacheren Construction fällt das Quecksilber bei f in den Cylinder a, der Zweck der Kugel d ist mir dabei jedoch nicht klar. Fig. 102. Fig. 103.

65) Auf das nämliche Princip ist ein selbstregistrirendes Thermometer gegründet, welches Gay-Lussac[1] hauptsächlich zum Messen der Temperatur in tiefen Seeen in Vorschlag gebracht hat. A ist eine Glaskugel mit einer Röhre, deren Oeffnung nicht gröfser seyn darf, als etwa die Dicke einer feinen Stecknadel. Diese Kugel ist mit Salzwasser oder irgend einer sonstigen geeigneten Flüssigkeit gefüllt. C D ist eine beträchtlich weite Glasröhre, mit ihrem unteren Theile F D um die Röhre B H gekittet und von F bis C mit Quecksilber gefüllt, welches durch die enge Oeffnung im Röhrchen B nicht in die Kugel dringen kann; sobald aber die Temperatur sinkt und die in der Kugel enthaltene Flüssigkeit sich zusammenzieht, prefst der äufsere Druck einen Theil Quecksilber in die Kugel, welches sich auf dem Boden derselben ansammelt, und dieses wird so lange fortdauern, bis die Tem- Fig. 104.

1 Ann. de Chim. et Phys. T. III. p. 91. 117.

peratur ihr Minimum erreicht hat. Man gieſst dann das Quecksilber aus der Röhre DC, bringt die Spitze B in eine verticale Richtung nach unten, treibt durch Erwärmung der Kugel das Quecksilber aus derselben und miſst die Menge in einer eigenen Meſsröhre, auf welcher die Grade gezeichnet sind, die angeben, um wie viel die Temperatur unter die beim Anfange des Versuches statt gefundene herabgegangen seyn muſs, damit die gemessene Quantität Quecksilber in die Kugel eindrang. Das Verhältniſs der eingedrungenen Menge Quecksilber zu den Temperaturen, bis zu welcher die Flüssigkeit in der Kugel erkaltete, wird empirisch gefunden, indem man den gefüllten Apparat von einer bestimmten Wärme auf eine andere bestimmte niedrigere bringt, dann die Menge des eingedrungenen Quecksilbers mit der Röhre G miſst und hiernach die Grade aufträgt. Der übrigen Schwierigkeiten nicht zu gedenken übersieht man bald, daſs bei jedem Steigen der Wärme während der Dauer des Versuches Salzwasser aus der Spitze dringen und beim Sinken Quecksilber hineingetrieben werden muſs, dessen Menge dann eine ungleich tiefere, als die wirklich statt gefundene Temperatur angeben würde.

Fig. 105.

66) Ein diesem ähnliches, aber ein Maximumthermometer, hat King[1] in Vorschlag gebracht. Dasselbe besteht aus einem mit Quecksilber gefüllten Thermometer A auf einer Scale, welche die gewählten Grade enthält. Die Röhre ist oben gebogen, bildet nach der Biegung bei F einen zweiten, mit dem ersten parallel herabgehenden Schenkel B, welcher in eine zweite Kugel H endigt. Zum besseren Verständniſs ist diese besonders in etwas vergröſsertem Maſsstabe gezeichnet. Da, wo der Quecksilberfaden im Röhrchen A endigt, beginnt ein Faden gefärbten Weingeists, welcher bis an die feine Spitze C reicht. In der sie umgebenden, gänzlich verschlossenen Kugel H befindet sich Quecksilber bis etwa zur Linie D, über diesem bis E wieder gefärbter Weingeist und darüber Luft. Steigt das Thermometer in Folge zunehmender Wärme, so dringt Weingeist aus der Spitze C, steigt über das Quecksilber, und dieses dauert so lange, bis das Maximum der Temperatur erreicht worden ist; wenn diese dann wieder sinkt, so

Fig. 106. Fig. 107.

1 Edinburgh Journ. of Science. N. XVII. p. 113. Vergl. N. XVIII. p. 300. Wiener Zeitschrift Th. V. S. 104.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

drückt die Luft Quecksilber in die Spitze C, und man darf nur die Grade, welche dieser Quecksilberfaden unten im Schenkel B zeigt, zu denen hinzuaddiren, die durch die Scale A angegeben werden, um die Gröfse der während der verflossenen Zeit statt gefundenen höchsten Temperatur zu wissen. Für eine abermalige Messung wird die Kugel G erwärmt, bis alles Quecksilber aus der Spitze C ausgeflossen ist, worauf man das Instrument in eine geneigte Lage bringt, damit das Quecksilber in der Kugel zur Seite herabsinkt und die Spitze C mit dem Weingeiste so lange in Berührung bleibt, bis die äufsere Temperatur wieder hergestellt ist. Eine noch einfachere vorgeschlagene Construction ist folgende. Zwei Thermometer sind auf der nämlichen Scale befestigt, das eine mit der Kugel A und einer der Symmetrie wegen gewählten obern F ist ein gewöhnliches Quecksilberthermometer, das andere mit der Kugel G und einer oberen D ist ganz mit Quecksilber gefüllt, und eine neben dem Röhrchen B befindliche Scale giebt von oben herabwärts gezählte, den auf der Scale des ersten Thermometers gezeichneten gleiche Grade an. Zur gröfseren Deutlichkeit ist die obere Kugel D in vergröfsertem Mafsstabe besonders gezeichnet worden. Die Scale des zweiten Thermometers zeigt 0°, wenn das Quecksilber bis an die Spitze C reicht, und beim Steigen der Temperatur wird ein angemessener Theil desselben aus der Spitze C in die, bis etwa zur punctirten Linie D mit ebendieser Flüssigkeit gefüllte, Kugel ausfliefsen. Zieht sich nach statt gefundenem Maximum der Wärme das Quecksilber im Thermometer GB wieder zusammen, so bleibt das obere Ende der Röhre B um eine dieser verminderten Temperatur proportionale Menge von Graden leer, und man darf diese nur zu denjenigen addiren, die das Thermometer A zur Zeit der Beobachtung zeigt, um das statt gefundene Maximum zu erhalten. Grofse Genauigkeit ist auf diese Weise nicht zu erwarten, doch scheint die letztere Einrichtung die beste zu seyn; im Ganzen ist bei dem Apparate wohl am merkwürdigsten, dafs er zu Sidney auf Neu-Südwallis 1827 erfunden wurde.

Fig. 108.

Fig. 109.

67) In England, wo so viele begüterte Privaten sich mit der Aufzeichnung meteorologischer Beobachtungen beschäftigen, ist man am meisten darauf bedacht gewesen, selbstregi-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

strirende Thermometer zu verfertigen. Auch Keith[1] hat ein solches in Vorschlag gebracht, dessen Construction aus der Zeichnung leicht zu erkennen ist. Die lange und weite Röhre AB ist mit Weingeist gefüllt, die engere angeschmolzene BED mit Quecksilber, auf welchem bei E ein Stückchen Eisen schwimmt. Dieses letztere ist mit einem Drahte versehn, welcher verlängert und oben umgebogen mit einer Oeffnung durch einen andern, am obern Theile der Röhre befestigten Draht GK in lothrechter Stellung erhalten wird. Auf letzterem sind kleine Stückchen Wachstaffent l, l aufgesteckt, die sich zwar leicht auf demselben auf und nieder schieben lassen, doch aber Reibung genug haben, um bei ihrem geringen Gewichte nicht herabzugleiten. Wenn also das Quecksilber bei E durch gröfsere Ausdehnung beider Flüssigkeiten im Thermometer steigt oder bei abnehmender Temperatur sinkt, so wird das Gewicht E gehoben oder es sinkt herab und das obere umgebogene Ende des Drahtes H verschiebt die kleinen Stückchen Wachstaffent, die somit auf der höchsten und tiefsten Stelle sitzen bleiben und also das Maximum und das Minimum der statt gefundenen Temperatur auf der aus Messing oder Elfenbein verfertigten Scale DF angeben. Der Vorschlag wird dahin erweitert, die Röhre AB sehr weit und 40 engl. Zoll lang zu wählen, dann ein Uhrwerk anzubringen, welches einen mit Papier überklebten hölzernen Cylinder während eines Monates einmal um seine Axe dreht, damit ein Bleistift an der Spitze H den Stand des Thermometers aufschreibt. Gilbert wendet gegen diesen Apparat ein, dafs er nur eine Regulirung nach einem andern Thermometer zulasse und einem Einflusse der Ausdehnung des Schwimmers und seines Drahtes durch Wärme ausgesetzt sey, allein Beides ist nicht sehr bedeutend und Letzteres würde sich durch empirische Graduirung genügend beseitigen lassen; wichtiger dagegen ist, dafs die seidenen Marken leicht in Unordnung kommen können und durch ihren Widerstand nothwendig Unrichtigkeiten erzeugen müssen. Entschieden gebührt daher der Vorzug dem Thermometrographen von Chrichton[2], welchen ich selbst längere Zeit ge-

Fig. 110.

1 Edinburgh Phil. Trans. T. IV. Daraus in Nicholson's Journ. T. III. p. 266. und in G. XVII. 319.

2 Tilloch's Philos. Mag. 1803. Mars. Van Mons in Journ. de Chim. et Phys. T. V. p. 32.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

prüft und in seinem Gange überraschend genau gefunden habe. Da das thermoskopische Mittel bei demselben Metall ist, so könnte er auch den Metallthermometern beigezählt werden. Die Zeichnung stellt das Instrument von vorn betrachtet dar. A ist eine Metallstange, welche aus einem Streifen Stahl D E und einem Streifen Zink B C, jeder etwa 0,5 Lin. dick und 2 Lin. breit, besteht, beide auf einander gelöthet. Diese Doppelstange ist in dem messingnen Träger I unbeweglich befestigt und mit diesem auf dem Messingbleche a b c d so festgeschraubt, dafs sie etwa 0,5 Lin. davon absteht. Das obere Ende der Stange ist mit einem Hebelarme versehn, welcher vermittelst eines feinen, um eine Rolle geschlungenen und durch eine Spiralfeder gespannten Drahtes diese Rolle umdreht und damit zugleich den stählernen, mit einem hervorragenden Stiftchen versehenen Hauptzeiger L M um seine Axe bei G dreht, oder die Umdrehung erfolgt, wie in der Zeichnung dargestellt ist, durch unmittelbares Eingreifen eines Stiftes in den kürzeren Hebelarm des Hauptzeigers. Ueber diesem liegen die beiden sehr feinen Zeiger, welche zusammengelegt mit ihren Spitzen sich genau über der Spitze des Hauptzeigers vereinigen, auf dem Zapfen G aber, jeder für sich, durch Reibung festsitzen, und daher an jedem Orte feststehn, bis sie durch den Hauptzeiger vermittelst des Stiftes H fortgeschoben werden, nach dem Rückgange des Hauptzeigers aber an der ihnen gegebenen Stelle stehn bleiben. Die drei Zeiger geben also gleichzeitig die bestehende Temperatur und die seit dem Zusammenlegen derselben statt gefundene höchste und niedrigste an. Der Siedepunct des Wassers ist bei demselben nicht erforderlich, da es nur zu meteorologischen Beobachtungen dienen soll und man durch Verkürzung der Scale gröfsere Grade auf derselben erhält, den Frostpunct kann man aber bei ihm unmittelbar bestimmen, und aufserdem hat es den Vorzug einer grofsen Empfindlichkeit in Folge der geringen Wärmecapacität der dazu verwandten Metalle und der gleichförmigen Ausdehnung derselben innerhalb der Grenzen der dadurch zu messenden Temperaturen; denn man begreift bald, dafs die beiden vereinten Metallbleche sich durch Wärme ungleich ausdehnen, wodurch die ganze Stange sich nach der einen oder andern Seite hin krümmt und daher das obere Ende derselben bei feststehendem unteren sich vor der Scale

Fig. 111.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

hin und her bewegt, worauf der Gang der Zeiger beruht. Die geringe Ausdehnung der Metalle ist allerdings nicht zu übersehn, allein man kann die Stange hinlänglich lang und die ungleichen Längen beider Arme des Hauptzeigers so wählen, dafs die durchlaufenen Grade eine genügende Gröfse haben, um so mehr, als alle einzelne Theile sehr fest in einander greifen dürfen.

68) Wir können hier das durch v. Arnim[1] vorgeschlagene selbstregistrirende Thermometer anreihen, welches niemals praktisch ausgeführt worden zu seyn scheint, weil es in der Ausführung allzu grofse Schwierigkeiten darbieten dürfte. Fig. 112. Ein gewöhnliches Quecksilberthermometer mit dicker Kugel a liegt auf einer messingnen Leiste fest, welche wie ein Waagebalken mit einer Messerscheide e in der Vertiefung c einer verticalen Säule genau balancirt ist. Geht die Temperatur tiefer herab, so tritt mehr Quecksilber in die Kugel, welche dadurch schwerer, die Röhre dagegen leichter wird. Am Ende der letzteren befindet sich eine stählerne Spitze mit einem Schraubengewinde, auf welcher das zum Balanciren dienende kleine Gegengewicht d hin und zurück geschraubt werden kann. Ist die höchste Temperatur bekannt, bis zu welcher das Thermometer erhitzt werden wird, so erwärme man es bis dahin, und balancire es durch Verschiebung des Gegengewichts so, dafs es in horizontaler Lage ruht. So wie es kälter wird, sinkt die Kugel herab, die Spitze steigt in die Höhe, und wenn man weifs, wie viele Grade dieses ausmacht, so trägt man diese auf die Scale i k auf. Neben der Scale läuft der gläserne, mit Rauch geschwärzte Glasstreifen l m h, auf welchem ein kleines federndes Härchen am Stifte d hinstreift und die Stelle bezeichnet, bis wohin das Ende des Röhrchens aufgestiegen ist. Wird das Thermometer bei einer mittlern Temperatur eingestellt, so zeigt der Strich, welchen das Härchen auf dem mit dem Rauch von brennendem Kienholz oder sonst geschwärzten Glasstreifen zeichnet, die höchste und die tiefste statt gefundene Temperatur, will man aber den Wechsel der Temperatur vollständig aufgezeichnet haben, so wird die Scheibe n o p, welche auf der einen Seite ganz geschwärzt ist, durch ein Uhrwerk umgedreht, und liefert dann eine fortlau-

1 G. II. 289.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fende Zeichnung der statt gefundenen Temperaturunterschiede und ihrer Dauer. Man übersieht bald, dafs dieser auf jeden Fall theure Thermometrograph manchen Einflüssen der Luftbewegung, auffallenden Staubes, sich ansetzender Feuchtigkeit, die unter Umständen zu Eis gefrieren würde, selbst der Insecten, die sich darauf niederlassen könnten, und auf jeden Fall der ungleichen Reibung ausgesetzt seyn würde. Verlangt man nicht gerade die zu jeder bestimmten Zeit statt gefundene Temperatur zu kennen, sondern blofs die mittlere tägliche, so giebt hierzu eine negativ compensirte Uhr ein sinnreich ausgedachtes Mittel. Eine Uhr ohne Compensation haben Grassmann[1] und Brewster[2] in Vorschlag gebracht, erst neuerdings ist aber diese Idee durch Jürgensen[3] in der Art wirklich ausgeführt worden, dafs der beabsichtigte Zweck durch eine negativ compensirte Uhr noch vollständiger erreicht wurde. Statt des Ringes der Unruhe bei den Taschenuhren hat man bereits ein Kreuz mit vier getrennten Bogen aus zwei Metallen gewählt, deren ungleiche Ausdehnung das Oscillationscentrum in stets gleicher Entfernung von der geometrischen Axe der Spindel erhält, so dafs hiernach die Zahl der Schwingungen bei allen Veränderungen der Temperatur in gleichen Zeiten stets dieselbe bleibt. Diese Compensation hat Jürgensen nicht blofs umgekehrt, sondern an dem freien Ende eines jeden dieser Bogen noch eine zweite negative Compensation angebracht und dadurch den Einflufs der Wärme auf den Gang dieser Uhr so ausnehmend vergröfsert, dafs ein einziger Grad Unterschied der mittleren Temperatur während 24 Stunden eine Veränderung von fast 32 Secunden herbeiführt. Die mittleren Temperaturen werden nach einer Tabelle berechnet; aufserdem aber befindet sich ein Metallthermometer dabei, welches die bestehende Temperatur und zugleich die Maxima und Minima angiebt, so dafs also dieser Apparat als der vollständigste, bis jetzt bekannt gewordene selbstregistrirende gelten kann. Einige Compensationspendel zeigen zugleich auch

---

1 S. Art. *Temperatur*. S. 344.

2 In Edinb. Encyclopaed. Art. Atmospherical Clock. Nach Poggendorff in dessen Ann. XXXIX. 524.

3 Aus Compte rendu 1836. T. II. p. 143. in Poggendorff's Ann. a. a. O. Vergl. Astron. Nachr. 1836. N. 169. S. 10.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die bestehende Temperatur, ohne sie jedoch zu registriren, vermittelst einer bei ihnen leicht anzubringenden Vorrichtung[1].

69) Zu den selbstregistrirenden Thermometern gehört auch das durch MAGNUS[2] vorgeschlagene Maximumthermometer, welches er *Erdthermometer*, *Geothermometer* genannt hat, weil es zunächst bestimmt war, die mit der Tiefe zunehmende Wärme der Erde zu messen, und dessen Zweckmäfsigkeit bereits bei mehreren Messungen in Bohrlöchern erprobt wurde. Fig. 113. Dasselbe besteht aus einem gewöhnlichen Thermometer mit einer etwas weiten Röhre und daher einem Cylinder von angemessener Gröfse. Weil mit diesem Thermometer nur wenige Grade gemessen werden, wählt man ein solches Verhältnifs des Inhalts der Röhre und des Cylinders, dafs 1° R. ungefähr 0,5 Zoll lang wird. Man soll dann den Eispunct bei diesem Thermometer bestimmen und diesen auf der Röhre mit einem Diamantstriche bezeichnen, damit dasselbe auf seiner Scale stets die richtige Lage wieder erhalte; da aber aus der Natur der Sache folgt, wie auch der Erfinder selbst nicht unbemerkt läfst, dafs die Messungen mit diesem Apparate von der darin enthaltenen Quecksilbermenge ganz unabhängig sind und nach jeder wirklichen Messung sich eine verschiedene Menge Quecksilber darin befindet, so scheint es angemessener, die Scale in willkürliche feine Theile zu theilen, die sich dann ohne Weiteres auf jede andere Scale des Normalthermometers reduciren lassen, womit dieses Geothermometer jederzeit beim Gebrauche verglichen werden mufs. Die Hauptsache beruht darauf, das obere Ende T der Röhre in eine höchst feine Spitze auszuziehn und so zu biegen, dafs die Axe dieser Spitze eine horizontale Lage erhält, damit jedes herausdringende Tröpfchen Quecksilber sogleich herabfällt, und sollte auch ein kleines Kügelchen durch Adhäsion hängen bleiben, so ist dessen Inhalt bei der Feinheit der Spitze und der Weite der Röhre so unbedeutend, dafs sein Volumen auf die Messung keinen merklichen Einflufs hat. Nach dem Gebrauche oder vor einer folgenden Anwendung mufs die Röhre wieder gefüllt werden. Anfangs geschah dieses, indem man das Ther-

---

1 S. Art. *Compensation*. Bd. II. S. 206.
2 Poggendorff's Ann. XXII. 138.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

mometer erwärmte, bis das Quecksilber aus der Spitze zu dringen anfing, dann diese in reines Quecksilber tauchte und den Apparat erkalten liefs. Später hat MAGNUS[1] eine verbesserte Vorrichtung angebracht, nämlich die obere feine Spitze mit einer Kugel versehn, worin sich etwas Quecksilber befindet, in welches die Spitze eintaucht, wenn man das Thermometer horizontal hält. Das Füllen geschieht auf diese Weise leichter, inzwischen darf diese Kugel, wie anfangs beabsichtigt wurde, nicht gänzlich verschlossen seyn, weil sonst der Druck des Wassers zu sehr auf das Thermometer wirkt, es führt vielmehr in die Kugel ein sehr feines Haarröhrchen, durch welches die Luft eindringt, ohne dafs das Wasser dasselbe erreicht, auch fliefst kein Quecksilber durch dasselbe ab. Der Cylinder des Thermometers ruht zwischen zwei Messingscheiben, die durch die beiden Streben ac und bd im gehörigen Abstande von einander gehalten werden, unten auf einer Korkscheibe, oben stützt es sich gegen ein Stück Kork, durch welches das Röhrchen gesteckt ist. Auf der oberen Messingscheibe ist ein messingner Cylinder fg mit einer männlichen Schraube festgeschraubt, welcher zugleich zur Befestigung der Scale dient, auf welcher das Thermometerrohr festliegt. Ueber beides wird ein pafslicher gläserner Cylinder, unten mit einer messingnen Fassung versehn, festgeschraubt, in dessen unterem Ende sich ein aus der Zeichnung ersichtliches Löchelchen befindet, in welches beim Herablassen in tieferes Wasser dieses eindringt und die in dem Cylinder enthaltene Luft comprimirt, um den Druck dieser Luft gegen das im Thermometer enthaltene Quecksilber dem Drucke des Wassers gegen die äufseren Wandungen des Cylinders gleich zu machen.

Fig. 114.

Fig. 115.

Der Gebrauch des Instrumentes ist leicht zu übersehn. Steht das Quecksilber im Röhrchen so hoch, dafs auf jeden Fall bei der höchsten zu messenden Temperatur noch irgend ein Theil aus der Spitze desselben ausläuft, so wird es in verticaler Lage in die Tiefe hinabgesenkt und an der zur Messung bestimmten Stelle so lange, etwa 15 Minuten, ruhig gehalten, bis es die dortige Temperatur angenommen hat. Hierbei wird so viel Quecksilber aus der Spitze des Röhr-

1 Poggendorff Ann. XL. 159.

chens dringen, als die höhere Temperatur heraustreibt; beim Heraufziehn und Erkalten desselben zieht sich das Quecksilber wieder zusammen, und sein Stand, mit dem des Normalthermometers verglichen, was am besten durch Eintauchen beider in ein Gefäfs mit Wasser geschieht, giebt die bestehende Temperatur. Werden dann beide Thermometer langsam gleichmäfsig erwärmt, bis das Quecksilber aus der feinen Spitze des Geothermometers zu dringen beginnt, mindestens bis es das äufserste Ende derselben wirklich erreicht, so zeigt in diesem Momente das Normalthermometer genau diejenige Temperatur, welcher das Geothermometer an der untersuchten Stelle im Maximum ausgesetzt war, oder man findet die Temperatur in der gemessenen Tiefe, vorausgesetzt, dafs das Thermometer beim Herablassen bis an diese Stelle oder beim Heraufziehn durch keinen Raum passirte, wo eine gröfsere Wärme herrschte.

Wird das Instrument bis zu bedeutenden Tiefen im Wasser der Bohrlöcher herabgelassen, so drückt letzteres gegen die äufseren Wandungen des Thermometers und durch Compression der Luft in der umgebenden Röhre gleich stark gegen das Quecksilber im Thermometer, so dafs der richtige Gang desselben dadurch nicht gestört wird; allein wegen verhältnifsmäfsig grofser Zusammendrückbarkeit des Quecksilbers wird von diesem nur eine geringere Menge aus der feinen Spitze auslaufen, mithin die Zahl der gemessenen Grade kleiner werden, als die eigentliche Temperatur, die x heifsen möge. Um diese daher zu finden, ist eine Correction erforderlich, die nach Magnus durch folgende Betrachtung erhalten wird. Es sey das ursprüngliche Volumen des Quecksilbers, womit dasselbe bis 0° gefüllt ist, bei 0° Temperatur $= V$, dasjenige Volumen, welches nach dem Versuche darin enthalten ist, bei gleicher Temperatur $= V'$, die Temperatur, in welche das Thermometer nach dem Versuche gebracht wird, wenn man dasselbe mit dem Normalthermometer vergleicht, heifse t, die Zahl der Grade, welche das Instrument bei dieser Temperatur einnimmt, heifse t' und die Ausdehnung des Quecksilbers für 1 Grad der Scale, wonach das Instrument getheilt ist, $\frac{1}{\delta}$, so hat man

$$V'\left(1+\frac{t}{\delta}\right)=V\left(1+\frac{t'}{\delta}\right).$$

Zugleich aber hat man

$$V'\left(1+\frac{x}{\delta}\right)=V\left(1+\frac{T}{\delta}\right),$$

denn V′ hatte sich bei der Temperatur x so ausgedehnt, dafs es das ganze Instrument erfüllte, also den nämlichen Raum einnahm, welchen V bei der Temperatur T einnahm, wenn T diejenige Temperatur bezeichnet, bei welcher das ganz gefüllte Instrument mit dem Normalthermometer verglichen wurde, ehe man den Nullpunct desselben durch Eintauchen in schmelzenden Schnee bestimmte. Beide Gleichungen zur Fortschaffung von V und V′ dividirt geben

$$\frac{1+\frac{t}{\delta}}{1+\frac{x}{\delta}}=\frac{1+\frac{t'}{\delta}}{1+\frac{T}{\delta}} \text{ oder } \frac{\delta+t}{\delta+x}=\frac{\delta+t'}{\delta+T},$$

woraus

$$x=\frac{\delta+T}{\delta+t'}(\delta+t)-\delta=\frac{(t-t'+T)\delta+tT}{\delta+t'}$$

gefunden wird. Nach Colladon und Sturm[1] beträgt der Unterschied der Zusammendrückung des Quecksilbers und des Glases durch eine Atmosphäre oder 0,76 Met. Quecksilberhöhe oder 10,32 Meter Wasserhöhe $\frac{1,73}{1000000}$ seines Volumens und die Menge des in Folge eines gleichen Druckes weniger aus der Spitze des Thermometers ausgelaufenen Quecksilbers beträgt also

$$\frac{1,73}{1000000}V'=\frac{1,73\,V'}{1000000}\cdot\frac{\delta}{V}$$

in Graden des Instrumentes ausgedrückt, wofür man bei dem geringen Unterschiede zwischen V und V′ ohne merklichen Fehler

$$\frac{1,73}{1000000}\cdot\delta$$

1 Ann. Chim. et Phys. T. XXXV. p. 113. Poggendorff Ann. XII. 61.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

setzen kann. Bezeichnet dann h die Höhe der Wassersäule, bis zu deren Tiefe das Instrument herabgelassen worden war, p aber die Höhe einer Wassersäule, deren Druck dem einer Atmosphäre gleich ist (10,32 Meter, 31,77 Par. Fuſs, 33,88 engl. Fuſs, 32,8 rhein. Fuſs), so ist

$$\frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{p}$$

die Anzahl von Graden, um welche sich das Quecksilber weniger ausgedehnt hat und die man also der gefundenen Temperatur noch hinzusetzen muſs. Hiernach ist

$$x = \frac{(t - t' + T)\delta + tT}{\delta + t'} + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{p}.$$

Da aber δ sehr groſs ist in Vergleich mit t, t′ und T, so sind die nicht mit δ multiplicirten Glieder verhältniſsmäſsig klein, können also weggelassen werden, und man hat sonach

$$x = t - t' + T + \frac{1,73}{1000000} \cdot \frac{\delta h}{p}.$$

70) Die nicht zweifelhafte Zweckmäſsigkeit des so eben beschriebenen Apparates macht es überflüssig, ein zunächst zum Messen der Temperaturen in tiefen Seeen bestimmtes Maximum- und Minimumthermometer, welches Bellani[1] angegeben hat, ausführlich zu beschreiben, da es genügt, nur die Idee dem Wesen nach anzugeben. Ein Weingeistthermometer mit dem Gefäſse A und einer feinen Röhre von einer solchen Weite, daſs sie nur etwa 20 Grade nach Reaumür in ihrer ganzen Länge zeigen würde, ist oben mit einem zweiten Gefäſse B versehn, an welchem sich der kleine Behälter x befindet, um ein Quecksilberkügelchen von geeigneter Gröſse aufzunehmen. Das obere Gefäſs B ist theils mit Weingeist, theils mit Luft erfüllt, und man findet die Gröſse der Grade, welche der Apparat angiebt, indem man ihn in Wasser von etwa 10° bis 15° Temperatur eintaucht und zugleich das Quecksilberkügelchen über die Oeffnung der Röhre bei z bringt, dann denselben in Eiswasser einsenkt, damit der sich zusammenziehende Weingeist das Quecksilber in Gestalt eines kleinen Cylinders bis etwa nach p herabdrückt, wodurch man die

Fig. 116.

1 Brugnatelli Giornale di Fisica etc. Dec. 1. T. IV. p. 89.

Anzahl von Graden erhält, die dem Intervalle pz zugehören, und hiernach die Scale zeichnen kann. Wird dann das Thermometer bei niedrigerer Temperatur an einen Ort herabgelassen, wo eine höhere Temperatur herrscht, so dehnt sich der Weingeist aus, entweicht neben dem bei z befindlichen Quecksilberkügelchen, drückt dieses aber beim Uebergange in eine kältere Temperatur im Röhrchen herab, und der Punct, wo es sich dann befindet, zeigt die Anzahl von Graden, um welche das Thermometer vorher höher stand. Um als Minimumthermometer gebraucht zu werden, wird der Apparat bloſs umgekehrt, auf eine hinlänglich höhere Temperatur gebracht, in welcher das Quecksilberkügelchen sich im untern Theile des Cylinders A bei z befindet; durch gröſsere Kälte zieht sich der Weingeist zusammen, entweicht neben dem Quecksilberkügelchen in das Gefäſs A bis zum Maximum der Kälte, drückt aber bei nachheriger wiederkehrender Wärme dasselbe in das Röhrchen hinab, und die Grade der Scale zeigen den Unterschied beider Temperaturen. Bellani giebt selbst an, daſs ihm ein Vorschlag zur Construction selbstregistrirender Thermometer von Landriani bekannt geworden sey, und es ist auffallend, daſs das von Letzterem später beschriebene Thermometer, dessen Erfindung er sich selbst zueignet[1], mit jenem eine überraschende Aehnlichkeit hat. Die Verfertigungsart dieser Thermometer ist genau so, als bei demjenigen, welches, zum Messen kleiner Wärmedifferenzen bestimmt, später beschrieben werden soll; auch dient eben jenes, jedoch mit kürzerer Scale, zum Messen des Maximums der Temperatur. Für das Minimumthermometer genügt es zu bemerken, daſs man in die enge Röhre einen kleinen Quecksilbercylinder, etwa in die Gegend von M, bringt; ein anderer oder vielmehr das daraus gebildete Quecksilberkügelchen liegt bei O. Sinkt die Temperatur, so steigt das erstere in die Höhe, bis das Minimum erreicht worden ist, und die von oben herab bis zum Cylinder M gezählten Grade weniger der vom zweiten bis O geben die geringste statt gefundene Temperatur an.

Fig. 117.

Fig. 118.

71) Bei Gelegenheit der Versammlung der Naturforscher und Aerzte in Prag im Jahre 1837 zeigte daselbst Mor-

1 Brugnatelli Giornale di Fisica. Dec. II. T. I. p. 413.

STADT[1] ein ganz eigentlich selbstregistrirendes Thermometer, von ihm *Thermograph* genannt, vor, welches der Idee nach seinen Zweck völlig erfüllen würde, wären nur nicht alle Instrumente dieser Art so manchen, nicht wohl zu beseitigenden Zufälligkeiten unterworfen. Dasselbe bestand aus einem Kasten von Stahlblech, ungefähr 8 Zoll breit, 6 Z. hoch und 0,75 Z. tief, dessen beide gröfsere Seitenflächen durch etliche durchgehende Streben bleibend in ihrer Entfernung von einander erhalten wurden. Aus der einen schmalen Seite ging ein Rohr etwa 0,5 Z. weit und 4 Z. hoch, lothrecht in die Höhe, und communicirte mit dem innern Raume des Gefäfses, welches nebst der Röhre bis etwa in ihre Mitte bei mittlerer Wärme mit reinem Quecksilber gefüllt war. In der Röhre schwimmt ein eiserner Cylinder auf dem Quecksilber und trägt einen hinlänglich starken Eisendraht, durch dessen oberes Ende horizontal ein Bleistift gesteckt ist. Vor der Spitze des letzteren wird ein mit Papier überzogener Cylinder durch ein Uhrwerk binnen 24 Stunden einmal um seine Axe gedreht, und man übersieht leicht, dafs beim Sinken oder Steigen des Quecksilbers im Gefäfse und somit auch in der Röhre durch Temperaturwechsel der Schwimmer in ungleiche Höhe gehoben werden mufs und auf der Papierhülle des Cylinders also die Thermometergrade aufschreiben kann, deren Gröfsen in voraus auf jenen Papierhüllen durch Linien gezeichnet sind, wobei man blofs nöthig hat, beim Anstecken einer neuen Papierhülle die Spitze des Bleistiftes auf den gerade dann statt findenden Thermometergrad einzustellen. Durch die grofse Masse des enthaltenen Quecksilbers wird der Apparat zwar für schnell wechselnde Temperaturen unempfindlich, jedoch nicht in dem Grade, dafs hierdurch seiner Brauchbarkeit für meteorologische Beobachtungen Abbruch geschähe. Diesem sehr ähnlich ist der von KLINGERT[2] erfundene *Thermometrograph*, welcher zugleich bestimmt ist, von Blinden durch das Gefühl abgelesen zu werden. Er besteht aus einer hohlen, 1 Par. Fufs langen, 4 Pfd. Quecksilber enthaltenden eisernen Säule,

---

1 Bericht über die Vers. deutscher Naturf. und Aerzte in Prag. 1837. S. 105.

2 Anzeige eines neu erfundenen Thermometers für Blinde. Breslau 1823. G. LXXV. 435.

auf einem Fufsbrete und mit einem luftdicht aufgeschraubten, horizontal liegenden, eisernen Balken, an dessen beiden Enden sich 6 Zoll lange verticale Röhren befinden. Die eine von diesen communicirt mit der Säule und ist gleichfalls bis zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt. An einem verticalen Träger, in der Mitte des Querbalkens, ist ein 7 Par. Zoll im Durchmesser haltender Kreis befestigt, auf welchem Grade nach R. gezeichnet sind und in dessen Mitte sich eine um feine Zapfen drehbare Rolle befindet. Ueber diese geht eine Schnur, deren eines Ende an einem Schwimmer befestigt ist, welcher auf dem Quecksilber in der einen genannten Röhre schwimmt, während das andere ein in die zweite Röhre herabhängendes Gegengewicht trägt; beide Röhren sind mit Deckeln versehn, in denen feine Löchelchen zum Durchgange für die Fäden sich befinden. Durch das Steigen und Fallen des Quecksilbers in der einen Röhre in Folge seiner wechselnden Ausdehnung durch Wärme steigt und sinkt der Schwimmer, die daran befindliche Schnur dreht die Rolle in der Mitte der getheilten Scheibe und zugleich den an ihr befestigten Zeiger, welcher auf der kreisförmigen Scale die Thermometergrade angiebt. Am Rande derselben sind Zähne und Stifte zum Fühlen für Blinde eingeschnitten, in welche ein leichtes, vom Zeiger vorwärts zu schiebendes, aber nicht wieder zurückfallendes Messingblech eingreift, wodurch das Instrument zugleich ein Thermometrograph wird; ein gewöhnliches Thermometer dient dann zur Controle der gezeigten Grade. Das Instrument soll wegen der grofsen Oberfläche und geringen Wärmecapacität, auch guten Wärmeleitung des Eisens hinlänglich empfindlich seyn, es ist aber, aus leicht begreiflichen Gründen, nicht unter die Zahl der gebräuchlichen Apparate aufgenommen worden.

72) d. Die Metalle sind wegen ihrer geringen Wärmecapacität, der Gleichmäfsigkeit ihrer Ausdehnung und, mindestens die meisten, wegen ihres Widerstandes gegen die Einwirkung höherer Temperaturen zur Thermometrie vorzugsweise geeignet, allein die Vermehrung ihres Volumens durch Wärme ist nicht grofs und bei der Mehrzahl sehr gering, sie mufs daher durch künstliche Mechanismen stark vergröfsert werden, um hinlänglich bemerkbar zu seyn. Aus dieser Ursache hat man sie nur wenig zur Construction der Thermo-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

meter verwandt, mehr für *Pyrometer*, wovon bereits oben[1] die Rede war; es giebt jedoch einige Apparate, welche zum Messen höherer Temperaturen durchaus nicht anwendbar sind und daher hier erwähnt werden müssen. Das bekannteste unter diesen ist von so vielen verschiedenen Künstlern ausgeführt worden, ohne von den gleichen Bemühungen anderer Kenntnifs zu haben, weil das dabei zum Grunde liegende Princip sich wegen seiner Einfachheit sehr leicht darbietet, dafs es in der That schwer ist, den ersten Erfinder bestimmt anzugeben. Schon im letzten Decennium des vorigen Jahrhunderts habe ich ein vom Uhrmacher Ahrens in Hannover verfertigtes Thermometer dieser Art gesehn, meistens nennt man den Uhrmacher Jörgensen[2] in Kopenhagen als den Erfinder desselben, Scholz[3] dagegen beschreibt dasselbe als eine Erfindung des Uhrmachers Holzmann in Wien, und auch dasjenige, welches Wrench[4] unter dem Namen *Taschenthermometer* als von ihm erfunden bekannt gemacht hat, ist ganz auf dieselbe Weise construirt. Alle diese Thermometer haben die äufsere Form einer Taschenuhr, auf deren Zifferblatte die Thermometergrade gezeichnet sind, die durch einen Uhrzeiger angegeben werden. Im Innern dieser Uhr ist auf dem Boden oder meistens an der Seite das eine Ende a eines Bügels a b aus zusammengelötheten Blechen von Stahl und Messing unverrückbar festgeschraubt, und da die beiden vereinten Metalle sich durch Wärme ungleich ausdehnen, so mufs dieser Bügel, welcher auch nach der ersten Krümmung umgebogen und mit dieser parallel laufend rückwärts wieder bis zum Anfangspuncte geführt seyn kann[5], sich abwechselnd erweitern und verengern. Am andern freien Ende desselben befindet sich daher ein eiserner Fortsatz, welcher gegen den kurzen Arm eines Winkelhebels drückt, dessen längerer Arm vermittelst eines Stif-

Fig. 119.

---

1 S. Art. *Pyrometer*. Bd. VII. S. 978.

2 Gehlen N. Journ. Th. VI. S. 500.

3 Anfangsgründe der Physik u. s. w. 3te Aufl. Wien 1827. S. 439. Jahrbücher des polytechnischen Institutes zu Wien. Th. I. S. 203.

4 Dingler polyt. Journ. Th. XLI. S. 102.

5 Auf diese Weise sind diejenigen Instrumente construirt, welche F. Houriet zu Paris verfertigt. S. Library of useful knowledge. Hft. II. p. 33.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tes den gezahnten Sextanten oder Octanten $\alpha\beta$ bewegt, der mit seinen Zähnen in die Welle γ eingreift und diese um ihre Axe dreht. Auf letztere ist der Zeiger aufgesteckt und zeigt demnach auf die Thermometergrade, die nach einem richtigen Thermometer auf dem getheilten Kreise gezeichnet sind, welcher etwa zwei Linien breit an der Innenseite des Instrumentes befestigt ist und in der Zeichnung nicht sichtbar seyn kann, weil er sich auf der entgegengesetzten Seite von derjenigen befindet, an welcher man den innern Mechanismus sieht. Wäre der stählerne Fortsatz des Bügels ohne Schlottern mit dem Arme des Hebels fest verbunden, hätte der längere Arm des letzteren keinen Spielraum zwischen den Stiften, durch die er den Sextanten bewegt, und wäre jeder todte Gang zwischen den Zähnen und dem Getriebe vermieden, so würde jede Veränderung der Temperatur durch Vorgang oder Rückgang des Zeigers angegeben werden. Da jene Bedingungen aber nicht statt zu finden pflegen, so versieht man das Getriebe mit einer Spiralfeder, welche bewirkt, dafs die einzelnen Theile stets dicht an einander liegen und somit jede Ausdehnung oder Zusammenziehung des Bügels durch den Zeiger bemerkbar wird. Neuerdings hat Winnerl[1] in Kopenhagen dieses Thermometer wesentlich verbessert, indem vermittelst eines Schiebers zwei Zeiger ausgelöst werden, deren einer das Maximum, der andere aber das Minimum angiebt, wobei jedoch der Hauptzeiger, welcher zur Angabe der jederzeit bestehenden Temperatur dient, unausgesetzt in Thätigkeit bleibt. Eine entgegengesetzte Bewegung des Schiebers bewirkt, dafs letzterer sich allein bewegt, und so dient also der Apparat als blofses Thermometer, im Ganzen aber ist derselbe in dieser vorzüglichen Ausführung so vortrefflich, dafs Schumacher ihn für den vollkommensten unter allen ihm bekannten erklärt[2].

73) Mit allgemeinem und grofsem Beifall wurde das durch

---

1 Astronom. Nachr. Th. VII. 1829. N. 157. S. 218.

2 Eine detaillirte Beschreibung dieses Apparates, welcher die Beachtung der Meteorologen im hohen Grade verdient, wenn seine Brauchbarkeit als Maximum- und Minimumthermometer wirklich ausgezeichnet ist, würde eine Menge von Zeichnungen erfordern und doch nur zunächst die ausübenden Künstler interessiren, weswegen ich sie hier weglasse und auf die angegebene Quelle verweise.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

den berühmten Uhrmacher Breguet[1] zu Paris erfundene und von ihm zugleich verfertigte Metallthermometer (*Thermomètre metallique, Thermomètre de Breguet*) aufgenommen. Dasselbe besteht aus einer spiralförmig aufgewundenen, etwa 0,4 bis 0,8 Millim. breiten Lamelle von Platin, Gold und Silber, von denen die beiden äufseren für sich genügen würden, das Gold aber dient als Mittel, um beide zusammenzulöthen. Die drei Lamellen sind ursprünglich von mefsbarer Dicke, werden aber nach der Vereinigung bis zur Dünne von etwa 0,02 Millimeter ausgewalzt, dann zu einem schmalen Streifen ausgeschnitten und in dieser Gestalt zu einem etwa 1,5 Lin. im Durchmesser haltenden Cylinder von dicht neben einander liegenden Windungen schraubenförmig zur Länge von 2 bis 4 Zoll aufgewickelt, welcher mit dem oberen Ende an dem Bügel ff befestigt ist, am unteren aber den sehr feinen Zeiger $\alpha\beta$ trägt. Letzterer schwebt frei über dem horizontalen, in Grade getheilten Kreise cc, welcher auf drei kurzen Füfsen ruht, die in ein hölzernes Fufsbret ein wenig eingelassen sind, und das Ganze ist dann mit einer Glasglocke überdeckt, die man beim Gebrauche abnimmt. Um den zarten Windungen mehr Haltung zu geben, wird durch dieselben ein geeigneter Messingstift gesteckt, dessen Knopf oben bei δ sichtbar ist. Durch ungleiche Ausdehnung der beiden äufseren Metalle wickelt sich die schraubenförmige Windung mehr auf oder mehr zusammen und bewegt hierdurch den Zeiger so, dafs er auf wachsende Grade der Kälte oder der Wärme zeigt. Das Instrument ist allerdings, hauptsächlich wegen der geringen Wärmecapacität und der aufserordentlichen Feinheit der Lamelle, sehr empfindlich, jedoch bei weitem nicht so sehr, als gewisse Arten des Differentialthermometers, seine Empfindlichkeit zeigt sich aber vorzüglich dadurch, dafs es unter eine Campane gestellt bei jeder Verdichtung und Verdünnung der Luft sofort Ausscheidung oder Bindung von Wärme zeigt, wenn auch kein anderes Thermoskop dadurch afficirt wird. Andere Künstler, z. B. Oechsle in Pforzheim, wickeln die Lamelle spiralförmig auf und verfertigen auf diese Weise sehr feine Thermometer in Form von Taschenuhren, Uhrschlüsseln

Fig. 120.

---

1 Ann. de Chim. et Phys. T. V. p. 312. Schweigg. Journ. XXXII. p. 497.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

u. s. w. Lechevallier[1] hat vorgeschlagen, zu beiden Seiten des Hauptzeigers noch einen beweglichen Zeiger anzubringen, deren einer dann auf das Maximum, der andere auf das Minimum der Temperatur geschoben würde; allein nach dem Exemplare zu schliefsen, welches ich von Breguet selbst verfertigt besitze, ist hierzu die Spirale zu schwach.

74) Es wurde bereits oben[2] ein von A. Neumann in Vorschlag gebrachtes *Pyrometer* erwähnt, dessen nähere Beschreibung aber hierher verwiesen, weil es selbst die tiefsten Grade unter dem Gefrierpuncte zu messen dienen könnte und daher zur Classe der eigentlichen Thermometer gehört. Zuerst tadelt er an den von Holzmann und Breguet angegebenen Thermometern, dafs die nach den veränderlichen Bogen gemessenen Grade nicht gleich seyn können, weil sich die Bogen durch die Krümmung, selbst bei mefsbarer Dicke der beiden Metalle, verändern. Es ist aber hierbei zu berücksichtigen, dafs bei Breguet's Thermometer die Lamellen höchst dünn sind und das zwischenliegende Gold blofs als Bindungsmittel dient, was Neumann übersehn hat, beide Thermometer aber werden, so wie das von Chrichton angegebene, nach einem genauen Quecksilberthermometer graduirt, wodurch die etwa statt findenden Ungleichheiten der Grade bis auf eine unmerkliche Gröfse verschwinden. Neumann bringt dagegen einen langen, schraubenförmig aufgewundenen Platindraht in Vorschlag und nimmt an, dafs dessen ganze Längenausdehnung auf den am einen Ende desselben befestigten Hebelarm, wodurch das Zeigerwerk bewegt werden soll, wirken werde, was jedoch nicht der Fall seyn kann, weil die Ausdehnung vielmehr dazu dient, die Radien der einzelnen Krümmungen zu vergröfsern; denn wollte man einen solchen Draht schraubenförmig um einen unveränderlichen Cylinder winden, so würde derselbe nach der Erhitzung in Folge eingetretener Erweiterung vom Cylinder herabgleiten, ohne Vermehrung der Zahl seiner Windungen um ganze oder nur einen Theil derselben. Das Instrument könnte aber die demselben oben irrthümlich beigelegten Vorzüge wirklich erhalten, wenn man den feinen Platindraht um einen durch Wärme sich

---

1 Bulletin univ. des Sc. math. et phys.
2 S. Art. *Pyrometer*. Bd. VII. S. 994.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nur unmerklich ausdehnenden Cylinder, etwa von Porcellan oder noch besser von Graphit, wickelte und ihn durch ein geeignetes Gegengewicht stets straff angezogen erhielte, wonach also die statt findende Verlängerung des Drahtes bei seiner bedeutenden absoluten Länge als ein vorzügliches Mittel zum Messen hoher Temperaturen dienen könnte. Von dieser Beschaffenheit hatte ich mir den Apparat gedacht, den ich daher irrthümlich für sehr zweckmäfsig erklärte, da er vielmehr nach der ursprünglichen Angabe gar nicht thermoskopisch wirken kann. Ohne Zweifel würden aber die vielen Windungen selbst bei einem sehr feinen Drahte auf der Oberfläche des Cylinders zu viel Reibung erleiden und dadurch die Erhaltung desselben in gespanntem Zustande bei wechselnden Temperaturen unmöglich werden.

Bei dem entschiedenen Bedürfnifs guter Pyrometer wird es aber nicht unnütz seyn, folgende Construction eines einfachen und leicht ausführbaren Apparates hier in Vorschlag zu bringen. Graphit ist wegen seiner Unschmelzbarkeit und sehr geringen Ausdehnung durch Wärme bereits von Brongniart und Daniell zu den Gestellen der Pyrometer gewählt worden, bei dem nächstfolgenden kommt aufserdem die geringe Reibung auf seiner glatten Oberfläche noch vortheilhaft zu statten. AB ist ein Fufsbret von Graphit, welches nebst den drei Trägern $\alpha\beta$, $\gamma\delta$ und λ aus einem soliden Stücke von solchen Dimensionen verfertigt ist, als das gehörige Verhältnifs zu dem Haupttheile, dem Cylinder, erfordert. Auf den Trägern $\alpha\beta$ und $\gamma\delta$ ruht die mit ihren sehr feinen Spitzen in den ersten eingesteckte, bei dem zweiten in einen Einschnitt herabgelassene, aus Platin bestehende Axe des Graphitcylinders a b, auf dessen Umfange eine nur zweimal umlaufende Schraubenwindung unmerklich tief eingeschnitten ist. In dieser liegt für grofse Hitzegrade ein feiner Platindraht, für geringere, nur bis etwa 500° C. steigende, ein reiner Silberdraht, dessen unteres Ende s auf dem Fufsbrete befestigt, das andere aber um die Zeigeraxe l geschlungen, am kleinen Stiftchen o festgeknüpft und endlich mit dem Platingewichte p beschwert ist. Schon hieraus wird die Wirkungsart des Apparates klar. Alle Theile desselben bestehn aus Platin und Graphit, doch können der Faden und die Scale für geringere zu messende Temperaturen auch von Silber seyn; dafs die Axe des Graphitcylinders, um

Fig. 121.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

welchen der thermoskopische Draht geschlungen ist, um ihre feinen Spitzen leicht beweglich sey, ist zwar nicht nothwendig, weil der verlängerte oder verkürzte Draht ohnehin leicht über die glatte Fläche des Graphits hingleiten würde, indefs wird die Sicherheit und Empfindlichkeit des Apparates hierdurch auf jeden Fall vermehrt. Die allgemeine Beschreibung schliefst noch keine Dimensionen der einzelnen Theile in sich, die jedoch nothwendig angegeben werden müssen, weil sich danach die Brauchbarkeit im Ganzen ermessen läfst. Wir wollen daher annehmen, dafs die Ausdehnung des Platins nach Dulong und Petit[1] 0,0009839 seiner Länge für 100° C. betrage, und sonach läfst sich der Unterschied seiner Ausdehnung und der des Graphits in genähertem Werthe füglich = 0,0009 seiner Einheit annehmen. Der Umfang des Cylinders, um welchen der Draht gewunden ist, seinen Durchmesser zu 2 Par. Zoll angenommen, beträgt 6,28 Z., eine Gröfse, die füglich als eine mittlere und für die meisten Zwecke als am besten geeignet gelten kann, obgleich man auch nach Umständen gröfsere oder kleinere Dimensionen des ganzen Instrumentes wählen könnte. Hiernach geben zwei Umwindungen des Platindrahtes 12,54 Zoll, und wenn wir für die beiden Enden, das eine bis zum Puncte seiner Anknüpfung auf dem Fufsbrete, das andere bis an den Stift seiner Befestigung auf der Welle, noch 1,46 Zoll rechnen, um eine runde Zahl zu erhalten, so beträgt die ganze Länge des die Temperatur durch seine Ausdehnung oder Zusammenziehung messenden Drahtes 14 Zoll und seine Verlängerung durch eine Temperaturvermehrung von 100° C. $14 \times 0{,}0009 = 0{,}0126$ Z. oder 0,1512 Par. Linien. Setzen wir den Umfang der Platinwelle, um welche das letzte Ende des Drahtes geschlungen ist, deren eigene Ausdehnung durch die des umgeschlungenen Drahtes compensirt wird, in runder Zahl = 3 Linien, so wird diese durch einen Temperaturwechsel von 100° C. um ihren 20sten Theil oder um 18 Grade im Bogen umgedreht, mithin durch 1000° C. um 180 Grade oder einen Halbkreis, und wenn dann die Länge des Zeigers zu nahe 4 Zoll, also die des Bogens, welchen seine Spitze durchläuft, zu 12 Zoll angenommen wird, so ergiebt sich die Gröfse eines Grades der

1 S. Art. *Ausdehnung*. Bd. I. S. 582.

Centesimalscale = 0,072 Par. Linien und die Scale kann also füglich von zwei zu zwei Centesimalgraden abgelesen werden. Wäre statt eines Platindrahtes ein Silberdraht gewählt, dessen Ausdehnung = 0,0017 gesetzt werden kann, so würden die angegebenen Gröfsen im Verhältnifs von 17 : 9 wachsen und also die Längen der einzelnen Grade 0,136 Linien betragen.

In dieser einfachen Gestalt dürfte der Apparat am zweckmäfsigsten seyn, und ich berühre nur kurz einige sonstige Bedingungen, die sich von selbst darbieten. Dahin gehört zuerst, dafs der Zeiger genau in seinem Schwerpuncte balancirt seyn müsse, damit für seine Bewegung blofs die Reibung, die sein eigenes Gewicht und das der Welle und der kleinen Platinkugel p erzeugen, zu überwinden wäre, welche bei der Feinheit der Spitzen, um die sich die Welle dreht, der Glätte der Graphitflächen und dem geringen absoluten Gewichte aller dazu gehörigen Theile nur unbedeutend seyn kann, so dafs die geringste Spannung des Drahtes sie leicht überwinden wird. Ferner mufs der Zeiger blofs aufgesteckt seyn, um ihn gehörig zu richten, sowohl anfänglich bei Auffindung der festen Puncte, als auch später, wenn etwas am Apparate verrückt seyn sollte oder ein neuer Draht eingezogen werden müfste. In der angenommenen Form liefse sich das Instrument auf ein Klötzchen von Graphit oder eine sonstige geeignete Unterlage stellen, unter gegebenen Umständen könnte dieses unnöthig seyn, auch übersieht man bald, dafs sich die Welle des Zeigers willkürlich verlängern lasse, um die Scale entfernt von der Wärmequelle zu beobachten, und ebenso bietet sich von selbst dar, dafs man die Welle mit einem gezahnten Rade oder einem gezahnten Bogentheile versehn könne, um durch Eingreifen in ein kleineres Getriebe die zu messenden Grade mehrfach zu vergröfsern.

75) e. In einem besondern Artikel[1] wurden bereits die verschiedenen Constructionen von Leslie's Differentialthermometer beschrieben. Diese haben zwar seit der Entdeckung der thermomagnetischen Apparate ihren Werth als Mefswerkzeuge sehr geringer Wärmegrade verloren, allein ihr Gebrauch als Photometer ist noch durch keine andere Vorrich-

1 S. Art. *Differentialthermometer*. Bd. II. S. 535.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

tung ersetzt worden, und es wird daher nicht überflüssig seyn, die spätere Construction derselben, die ohnehin wenig bekannt ist[1], hier noch nachträglich zu beschreiben. Hauptsächlich besteht der Unterschied dieser Instrumente und der einen Art der bekannten Differentialthermometer in ihrer Kleinheit, denn die Kugeln b und c, die eine, in der Regel die obere, von schwarzem, die andere von durchsichtigem Glase, haben nur 1,5 bis 2, höchstens 2,5 Linien im Durchmesser, die Röhre, woran sie befestigt sind, ist dünn und von der Weite, als die bei gewöhnlichen Weingeistthermometern, und die ganze Länge von der unteren Biegung bis zur oberen Kugel beträgt nicht mehr als 2,5 bis 5 Zoll. Die Röhre wird mit gefärbtem, sehr reinem Weingeiste oder Schwefeläther gefüllt[2] und nach hinlänglichem Sieden zur Entfernung der Luft zugeschmolzen, wenn gerade so viel der Flüssigkeit noch zurückgeblieben ist, als hinreicht, die kürzere Röhre von der Kugel bis durch die Krümmung gefüllt zu erhalten, eine Bedingung, welche die Verfertigung sehr erschwert[3]. Zur Montirung dient ein hölzerner Fuſs mit einem verticalen Cylinder, welcher bei aa zur Hälfte weggeschnitten ist. Auf die hierdurch gegebene Fläche, worauf die in feine willkürliche Theile getheilte Scale gezeichnet ist, wird das Photometer befestigt, dessen untere Krümmung in den hölzernen Cylinder eingesenkt ist; am untern Theile dieses Cylinders bei dd befindet sich eine Schraube, um einen hohlen hölzernen Cylinder A aufzuschrauben. Hierdurch wird das Instrument im völligen Dunkel erhalten, bei der Wegnahme des Deckels aber wirkt das verschieden intensive Licht auf die beiden Kugeln und bewirkt eine ungleiche Höhe oder eine Veränderung des Standes der Flüssigkeit in beiden Schenkeln.

Fig. 122.

Fig. 123.

---

1 Ich finde sie bloſs in Library of useful knowledge. Lond. 1828. Part II. p. 42. beschrieben, habe sie aber zu Edinburg in ihren verschiedenen Modificationen gesehn.

2 Welche von beiden Flüssigkeiten empfindlicher sey, habe ich an meinen Exemplaren noch nicht aufgefunden. Ein leicht wahrnehmbarer Unterschied scheint mir nicht vorhanden zu seyn, doch fand Landriani die Empfindlichkeit des absoluten Alkohols und des Schwefeläthers wie 11:15. S. Brugnatelli Giornale di Fis. Dec. II. T. I. p. 342.

3 Sie werden vom Mechanicus Loos in Darmstadt sehr gut verfertigt.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

76) Rumford[1] construirte ein Instrument, bestimmt um sehr geringe Wärmemengen, zugleich auch den Unterschied zweier Wärmequellen zu messen, wodurch es Aehnlichkeit mit Leslie's Differentialthermometer erhält, und nannte es *Thermoskop*. Eine horizontale, 17 Zoll lange Glasröhre de, auf einem Brete befestigt, an beiden Enden rechtwinklig aufwärts gebogen, ist mit den 10 Zoll langen, vertical aufstehenden Theilen ad, a′e verbunden, welche oben mit einer Kugel von 1,5 Zoll Durchmesser versehn sind. Die Weite der Röhre soll so seyn, dafs 1 Z. Länge derselben 15 Grains Quecksilber fafst. Durch die offene Spitze b wird ein Tropfen gefärbten Weingeists hineingebracht, welcher in der Röhre ungefähr die Länge von 0,75 Zoll einnimmt, dann wird die Oeffnung der Spitze b an der Lampe zugeschmolzen und Sorge getragen, dafs bei gleicher Temperatur beider Kugeln der Weingeist sich genau in der Mitte der horizontalen Röhre befindet. Wirken gleiche Wärmequellen auf beide Kugeln, so bleibt der Weingeist unbeweglich, ungleiche aber dehnen die Luft verschieden aus, und diese treibt den Weingeist nach derjenigen Seite hin, deren Kugel am wenigsten erwärmt ist, wobei Rumford zu finden glaubte, dafs die Intensitäten der Wärme den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional seyen. Will man die Wirkung der einen Wärmequelle oder die nach einer Seite hin sich äufsernde aufheben, so geschieht dieses leicht durch einen Schirm von Goldpapier, auch kann man die Kugeln gegen gewisse Einflüsse empfindlicher machen, wenn man sie mit schwarzem Tusch überzieht. Dieser Apparat, sofern er als sehr empfindliches Luftthermoskop dient, ist für den jedesmaligen speciellen Gebrauch vielfach abgeändert worden, indem man statt der Kugeln flache Cylinder mit grofsen Oberflächen anbrachte, die Röhre bedeutend verlängerte, zuweilen auch nur einen einzigen Luftbehälter mit einer langen Glasröhre wählte u. s. w. Rumford wufste bei der Construction dieses Apparates schwerlich, dafs ein ähnlicher und obendrein weit empfindlicherer, *Mikrocalorimeter* (aus dem griechischen Worte μικρὸς klein, dem lateinischen *calor* Wärme und dem griechischen μετρέω ich messe, nicht

Fig. 124.

---

1 Philosoph. Trans. 1804. P. I. p. 99. Mém. de l'Inst. T. VI. p. 71.

eben beifallswerth, zusammengesetzt) genannt, durch G. G. Schmidt[1] erfunden und von Ciarcy ausgeführt worden war. Auch dieses besteht aus einer horizontalen, drei Fufs langen oder selbst noch längeren Glasröhre c d, welche an beiden Enden zuerst etwas aufwärts, dann gekrümmt herabwärts gebogen und mit zwei Kugeln a, b versehn wird. Fig. 125. Durch die feine Spitze der einen Kugel bringt man etwas gefärbten Weingeist in den Apparat, schafft alle darin enthaltene Luft durch Siedenlassen des Weingeistes fort, verschliefst sogleich die Spitze und schmelzt diese an der Lampe zu. Von dem Weingeiste bleibt ungefähr so viel in den Kugeln zurück, dafs nicht mehr als 0,25 bis 0,2 ihres Inhalts damit gefüllt und er in beiden gleichmäfsig vertheilt ist; es wird dann dafür gesorgt, dafs bei gleicher Wärme beider Kugeln ein Faden Weingeist von etwa 1 Zoll Länge sich in der Mitte der Röhre bei *a* befindet, welcher bei ungleicher Temperatur der Kugeln durch die mehr elastischen Weingeistdämpfe der einen nach der Seite der andern hingetrieben wird. Weingeistdämpfe sind ausnehmend empfindlich gegen Wärme, und um so mehr, je höher die Temperatur derselben ist; im Allgemeinen wächst die Empfindlichkeit mit der Gröfse der Kugeln und der Enge der Röhre, weswegen die erstere eine Weite von 1,5 Zoll, die letztere von nicht mehr als 0,5 Linie innerem Durchmesser haben müssen, auch ist erforderlich, dafs die Füllung mit sehr reinem Alkohol oder mit Schwefeläther geschehe. Eine eigentliche genaue Messung der Wärme nach Thermometergraden ist zwar mit diesem Apparate nicht wohl möglich, wenn man aber beobachtet, durch was für lange Räume der Weingeist in der Röhre in Folge einer geringen Temperaturerhöhung der einen Kugel getrieben wird, so kann man begreiflich finden, dafs Schmidt die Empfindlichkeit dieses Thermoskopes zu $\frac{1}{3000}$ eines Grades nach R. angiebt.

Alle frühere, zum Messen geringer Wärmeunterschiede bestimmte Apparate werden bei weitem durch die neuesten thermoelektrischen oder thermomagnetischen übertroffen. Sobald die Entdeckung gemacht worden war, dafs durch Erwärmen der Löthstellen verschiedener Metalle ein elektrischer Strom entstehe,

---

1 Handbuch der Naturlehre. Giefsen 1801. 2te Auflage. 1813. S. 319.

welcher die Magnetnadel ablenke, lag der Gedanke sehr nahe, diese Abweichung der Magnetnadel zum Messen der Wärme zu benutzen, und durch weiteres Verfolgen dieser Idee gelangte man allmälig zur Construction der jetzt bekannten feinsten thermomagnetischen Thermoskope und Thermometer, die mit vollem Rechte *Mikrothermoskope* und *Mikrothermometer* heifsen können. Die Hauptmomente der allmäligen Verbesserung dieser Instrumente sind folgende.

77) f. Von unerwartet grofsem Einflusse auf die Thermometrie war die Erfindung der Nobili'schen Doppelnadel und die Vervollkommnung des *Multiplicators* oder *Galvanometers*, weil beide vereint die geringsten elektrischen Strömungen durch Ablenkung der Magnetnadel sichtbar machen. So giebt der oben beschriebene Apparat[1] schon ein höchst empfindliches Thermoskop, Becquerel[2] ging aber sogleich bei seiner Wiederholung der durch Seebeck angegebenen thermoelektrischen Versuche zur eigentlichen Thermometrie über, indem er vermittelst zweier aus verschiedenem Platin verfertigten, an ihren einen Enden vereinten Drähte die Hitze der verschiedenen Theile einer Weingeistflamme mafs, wobei er von dem durch spätere Versuche bestätigten Satze ausging, dafs die erzeugten Ablenkungen der Magnetnadel den Intensitäten der Hitze um so mehr direct proportional sind, je höher die Schmelzpuncte der gewählten Metalle liegen. Seitdem ist, die Aufgabe im Allgemeinen aufgefafst, Becquerel auf dieser einmal von ihm betretenen Bahn, die Temperaturen durch blofs zwei vereinte Metalle, also durch Anwendung der einfachen thermomagnetischen Kette zu messen, fortgeschritten, Nobili dagegen bemühte sich, die Kraft durch Verbindung mehrerer abwechselnd vereinter Metalle zu verstärken oder die zusammengesetzte thermoelektrische Kette anzuwenden, Beide aber sind zu gleich wichtigen, höchst interessanten Resultaten gelangt. Nobili[3] entdeckte sofort nach der Erfindung der Dop-

---

1 S. Art. *Thermomagnetismus*. Fig. 50.

2 Ann. Chim. et Phys. T. XXXI. p. 371. Poggendorff Ann. IX. 357.

3 Biblioth. univ. T. XXIX. p. 124. Vergl. Dublin Journ. N. II. p. 227.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

pelnadel und mit Anwendung des Multiplicators, dafs geringe Temperaturunterschiede in der Löthstelle zweier verbundener Metalle einen elektrischen Strom erzeugen, welcher der in einem Multiplicator an einem Coconfaden aufgehangenen Doppelnadel eine sehr beträchtliche Abweichung gab. Durch weiteres Verfolgen des ganzen Problems gelangte er einige Jahre später zur Construction seines ersten *Thermomultiplicators* oder *elektrischen Thermoskopes*, eines Apparates, welcher wohl am zweckmäfsigsten der Analogie nach die *zusammengesetzte thermoelektrische Säule* oder *Kette* genannt werden könnte, da die Bezeichnung *Multiplicator* schon für einen andern Apparat in Anspruch genommen ist. Dieser sehr empfindliche thermoskopische Apparat[1], welchen Nobili *Pila a Scatola* nennt, besteht aus sechs geeigneten Stücken Antimon und Wismuth, die mit ihren Enden zusammengelöthet und in einer gemeinschaftlichen verticalen Ebene liegend die 11 Löthstellen und die beiden Pole A und B zeigen. Um die Wirkungen der ungleichen Erwärmung auf die eine Reihe der Löthstellen mehr zu concentriren, werden diese 6 Combinationen in einen Kreis zusammengebogen und in eine Büchse SS gebracht, aus welcher die beiden etwas verlängerten Enden oder Pole A′, B′ hervorragen, um sie mit den beiden Drahtenden des Multiplicators in Verbindung zu bringen. Man sieht bei dieser Vorrichtung nur die eine ungerade Reihe der Löthstellen, 1, 3, 5, 7, 9, 11, die geraden sind durch die Büchse verdeckt und zugleich in Gyps eingeschlossen, indem die Büchse nach dem Einsetzen der 6 Combinationen mit Gyps oder Harzkitt ausgefüllt wurde, um dadurch zu bewirken, dafs die Metalle an keiner andern Stelle, als wo sie zusammengelöthet sind, mit einander in Berührung kommen. Dieser Apparat zeigte sich sofort sehr empfindlich, gab unter der Campane augenblicklich die Bindung der Wärme durch Verdünnung der Luft an, und selbst nach den verschiedenen Seiten eines Zimmers hin gerichtet machte er den Einflufs der ungleichen Zurückwerfung der Wärme von den Wänden sichtbar. Um das Hindernifs zu beseitigen, welches gegen die leichtere Aufnahme der Wärme aus der Blänke der Metallflä-

Fig. 126.

Fig. 127.

1 Bibliothèque univ. T. XLIV. p. 225. Poggendorff Ann. XX. 245. Schweigger's Journ. Th. LX. S. 433.

chen entspringt, pflegt man diese mit einem schwarzen Ueberzuge zu bedecken.

78) Nobili erwähnt bei der Beschreibung dieses Apparates, dafs Melloni sich einen solchen verschafft, ihn aber in einigen Stücken verbessert, hauptsächlich durch verminderte Gröfse der vereinten Elemente verfeinert habe, und nach der Beschreibung ist dieses abgeänderte Thermoskop kein anderes als dasjenige, welches später durch beide Gelehrte gemeinschaftlich bekannt gemacht, von Letzterem aber zu seinen wichtigen Untersuchungen über das Verhalten der Wärme gebraucht wurde. Nobili brachte es sofort dahin, dafs er auf diese, sogleich näher zu beschreibende Weise 40 Elemente, nach beiden Seiten symmetrisch geordnet und also auf jeder durch Wärme afficirbar, mit einander vereinigte und dadurch ein Thermoskop von wahrhaft erstaunenswürdiger Empfindlichkeit erhielt. Rücksichtlich seiner Bemühungen, diese Apparate weiter zu vervollkommnen, bezieht er sich selbst auf die Sammlung seiner Memoiren[1], die ich jedoch nicht zur Hand habe; inzwischen sind zwei eigenthümliche Constructionen von ihm bekannt geworden[2], die ich theils aus Achtung gegen das Andenken des berühmten Erfinders, theils weil sich vielleicht neue Ideen daran knüpfen lassen, hier kurz erwähne. Der eine Apparat, den er *Pila a Raggi* nennt, besteht aus einer möglichst grofsen Menge vereinter dünner Stangen oder nadelartiger Stäbchen von Wismuth und Antimon, die auf einer Kreisfläche so zusammengelegt sind, dafs die eine Reihe ihrer Löthstellen sich um ein Centrum in einem Kreise von etwa nur zwei Linien im Durchmesser vereinigt. Dieser Kreis der von der Mitte aus strahlenartig aus einander laufenden Elemente wird in eine Dose gelegt, deren Mitte an beiden Seiten ein Loch hat, um die Wärmestrahlen eindringen zu lassen, die sonach die eine Reihe der Löthstellen treffen, und auf die eine dieser Oeffnungen ist ein etwa 2 Zoll langes Rohr gesetzt, welches am andern Ende mit einem Deckel verschlossen wird, um durch ein veränderlich grofses Löchel-

---

1 Memorie cet. Del Cav. Prof. L. Nobili. Firenze 1834. T. II. p. 47.

2 Descrizione di due nuove pile termoelettriche cet. Firenze li 24 Settembre 1834.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chen in letzterem Licht einzulassen, wenn man dessen Wärmeerregung prüfen will. Der zweite Apparat, welchen Nobili in Vorschlag gebracht hat, wird von ihm *Pila a fessura* genannt; die verbundenen Elemente der thermoelektrischen Kette liegen dabei in derselben Ebene und die eine Reihe der Löthstellen liegt in einer diese schneidenden Linie. Die Construction wird völlig klar durch die Zeichnung, worin a und b die Elemente Antimon und Wismuth, A und B die beiden Pole und die Zahlen 1, 3, 5, 7 die eine Reihe der in gerader Linie liegenden Löthstellen, die geraden Zahlen 2, 4, 6 aber die andern Löthstellen bezeichnen. Die Lage der Löthstellen in einer Linie ist für viele Versuche wichtig, wo nur ein einzelner Wärmestreifen zur Untersuchung kommt, namentlich wenn es sich um die Auffindung der Wärmeinterferenzen handelt. Nobili hatte daher schon vorher[1] einen hierzu geeigneten Apparat ersonnen und *pila a pettine* genannt, weil die eine Reihe der Löthstellen nach Art der Zinken eines Kammes über einander liegt. Fig. 128.

79) Das Hauptinstrument, welches allen späteren zum Grunde liegt und durch beide Gelehrte, Nobili und Melloni, gemeinschaftlich erfunden wurde[2], besteht aus einer thermoelektrischen Säule und einem hierfür geeigneten Galvanometer oder Multiplicator. Die Säule besteht, wie die Zeichnung sie und ihre Fassung im verticalen Durchschnitte zeigt, aus 38 Paaren Wismuth und Antimon mit zwei Drähten a und b, die von den äufsersten Stücken diese Metalle, also den Polen ausgehn und den elektrischen Strom zum Multiplicator führen. Die Stücke, welche als Elemente der Säule dienen, sind von abgeplatteter prismatischer Gestalt, an den Enden keilförmig verjüngt und unter sehr spitzen Winkeln zusammengelöthet, wie man dieses bei einigen derselben, nach der Seitenansicht gezeichnet, wahrnimmt. Die einzelnen Verbindungen der hieraus entstandenen zusammenhängenden Metallkette sind so geordnet, dafs sie sich etwa in ihrer Mitte sämmtlich in einen Ring vereinigen lassen, wobei sich von selbst versteht, dafs sie von dem metallenen Ringe elektrisch isolirt seyn müssen, so wie es erforderlich ist, dafs die zu- Fig. 129. Fig. 130.

1 Memorie cet. T. II. p. 48.
2 Poggendorff Ann. XXVII. 440.

sammengelötheten Stücke blofs an diesen Löthstellen, sonst aber nirgends, unter sich und mit andern in Berührung kommen dürfen. Die beiden Metalle sind durch die geeigneten Buchstaben a, b (Antimon, Wismuth) bezeichnet, die eine Reihe der Löthstellen, die der ungeraden, liegt in derselben vorderen Ebene, parallel mit dem Ringe, die andere, die der geraden, in der andern hinteren; zwei von den Polen ausgehende, durch den Ring hindurchgeführte Drähte c, c′ sind so zugespitzt, dafs sich die Hülsen F, F′, welche mit den Enden des Multiplicatordrahtes in Verbindung stehn, metallisch genau berührend darauf stecken lassen. Es ergiebt sich hiernach von selbst, dafs bei Erwärmung oder Erkältung der einen Reihe von Löthstellen, während die andere die bestehende Temperatur behält, ein elektrischer Strom den Galvanometerdraht durchläuft und die Magnetnadel nach der einen oder andern Seite ablenkt. Am Ringe endlich ist ein Zapfen r mit einer Schraube befestigt, um den Apparat auf einem Gestelle festzuschrauben, welches eine Drehung desselben nach einer beliebigen Gegend hin gestattet. Die Erfinder bemerken mit Recht, dafs dieses Thermoskop durch die leichte Aufnahme der Wärmestrahlen einen grofsen Vorzug vor allen Wärmemessern hat, bei denen die Glashülle hindernd wirkt, weswegen dasselbe sich bei den ersten Versuchen sogleich weit empfindlicher zeigte, als ein Rumford'sches Thermoskop. Um die Wärmestrahlen, insbesondere wenn sie von entfernten Orten herkommen, besser aufzufangen, wird auf die Vorderseite des Instrumentes eine kegelförmige Hülle R aufgesteckt, auf die hintere aber ein Cylinder T, um die entgegengesetzten Löthstellen gegen den Einflufs aller äufsern Wärmequellen zu schützen; beide sind inwendig geschwärzt und mit einem Deckel versehn, den man nach Umständen schliefsen oder öffnen kann.

Fig. 131. 132.

80) Die hier beschriebene Construction der durch ihre ganz aufserordentliche Empfindlichkeit so ausgezeichneten *thermoelektrischen Thermometer* hat man seitdem im Wesentlichen beibehalten, und insbesondere sind sie von Melloni zu seinen wichtigen Untersuchungen über das Verhalten der Wärme angewandt worden, wovon seiner Zeit die Rede seyn wird[1]. Sie

1 S. Art. *Wärme, strahlende.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

werden von Gourjon in Paris zugleich mit den übrigen, von Melloni gebrauchten Apparaten verfertigt, man erhält sie aber sehr fein und höchst sauber gearbeitet von Oertling in Berlin, zugleich mit einem geeigneten Multiplicator, für 32 Thaler, und nach einem solchen Exemplare ist die Zeichnung entworfen. Man erkennt darin bald das messingne Stativ mit seinem Fufse AB und dem Träger ab, welcher hohl und mit einer in ihm beweglichen massiven Stange versehn ist, um das Instrument vermittelst einer Klemmschraube bei b höher oder niedriger zu stellen. In dem messingnen Cylinder ss befinden sich 28 an ihren Enden zusammengelöthete Paare von Wismuth und Antimon[1], welche vorn in 4 Reihen, jede mit 7 Elementen so geordnet sind, dafs die flachen, scharf keilförmig zugespitzten Enden eine mit der vordern Grundfläche des sie einschliefsenden hohlen Cylinders ss parallele, etwa 0,5 bis 1 Linie zurücktretende Ebene bilden, der Cylinder hat vorn einen aufgesteckten und hinten einen aufgeschraubten Deckel, ist vermittelst des Scharnieres g in verticaler und vermittelst des in dem hohlen Träger ab steckenden Stabes in horizontaler Ebene drehbar, wobei er jedoch durch Reibung in jeder ihm gegebenen Lage ruht. An beiden Seiten des Cylinders, einander gegenüber, sind messingne Kügelchen α, α angeschraubt (wovon nur eins in der Zeichnung sichtbar ist), die mit den Polen der Säule in leitender Verbindung stehn, in welche dann die zum Multiplicator führenden Leitungsdrähte vermittelst kleiner Schrauben festgeklemmt werden. Letztere müssen von angemessener Dikke, ungefähr 0,1 Lin. stark seyn und stehn mit den Windungen des Multiplicators in unmittelbarer Verbindung, dessen Construction bereits beschrieben worden ist[2]. Bei den von Gourjon verfertigten Apparaten haben die Nadeln 53 Millim. Länge, der Multiplicatordraht hat 0,76 Millim. Dicke und ist 150mal umgewunden. Fig. 133.

Wie schon erwähnt worden, ist Becquerel[3] der anfänglichen Construction thermoelektrischer Säulen treu geblieben

1 Melloni's Säule enthält 50 Paare. S. Becquerel Traité expérimental de l'Électricité. T. III. p. 425.

2 S. Art. *Multiplicator*. Bd. VI. S. 2281.

3 Traité expérimental de l'Électricité. T. IV. p. 1 ff.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und hat durch Verbesserung dieser Combinationen zweier Elemente für die Thermometrie wohl unzweifelhaft ebenso viel genützt, als Nobili und Melloni durch die zusammengesetzte Säule, hauptsächlich insofern es ihm gelungen ist, eigentliche Thermometer zu erhalten, statt dafs die letztgenannten Gelehrten nur Thermoskope, allerdings von ganz unerwarteter Feinheit, geliefert haben. Das Princip, worauf die Messung der Wärme beruht, besteht ganz einfach darin, dafs zwei Löthstellen der Apparate in Anwendung kommen, deren eine auf einer genau bestimmten Temperatur erhalten, die andere der zu messenden ausgesetzt wird, und die dann nach der einen oder andern Seite statt findende Abweichung der Magnetnadel des Multiplicators giebt den Unterschied beider Temperaturen, nachdem man vorher durch genaue Versuche ausgemittelt hat, welches Verhältnifs zwischen der Menge der von der Nadel durchlaufenen Bogentheile zu der Zahl der Thermometergrade statt findet.

81) Becquerel unterscheidet diejenigen thermoelektrischen Apparate, die bestimmt sind, höhere Temperaturen zu messen, von denen, die für mittlere, etwa von — 50° bis + 100° C., in Anwendung kommen. Ein solcher der erstern Art ist bereits[1] erwähnt worden und besteht aus zwei Drähten von verschiedenartigem Platin. Man wählt für hohe Temperaturen absichtlich zwei in der thermoelektrischen Reihe nicht weit von einander abstehende Metalle, damit die Abweichung der Magnetnadel nicht zu stark ist, also auch Platin und Palladium, ungefähr 0,3 Millim. dick, die man mit ihren einen Enden nur durch einen Knoten zusammenschürzt. Diese beiden vereinten Metalle haben, ebenso wie zwei verschiedene Arten Platin, die Eigenschaft, dafs bis mindestens 350° C. die Abweichungen der Magnetnadel in Folge des elektrischen Stromes, welcher entsteht, wenn man eine der Löthstellen auf 0° C. oder auf einer sonstigen constanten niedrigen Temperatur erhält, die andere aber der Hitze aussetzt, den Graden der Wärme fortwährend proportional bleiben. Mit einem Apparate aus zwei Platindrähten mafs Becquerel in Verbindung mit Brongniart die Hitze eines Porzellanofens zu Sèvres und fand sie bei einer Abweichung der Magnetnadel von 27°,5

1 S. Art. *Thermomagnetismus*, am Ende.

nach dem vorher ausgemittelten Verhältnisse = 2542°,8 C., wonach also die höchsten Temperaturen hierdurch mefsbar sind.

82) Sollen geringere Temperaturen unter 100° C. gemessen werden, so müssen die Metalle zu den besser leitenden gehören, damit der durch geringe Wärmeunterschiede erregte elektrische Strom die Magnetnadel genügend zur Abweichung bringt, und Becquerel giebt daher einer Verbindung von Kupfer und Eisen den Vorzug. Dahin gehört dann auch der Apparat, womit er selbst und Breschet die Temperaturen in verschiedenen Tiefen des Genfersees untersucht haben[1] und den man überhaupt bei unzugänglichen oder mit sonstigen Thermometern nicht wohl erreichbaren Orten anwendet. Senkt man die Drähte ins Wasser oder ist ein nachtheiliger Einflufs von Säuren zu fürchten, so müssen sie verzinnt, mit Seide umwickelt und mit Pech oder Harzfirnifs überzogen werden. Man windet dann die vereinten Drähte um eine Rolle, die sich mit einer Handhabe umdrehn läfst, und senkt die beiden zusammengelötheten Enden bis an den Ort hinab, dessen Temperatur man messen will. Auf diese Weise kann die Wärme in gröfseren Tiefen, z. B. in Bohrlöchern, gefunden werden, sobald sie von derjenigen der Oberfläche, wo sich die andere der Löthstellen befindet, verschieden ist, und wenn der Doppelfaden der Metalldrähte nicht länger als etwa 20 Meter ist, so sollen sogar Bruchtheile eines Centesimalgrades mefsbar seyn. Will man die Temperaturen der Wasserschichten in Seeen bis 150 oder 200 Meter Tiefe messen, so senkt man die zusammengelötheten Enden, nachdem sie mit einem Gewichte von etwa zwei Kilogrammen beschwert worden sind, langsam hinab, und gewahrt sogleich, durch die beobachtete Ablenkung der Magnetnadel, ob die Temperatur sich ändert, was selbst ein Registerthermometer nicht leistet. Für geringere Tiefen ist eine Dicke der Drähte von 1 Millim. hinreichend, müssen sie aber bis 400 Fufs lang oder länger seyn, so werden Temperaturunterschiede von 10° bis 15° nur schwer angezeigt, und man müfste dickere Drähte nehmen, wenn dadurch der Apparat nicht zu unbehülflich würde. Fig. 134.

83) Von gröfster Wichtigkeit ist die Anwendung dieser

1 S. Art. *Temperatur*. S. 270.

Gattung von Apparaten zur Erforschung der Temperaturen in den Organen lebender Pflanzen und Thiere, wohin man selbst mit den kleinsten Thermometern entweder überhaupt oder ohne nachtheilige und die Versuche selbst störende Verletzungen nicht dringen kann, nicht zu gedenken, dafs andere Thermometer stets eine Menge Wärme absorbiren, ehe sie nach Verlauf einiger Zeit die Temperatur der Umgebung anzeigen, weswegen sich schnell vorübergehende Wechsel mit ihnen nicht messen lassen. Bei den thermoelektrischen Apparaten genügen Nadeln aus zwei zusammengelötheten Metalldrähten von nicht mehr als 0,5 Millim. Dicke und einem Decimeter Länge, zuweilen blofs mit ihren Spitzen zusammengelöthet und übrigens durch eine feine Membrane getrennt; die andern beiden Enden werden dann mit den Drahtenden eines empfindlichen Thermomultiplicators oder Galvanometers verbunden. Kupfer und Stahl eignen sich vorzüglich zu solchen Apparaten, die Becquerel wegen ihrer Bestimmung zum Messen der Wärme in Pflanzen und Thieren *thermophysiologische* nennt und deren Empfindlichkeit so grofs seyn soll, dafs sie $0^0,01$ C. angeben. Dabei ist erforderlich, dafs die andere Löthstelle in einer constanten, von der zu untersuchenden wenig verschiedenen Temperatur erhalten werde. Für diesen Zweck hat Sorel einen eigenen Apparat ersonnen, es scheint mir aber nicht nöthig, die Beschreibung desselben hier mitzutheilen, da sich leicht geeignete Vorrichtungen hierfür herstellen lassen. Um zu wissen, welche Temperatur die Spitze der thermoelektrischen Nadel beim Einstechen in einen vegetabilischen oder animalischen Körper gehabt habe, darf man sie nur in ein Gefäfs mit Wasser tauchen und dessen Temperatur so lange erhöhn, bis die Magnetnadel eine gleiche Abweichung erreicht; aufserdem aber giebt die Abweichung der Magnetnadel bei einem gemessenen Unterschiede der Wärme dieses Wassers und der Umgebung das Verhältnifs derjenigen Wärmegrade an, die eine gewisse Abweichung der Magnetnadel bewirken. Es ist bei diesen Apparaten nicht nöthig, die Enden der Drähte an die des Multiplicators zu löthen, sondern es genügt, sie mehrmals so umzuschlingen, wie die Zeichnung angiebt, da es genugsam erwiesen ist, dafs genaue Berührung blanker Metallflächen zur Fortführung des elektrischen Stromes hinreicht. Solche Windungen kann man nach

Fig. 135.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Belieben aufstecken und abziehn, dann ist es aber räthlich, ihre inneren Flächen zuweilen mit einer kleinen runden Feile oder einem geeigneten Ausräumer wieder blank zu machen. Beim Einsenken der Löthstelle zweier Drähte in einen lebenden vegetabilischen oder animalischen Körper kann es sich ereignen, dafs die beiden Metalle mit der vorhandenen Feuchtigkeit eine hydroelektrische Kette bilden, deren Wirkungen dann von den thermoelektrischen nicht leicht zu unterscheiden sind. Man vermeidet dieses, wenn man die einzustechenden Drähte mit Schellackfirnifs überzieht und diesen Ueberzug von Zeit zu Zeit erneuert, was jedoch den Schmerz beim Einstechen vergröfsert. Endlich ist aber noch zu bemerken, dafs man die Leitungsdrähte, welche von den zusammengelötheten Nadeln zum Multiplicator führen, nicht beträchtlich verlängern oder verkürzen darf, weil sonst das Verhältnifs der Abweichungen der Magnetnadel zu den Unterschieden der Temperaturen verändert wird. Im Allgemeinen ist es gleichgültig, ob die mit ihren einen Enden zusammengelötheten Drähte (am zweckmäfsigsten von Eisen und Kupfer) eine gerade Linie bilden, oder beliebig gegen einander geneigt sind, in den meisten Fällen aber wird man am zweckmäfsigsten die Form von Lancetten wählen, die am Ende, da wo sich die Löthstelle befindet, zugespitzt oder schwach abgerundet, gerade oder gebogen sind. Die Länge der Löthstelle, welche beide Enden der Drähte verbindet, beträgt nur etwa eine Linie, und da sie sich aufserdem nirgends metallisch berühren dürfen, so wird der Rest mit einem feinen Häutchen (Ammiumhäutchen, nach Becquerel die feine Haut, welche den Kiel der Gänsefedern zu umgeben pflegt) überzogen, die man mittelst etwas Firnifs aufklebt und diesen Firnifs von Zeit zu Zeit erneuert. Um zu erfahren, ob aufser den thermoelektrischen Wirkungen noch hydroelektrische erzeugt werden, wie man stets fürchten mufs, taucht man die gelöthete Spitze in Wasser, dessen Schichten eine durchaus gleichmäfsige Temperatur haben, und senkt sie dann mehrere Centimeter tiefer ein. Wenn hierdurch die Abweichung der Magnetnadel sich nicht ändert, so ist man gegen den Einflufs hydroelektrischer Strömungen gesichert. Ebenso müssen die sämmtlichen Nadeln, wenn man deren mehrere zu dem nämlichen Versuche gebrauchen und die erzeugten Abwei-

Fig. 136.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

chungen der Magnetnadel auf gleiche Weise berechnen will, aus ganz gleichen Metallen, also aus den nämlichen Drähten verfertigt seyn, weil eine Verschiedenheit der im Ganzen gleichen Metalle ein anderes Verhältnifs der magnetischen Ablenkungen und der diese bedingenden Wärmegrade herbeiführt. Um eine Vorstellung von der Methode zu erzeugen, die man bei Versuchen dieser Art anwendet, möge die Zeichnung derjenigen Apparate dienen, vermittelst deren Becquerel und Breschet die Temperaturen der verschiedenen Theile des thierischen Körpers und die Wärmeentwickelung durch Contraction der Muskeln untersuchten. Hierin sind die in den Muskel gebrachte Löthstelle, die zweite Löthstelle und das Gefäfs mit Wasser, worin letztere stets auf der Temperatur der mittleren thierischen Wärme erhalten wurde, der Multiplicator und die Verbindung desselben mit dem thermoelektrischen Apparate von selbst klar[1]. Eine Mittheilung der Resultate, die zunächst der Physiologie angehören, würde hier nicht am rechten Orte seyn, wichtig aber ist zu bemerken, dafs ein Wärmeunterschied von 1° C. eine Ablenkung der Magnetnadel von 10 Graden bewirkte und man daher sehr gut 0°,1 Temperaturunterschied messen konnte.

Fig. 137.

84) Auch Pouillet[2] hat thermoelektrische Apparate zum Messen sehr hoher und sehr tiefer Temperaturen benutzt, wie bereits erwähnt worden ist[3], weswegen es hier genügt, zu bemerken, dafs die von ihm angewandte einfache thermoelektrische Säule aus Eisen und Platin bestand, indem in die Schwanzschraube eines Flintenlaufes ein Platindraht mit genauer metallischer Berührung eingesenkt und festgeklemmt war, die Fortsetzung desselben aber durch eingebrachte Magnesia oder Asbest von den Wandungen des Eisens getrennt gehalten wurde, ohne auch die Ränder des Loches in einer am andern

---

1 Am schönsten und vollständigsten findet man Zeichnung und Beschreibung dieses Apparates und der Versuche in Annales des Sciences naturelles cet. Sec. Sér. T. III. Zoolog. Par. 1835. p. 257.

2 Aus Compte rendu 1836. II. p. 782. in Poggendorff Ann. XXXIX. 574.

3 S. Art. *Thermomagnetismus.* Der dort beschriebene und hier wieder erwähnte Apparat besteht im Wesentlichen aus einem an seinen beiden Enden mit Eisen metallisch verbundenen Platindrahte, aber die Wahl des Flintenlaufes ist dabei nicht zweckmäfsig.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ende des Laufes eingebrachten Schraube, durch welches der Platindraht hervorragte, zu berühren. Zum Messen hoher Kältegrade, namentlich der durch Verdampfung fester Kohlensäure THILORIER's erzeugten[1], gebrauchte POUILLET[2] eine einfache Kette aus Kupfer und Wismuth. Um die Thermometergrade zu bestimmen, welche bei diesem speciellen Apparate den Ablenkungen der Magnetnadel[3] zugehören, wurde die eine Löthstelle in einer constanten Temperatur von 0° C. erhalten, die andere wachsenden Temperaturen ausgesetzt, die durch ein gewöhnliches Quecksilberthermometer genau bestimmt waren, und die so erhaltenen Abweichungen der Magnetnadel gaben dann das Mafs der Temperaturen. Diese Versuche lieferten folgende Resultate:

Versuch	Temperatur der ersten Löthstelle	Temperatur der zweiten Löthstelle	Beobachtete Ablenkung	Sinus der Ablenkung	Mittlere Intensität für 1° C.
Nr. 1	0°	17°,6	11°,30	0,1994	0,01134
— 2	0	21,0	13,45	0,2377	0,01132
— 3	0	30,0	20,00	0,3420	0,01140
— 4	0	40,0	26,45	0,4500	0,01125
— 5	0	50,0	34,30	0,5664	0,01133
— 6	0	60,0	42,40	0,6777	0,01128
— 7	0	66,0	48,00	0,7489	0,01134
— 8	0	77,0	61,30	0,8788	0,01141
				Mittel	0,01134

Aus dieser Tabelle ergiebt sich, dafs die thermoelektrische Kette aus Kupfer und Wismuth eine den Temperaturen von

---

1 Vergl. *Wärme, künstliche Kälte.*

2 Aus Compte rendu 1837. T. I. p. 513. in Poggendorff's Ann. XLI. 147.

3 Es ist nicht überflüssig, zu bemerken, dafs bei allen Apparaten dieser Art nicht die Nobili'sche Doppelnadel, die zu empfindlich ist und minder genaue Messungen verstattet, sondern die einfache Nadel angewandt wird, wobei man den aus einem dünnen Kupferblechstreifen gewundenen Multiplicator so drehn mufs, dafs die Längenaxe seiner Windungen mit der Axe der Magnetnadel stets in die nämliche verticale Ebene fällt. Vergl. *Thermomagnetismus.* Abschn. II. N. 6.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

17° bis 77° C. proportionale Intensität besitzt[1], und wenn man diesemnach annehmen darf, dafs dieses nämliche Verhalten auch von 0° bis — 80° oder — 100° statt findet, so ist dieser Apparat zum Messen hoher Kältegrade sehr geeignet. Die durch Verflüchtigung der Kohlensäure erzeugte Kälte wurde damit = — 78°,75 C. und der Gefrierpunct des Quecksilbers = — 40°,5, letzterer nur wenig tiefer, als andere Versuche ergeben, gefunden.

85) g. Verschiedene sonstige Thermometer, die zu eigenthümlichen Zwecken bestimmt sind oder sich durch die Art ihrer Construction auszeichnen, darf ich hier nur kurz berühren, da die Abweichungen derselben von den gewöhnlichen leicht verstanden werden und ihr Werth nicht bedeutend genug ist, um in ausführliche Erörterungen darüber einzugehn. Dahin gehört das Thermometer, welches Marshall Hall[2] vorgeschlagen hat, um kleine Unterschiede der Temperaturen zu messen, dessen Bedürfnifs er fühlte, als er die Wärme einzelner Theile des thierischen Körpers genauer zu ermitteln sich bemühte. Als Mittel, um diesen Zweck zu erreichen, wählte er Verlängerung der Scale; allein dieses führt bald zu einer nicht weiter zu überschreitenden Grenze, und er mufste sich daher entschliefsen, die ungebührlich lange Scale durch Beschränkung auf wenige Grade gehörig zu verkürzen. Deswegen wählte er ein Quecksilberthermometer mit einem Cylinder und einem sehr engen Rohre, deren Verhältnifs zu einander so seyn soll, dafs Zehntel eines Fahrenheit'schen Grades noch eine beträchtliche Länge auf der Scale erhalten. Um dabei das Thermometer, welches nicht zum absoluten Mafse der Wärme dienen, sondern nur kleine Unterschiede angeben soll, auf jede erforderliche Temperatur einzustellen, ist dasselbe oben mit einer Kugel versehn, welche das überflüssige Quecksilber aufnimmt. Wenn also die ganze Länge der Scale nicht mehr als etwa 10 Grade nach F. beträgt, so bringt man aus der obern Kugel so viel Quecksilber in die Röhre, dafs

Fig. 138.

1 Bei der von Pouillet angewandten Kette aus Eisen und Platin war dieses nicht der Fall, s. a. a. O. Bequerel's Kette aus ungleichen Platindrähten dürfte daher, auch wegen ihrer bequemeren und einfacheren Construction, den Vorzug verdienen.

2 London and Edinburgh Phil. Mag. N. XLIV. p. 56.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

das Ende des daraus gebildeten Fadens bei einer von der zu untersuchenden nur wenig verschiedenen Temperatur ungefähr bis in die Mitte der Scale reicht, reducirt diesen Stand auf den eines andern genauen Thermometers und bestimmt hiernach die gemessene Temperatur. Die Regulirung des Instrumentes geschieht in den meisten Fällen am leichtesten dadurch, dafs man das Gefäfs so lange erwärmt, bis das Quecksilber des Fadens mit dem in der obern Kugel in Verbindung kommt; man läfst dann dasselbe bis wenige Grade über der zu untersuchenden Temperatur erkalten und in diesem Momente das überflüssige Quecksilber in die Kugel herabfallen, worauf sich das Ende des Fadens bis ungefähr in die Mitte der Scale zurückzieht. Das Thermometer ist viel leichter zu handhaben, als der oben beschriebene thermoelektrische Apparat, aber bei unvermeidlicher Gröfse des Gefäfses und aufserordentlicher Feinheit des Fadens ungleich weniger empfindlich, auch nicht in alle Theile des thierischen Körpers mit solcher Leichtigkeit und Feinheit hineinzubringen, als jener, dessen Vorzüge eben hierauf beruhn.

86) Ein anderes Thermometer, um sehr geringe Unterschiede der Wärme zu messen, ein eigentliches *Mikrothermometer*, ist von Landriani[1] erfunden worden. Das Princip seiner Construction ist gleichfalls kein anderes, als aufserordentliche Feinheit der Röhre bei grofsem Inhalte der Kugel und dadurch erreichte ungewöhnliche Länge der einzelnen Grade. Dem Weingeiste wird hierbei im Allgemeinen als thermoskopischer Substanz der Vorzug vor allen andern Flüssigkeiten eingeräumt, namentlich auch vor dem Quecksilber, aus Gründen, die wohl nicht durchaus haltbar sind; inzwischen können diese individuellen Thermometer nicht füglich mit Quecksilber gefüllt werden, und dann bleibt allerdings nur der Weingeist übrig, da Schwefeläther von ihm weniger geeignet gefunden wurde, ungeachtet directe Versuche seine Ausdehnung im Verhältnifs von 15 : 11 gröfser gaben, sonstige thermoskopische, noch mehr geeignete Flüssigkeiten scheint aber Landriani damals nicht beachtet zu haben. Diese wirklich verfertigten und beim Gebrauche vortrefflich befundenen Thermometer hatten eine Kugel von nur 3,5 Lin. Durchmesser,

1 Brugnatelli Giorn. di Fisica. Dec. II. T. I. p. 388.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

und waren an 4 Fuſs und darüber lange sehr dicke Glasröhren angeblasen, von einer so feinen Oeffnung im Innern, daſs jeder Grad 10 bis 12 Zoll lang war, mithin füglich $\frac{1}{500}$ bis $\frac{1}{600}$ eines Grades geschätzt werden konnte. Dicke Röhren wurden gewählt, theils um weniger zerbrechlich zu seyn, theils weil sie das Bild des abzulesenden Fadens vergröſsern; genaues Caliber, bei solcher Länge unmöglich, verlangt Landriani nicht, weil die geringen Unterschiede der Weite durch die Länge der einzelnen Grade verschwinden, und auſserdem können die ganzen Grade nach einem genauen Quecksilberthermometer bestimmt werden und dann erhalten die Theile der Grade eine hinlängliche Genauigkeit. Wesentlich bei diesem Thermometer ist, daſs auſser der eigentlichen Kugel am obern Theile der Röhre noch zwei Erweiterungen angebracht sind, wovon die untere D stets mit Weingeist gefüllt ist, die obere E aber nur zur Hälfte, indem sich in der andern Hälfte Luft befindet, über welcher das Rohr zugeschmolzen ist. Es würde sehr schwierig seyn, einen so feinen Faden Weingeist zu erkennen, selbst wenn er gefärbt wäre, auſserdem aber legt Landriani einen groſsen Werth darauf, daſs von der Flüssigkeitssäule kein Theil an den Wänden hängen bleibe und jede hieraus erwachsende Unrichtigkeit vermieden werde (obgleich man diese bei Weingeistthermometern nicht wahrgenommen hat); inzwischen ist die ganze Einrichtung des Instruments von der Art, daſs die Grade nicht durch das Ende der darin enthaltenen Flüssigkeitssäule, sondern durch einen kleinen in der Röhre befindlichen, bei N sichtbaren Cylinder von Quecksilber angezeigt werden. Ehe das Thermometer oben zugeschmolzen wird, erweitert man die Oeffnung der Röhre oben ein wenig, bringt ein geeignet groſses Quecksilberkügelchen auf die Oeffnung und erwärmt das Thermometer, bis von dem noch überflüssig im Thermometer enthaltenen Weingeiste ein Tropfen herausdringt; beim Abkühlen treibt die Luft das Quecksilberkügelchen in die obere Erweiterung E, von wo es weiter in D herabsinkt. Naah dem jedesmaligen Bedürfniſs, wenn man eine kleine Differenz der zunehmenden oder abnehmenden Temperatur messen will, bringt man den Cylinder an die geeignete Stelle in der Röhre, und seine Bewegung giebt dann die Veränderung der Temperatur an, da der Zusammenhang der Quecksilbertheilchen und der Wein-

Fig. 139.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

geisttheilchen unter sich zu stark ist, als dafs sie in dem engen Röhrchen neben einander vorbeigehn sollten. Bei diesem Thermometer ist aufser der Gröfse des Gefäfses noch obendrein die übermäfsige Länge desselben ein abschreckendes Hindernifs seiner Brauchbarkeit.

87) Fourier giebt ein *Contactthermometer* an, dessen Beschreibung man hier suchen könnte, allein es ist kein eigenthümliches Instrument und der Gegenstand wird im Art. *Wärme* berührt werden. Anders verhält es sich mit Collardeau's *Thermomanometer*[1], einem Quecksilberthermometer mit einer zum Messen der Elasticitäten des Wasserdampfes bestimmten Scale. Hierbei kommt es also darauf an, diejenigen Elasticitäten des Wasserdampfes genau zu kennen, welche gewissen Wärmegraden zugehören, und es ist dann ein Leichtes, diese Elasticitäten statt der Temperaturen auf die Scale zu zeichnen, wie bei dem vorliegenden Instrumente durch Aetzen auf die Glasröhre selbst geschehn ist. Zur Bestimmung dieser Elasticitäten wird das Thermomanometer zugleich mit einem richtigen Thermometer in ein Oelbad gesenkt und hiernach werden dann die Grade empirisch aufgetragen. Collardeau nimmt folgende einander zugehörige Gröfsen an:

Temperatur des Dampfes		Atmosphären.	Temperatur des Dampfes		Atmosphären
100° C.	80°,0 R.	1	154°,0 C.	123°,2 R.	5
122,0	97,6	2	161,5	129,2	6
135,0	108,0	3	168,0	134,4	7
145,2	116,2	4	173,0	138,4	8

Inwiefern diese Bestimmungen mit den genauesten über die Elasticität der Dämpfe übereinkommen, mufs eine Vergleichung ergeben, da aber fortgesetzte Versuche stets genauere Resultate hierüber erwarten lassen, so würde bei einer etwas bedeutenderen Aenderung der Apparat seine Brauchbarkeit verlieren, und man ersieht hieraus, dafs es allezeit besser ist, mit genauen Thermometern die Temperaturen zu messen und

1 Jahrbücher des polytechnischen Instituts. Th. XVI. S. 341. Aus Bulletin de la Soc. d'Encouragement cet. XXVI. Année. 1827.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

von diesen auf die Elasticitäten zu schliefsen. Das Thermomanometer hat übrigens zur niedrigsten Zahl 10, oder 10 Zehntheile eines atmosphärischen Druckes von 0,76 Meter Quecksilberhöhe, welche also die Einheiten der Scale bilden, die jedoch nicht gleich sind, indem die Röhre konisch, von der Kugel an nach oben abnehmend, verjüngt ist, damit die oberen Grade oder Theile gröfser werden. Ein Instrument endlich, welches Walter R. Johnson[1] erfunden und *Dampfpyrometer* (*Steam Pyrometer*) genannt hat, womit die Hitze gegebener Körper aus dem Gewichte des durch sie in Dampfgestalt entfernten Wassers bestimmt werden soll, würde eine für den davon zu erwartenden Nutzen zu weitläuftige Beschreibung erfordern, als dafs ich diese hier aufnehmen sollte, da ohnehin ein Jeder, welcher sich dieses Mittels bedienen wollte, leicht einen geeigneten Apparat auffinden würde.

88) Wichtiger, als die Nachweisung solcher, unter den vielen vorhandenen nicht durch vorzügliche Brauchbarkeit ausgezeichneter Werkzeuge, dürfte ein kurzer Nachtrag zur *Pyrometrie* seyn. In dem diesem Gegenstande gewidmeten Artikel ist das von Pouillet erfundene *Luftpyrometer* beschrieben worden[2]; seitdem hat dieser Gelehrte selbst eine Beschreibung und eine Anweisung zum Gebrauche desselben nebst einigen sehr interessanten mit demselben erhaltenen Resultaten geliefert[3], woraus ich noch Folgendes entnehme. Soll die Wärme aus der Ausdehnung der in der Kugel und dem Leitungsrohre aus Platin enthaltenen Luft gefunden werden (welches letztere übrigens einen so engen Canal haben mufs, dafs das Luftvolumen in demselben im Verhältnifs zu dem in der Kugel als verschwindende Gröfse gelten und der Einflufs seiner ungleichen Erhitzung vernachlässigt werden kann), so ist dazu folgende Berechnung erforderlich. Heifst der Rauminhalt der Platinkugel c, der Rauminhalt des zuleitenden Rohres bis zum Nullpuncte der zum Messen bestimmten getheilten Glasröhre z, die Anzahl der in dieser graduirten Glasröhre unter dem verschiedenen Drucke p und p′ befindlichen Kubikcentimeter Luft n und n′, so ist

1 Amer. Journ. of Science and Arts. T. XXII. p. 96.

2 S. Art. *Pyrometer*. Bd. VII. S. 999.

3 Aus Compte rendu 1836. T. II. p. 782. in Poggendorff's Ann. XXXIX. 567.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$c + z = \frac{p'n' - pn}{p - p'} \ldots\ldots 1)$$

Nennt man V das Volumen, welches die Luft im Apparate bei 0° Temperatur und unter 0,76 Meter Luftdruck einnehmen würde, t und p die bestehende Temperatur und den beobachteten Luftdruck, n′ die unter diesen Umständen in der graduirten Glasröhre enthaltene Menge von Kubikcentimetern Luft, a den Ausdehnungscoefficienten der Luft, so ist

$$V = \frac{p}{0,76} \cdot \frac{(c + z + n')}{1 + at} \ldots\ldots 2)$$

Hiernach wird dann n oder die Anzahl von Kubikcentimetern Luft in der graduirten Glasröhre bei der Temperatur 0 und unter dem Luftdrucke p

$$n = \frac{0,76V}{p} - (c + z) \ldots\ldots 3)$$

Ferner sey N das Volumen Luft, auf die Temperatur 0° C. und den Luftdruck p reducirt, welches aus der Platinkugel durch die Temperatur x in die graduirte Röhre getrieben wird, wenn N′ die Anzahl von Kubikcentimetern Luft bezeichnet, die in derselben beobachtet werden, so ist

$$N = \frac{N' - zat}{1 + at} - n \ldots\ldots 4)$$

Heifst dann l′ der Ausdehnungscoefficient des Platins durch Wärme, so ist auch

$$V = \frac{p}{0,76}\left[\frac{N' + z}{1 + at} + \frac{c(1 + l'x)}{1 + ax}\right] \ldots\ldots 5)$$

und man erhält dann

$$x = \frac{N}{c(a - l') - aN} \ldots\ldots 6)$$

Will man in voraus berechnen, welche Anzahl N′ von Kubikcentimetern Luft in der graduirten Röhre bei der Temperatur t und dem Luftdrucke p vorhanden seyn wird, wenn die Platinkugel bis zur Temperatur x erhitzt wird, so hat man

$$N' = \left[\frac{cx(a - l')}{1 + ax} + \frac{0,76V}{p}\right] - (c + z)(1 + at) + zat \ldots 7)$$

woraus sich ergiebt, dafs die Werthe von N′, welche zu 1000° und zu 1200° C. gehören, um fast ein Kubikcentimeter ver-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

schieden sind, und dafs an dieser Stelle der Scale das Intervall von 100° C. auf der graduirten Röhre eine Länge von 13 bis 14 Millimetern einnimmt, obgleich diese Intervalle mit zunehmenden Temperaturen kleiner werden. Pouillet hat bei seinen Versuchen die auffallende Erfahrung gemacht, dafs die durch die Formel 2 gefundenen Werthe von V nicht constant sind, wie sie seyn müfsten, sondern zunehmen, so wie der Druck abnimmt. Auch die durch die Formel 5 gegebenen Werthe von V sind nicht constant, sondern wachsen, so wie die Temperatur der Platinkugel steigt, jedoch nur bis 120° C., indem sie von da an bis 300° C. vollkommen constant sind. Pouillet folgert hieraus, dafs unterhalb 120° C. die Luft in der Platinkugel weder dem Mariotte'schen noch dem von Gay-Lussac für die Ausdehnung derselben aufgefundenen Gesetze folge, ungeachtet letzteres für Luft in einem Glasgefafse von Dulong und Petit bis 360° C. als gültig befunden worden ist. Man wird veranlafst, diese Unregelmäfsigkeit von einer Art Verdichtung der Luft an der Oberfläche des Metalls herzuleiten, derjenigen analog, welche de Saussure bei verschiedenen porösen Körpern gefunden hat[1].

89) Pouillet[2] hat sein Pyrometer auch zum Messen sehr hoher Kältegrade angewandt, was zwar einen Widerspruch zu enthalten scheint, aber doch buchstäblich wahr ist und obendrein zu dem Resultate führt, dafs dieser Apparat die Grade einer tiefen Temperatur noch genauer mifst, als die einer hohen, so dafs man ihn mit Recht *Universalthermometer* nennen könnte. Die Kugel bestand bei dem ersten angestellten Versuche aus Glas, und wurde in einen durch Thilorier bereiteten Brei aus fester Kohlensäure und Schwefelsäure getaucht. Nach 15 bis 20 Minuten hörte die Zusammenziehung der Luft auf, und sie blieb dann noch eine halbe Stunde unverändert, woraus man schliefsen konnte, dafs der Apparat die Temperatur dieses Breies genau messe. Es war aber das vorher bestimmte, auf 0° C. und 0,76 Met. Luftdruck

---

1 Da der Apparat schwerlich mit absolut trockner Luft gefüllt war, so fragt sich, welchen Antheil die darin enthaltene Feuchtigkeit an den beobachteten Abnormitäten gehabt habe.

2 Aus Compt. rend. 1837. T. I. p. 513. in Poggendorff's Ann. XLI. 144. L'Institut 1837. N. 199. p. 81.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

reducirte Volumen der im Apparate enthaltenen Luft $V = 91,57$; der Rauminhalt der Kugel $c = 56,825$ und des Rohrs $z = 2,415$ Kubikcentimeter. Im Augenblicke der Beobachtung fand sich $N' = 8,78$ Kubikcentimeter; $t = 11^{\circ},3$ C.; $p = 0,76465$ Meter, und das Thermometer am Barometer zeigte $13^{\circ},3$ C., wobei N' die Zahl der in der graduirten Röhre befindlichen Kubikcentimeter Luft bezeichnet. Diese Werthe substituirt geben

$$n = \frac{0,76\,V}{p} - (c + z);\ N = \frac{N' - zat}{1 + at} - n;$$

$$x = \frac{N}{c(a - l') - aN} = -78^{\circ},85 \text{ C.}$$

Der Versuch wurde darauf mit einer Platinkugel wiederholt, wobei $V = 92,595$; $c = 56,73$; $z = 2,64$ waren. Es fand sich dann $N' = 9,8$; $t = 11^{\circ},3$; $p = 0,76465$ Met. und das Thermometer am Barometer $= 13^{\circ},3$. Diese Werthe substituirt gaben

$$x = -78^{0},87 \text{ C.}$$

Hieraus ergiebt sich also, dafs das Luftpyrometer sich sehr gut zum Messen tiefer Kältegrade anwenden läfst und zwischen 10^{0} C. bis -80° C. keine Verdichtung der Luft an den Wandungen des Platins statt findet.

90) Das von Pouillet angegebene Pyrometer oder Universalthermometer zeigt sich als ein sehr genaues Mefswerkzeug; allein die Versuche damit erfordern einen zu grofsen Aufwand von Zeit und Mühe, als dafs man es ein praktisches nennen könnte, und sein Gebrauch erstreckt sich daher hauptsächlich nur darauf, dasselbe als einen Normalapparat zu gebrauchen, um andere danach zu prüfen, zu graduiren und zu reguliren. Pouillet, hiervon selbst überzeugt, bringt daher noch andere Mittel zur Messung hoher Temperaturen in Vorschlag, namentlich das oben erwähnte thermomagnetische Pyrometer. Aufserdem erwähnt er[1], dafs die Wärme stark erhitzter Körper, namentlich des Platins, zum Messen hoher Hitzegrade benutzt werden könne, weswegen er die specifische Wärme dieses Metalls mittelst seines Luftpyrometers genau bestimmte. Arago[2] empfiehlt dieses Mittel, jedoch nur

1 Poggendorff Ann. XXXIX. 571.
2 Ann. Chim. et Phys. T. LXIV. p. 334.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

als ein nicht absolut genaues, weswegen er bei der Aufstellung der zur Berechnung erforderlichen Formel die Correctionen wegläſst. Hat man nämlich zwei ungleiche Massen, am besten von Metall, M und M′, welche in einer zu untersuchenden Wärmequelle die Temperatur x erhalten haben, und wirft man sie nach einander in zwei Massen Wasser m und m′ (worin das Gefäſs zugleich mit begriffen seyn möge) von der Temperatur = t, die alsdann nach dem Hineinwerfen von M und M′ die Temperaturen Θ und Θ' erhalten, so ist, wenn die specifische Wärme von M und M′ durch c bezeichnet wird:

$$Mc(x-\Theta) = m(\Theta-t),$$
$$M'c(x-\Theta') = m'(\Theta'-t),$$

woraus man erhält:

$$x = \frac{h\Theta'(\Theta-t)-n(\Theta'-t)}{h(\Theta-t)-n(\Theta'-t)},$$

wenn h und n die Gröſsen M′m und Mm′ bezeichnen. Poggendorff[1] giebt an, daſs auch Lamé[2] dasselbe Verfahren, jedoch nur als ein erstes annäherndes, empfehle, weil die Wärmecapacitäten der Körper sich mit den Temperaturen ändern, zugleich aber erwähnt er, daſs dasselbe Verfahren schon früher durch Schwarz[3] angewandt worden sey, welcher einen Platinwürfel in Quecksilber erkalten zu lassen vorschlug, obgleich auch hierbei aus dem Wärmeverluste des Würfels vor dem Eintauchen in Quecksilber und durch einige Verdampfung des letzteren Metalles Fehler entstehn müssen. Durch das nämliche Verfahren bestimmte Coulomb die zum Härten der Magnete erforderliche Hitze und Laroche die Wärme des Kupfers, welches er in den Focus des einen Brennspiegels bei der Untersuchung der strahlenden Wärme brachte. Die Formel, deren sich Lamé bedient, ist übrigens noch einfacher. Ist nämlich die Wassermasse = M, ihre anfängliche Temperatur = t und ihre Temperatur nach dem Hineinwerfen = Θ, ist die hineingeworfene Metallmasse = m, ihre specifische Wärme = c und ihre Temperatur = T, so erhält man

$$M(\Theta-t) = mc(T-\Theta).$$

---

1 Dessen Annalen XXXIX. 518. Vergl. XIV. 530.
2 In dessen Traité de Phys. p. 417.
3 Bullet. des Sciences technol. T. IX. p. 239.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Eine vorläufige Beobachtung vereinfacht die Rechnung. Denn wenn für diese die Bezeichnungen M, m, c, t', Θ', T' gesetzt werden, so ist

$$M(\Theta' - t') = mc(T' - \Theta')$$

und man erhält

$$\frac{T - \Theta}{T' - \Theta'} = \frac{\Theta - t}{\Theta' - t'},$$

woraus T gefunden wird.

Endlich möge noch bemerkt werden, dafs M'. Sweeny[1] vorgeschlagen hat, die Hitze der Oefen aus der Temperatur zu messen, welche die von einem Hohlspiegel gegen ein Thermometer reflectirten Strahlen desselben erzeugen.

M.

Thermoroskope.

So nennt Dutrochet[2] ein Instrument, bestehend aus einer Röhre, in welcher eine Flüssigkeit an der einen Seite durch von aufsen angebrachte Wärme steigt, an der andern sinkt. Der Name ist abgeleitet von θερμός heifs, ῥόος das Fliefsen und σκοπέω ich sehe; indefs finde ich nicht, dafs es eine weitere Aufnahme unter die physikalischen Apparate gefunden hat.

M.

Thermosiphon.

Dieses ist ein von Fowler[3] erfundener und patentisirter Apparat, welcher wegen vielfacher nützlicher Anwendbarkeit beachtet zu werden verdient. Der Name, von θερμός heifs und σίφων der Heber abgeleitet, bezeichnet genau die sinnreiche Idee, welche dabei zum Grunde liegt. In seiner einfachsten, mehrere Veränderungen gestattenden Gestalt bezeich-

1 Aus Gill's technic. Reposit. T. III. p. 239. in Poggendorff's Ann. XIV. 530.

2 Ann. de Chim. et Phys. T. XLVIII. p. 268.

3 Edinburgh Journ. of Sc. New Ser. N. II. p. 345.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Fig. 140. nen A und B zwei metallene Gefäfse, von denen das erstere auf einem heizbaren Herde steht, das andere in mäfsiger Entfernung an demjenigen Orte, dem man die Wärme zuführen will, beide in gleichem Niveau durch eine horizontale Röhre E verbunden, in welcher sich an irgend einer geeigneten Stelle ein Hahn befindet. Beide Gefäfse werden mit einer Flüssigkeit angefüllt, welche das Metall nicht angreift, am besten und wohl ohne Ausnahme mit Wasser. Aufserdem geht eine heberförmig gebogene Röhre vom einen Gefäfs ins andere mit ihren Enden bis unter den Spiegel des Wassers und ist mit zwei Hähnen F und F′ und einem Trichter zum Füllen G versehn, welcher oben durch einen Kork oder eine sonstige Vorrichtung sich luftdicht verschliefsen läfst; auch ist der im Gefäfse A befindliche Schenkel etwas aufwärts gebogen, damit die durch die Hitze aus dem Wasser entwickelten Luftblasen nicht eindringen. Der Erfinder hat durch Versuche ausgemittelt, dafs G bis 20 F. Höhe über dem Wasserspiegel in den Gefäfsen haben kann und dafs dann die Entfernung des Gefäfses B bis 60 Fufs, die Weite der Röhren aber 3 Z. Durchmesser betragen kann. Es braucht kaum bemerkt zu werden, dafs zuerst die Gefäfse bis zur gehörigen Höhe gefüllt werden müssen; dann verschliefst man F und F′, öffnet G und giefst Wasser bis zum Ueberfliefsen ein, öffnet F und F′, damit die unterhalb der Hahnen befindlichen Luftblasen aufsteigen, verschliefst F und F′, öffnet G und füllt den entstandenen Raum abermals aus, worauf G verschlossen, F und F′ aber für immer geöffnet werden. Beim Gebrauche der Maschine mufs auch E offen seyn, und wird dann das Wasser im Gefäfse A erhitzt, so steigt das wärmere im Heber auf und fliefst in das zweite Gefäfs B, dessen abgekühltes Wasser durch das untere Rohr nach A strömt. Durch die Hitze wird zuweilen Luft aus dem Wasser entwickelt, welche den Heber zum Stillstande bringt und erfordert, dafs man ihn aufs Neue füllt, doch versichert der Erfinder, dafs dieser Fall nur selten eintritt; er zeigt dann ferner, wie dieser Apparat mit Vortheil zum Heizen, insbesondere der Orangerie- und Pflanzenhäuser, anwendbar sey, wo man ohnehin gern feuchte Luft hat. Es ist mir aber auffallend, dafs der Erfinder, namentlich für den genannten Zweck, den Heber beibehält, und nicht eine weit einfachere Vorrichtung in Vorschlag bringt, die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

obendrein so nahe liegt. Wählt man nämlich für die Röhre FF′ statt des Hebers eine horizontale gerade Röhre, oder selbst nur eine offene Rinne, die in beiden Gefäſsen bis unter den Spiegel des Wassers herabgeht, so steht das Wasser im Gefäſse A wegen seiner Ausdehnung durch Wärme höher, als im Gefäſse B, und das Strömen aus A in B durch das obere Rohr und des kälteren Wassers rückwärts von B nach A durch das untere Rohr erfolgt von selbst, auch kann man nach Belieben in jedes dieser Gefäſse nachfüllen, um den Spiegel gleich hoch zu erhalten.

M.

Thermostat

nennt Heeren[1] diejenigen Apparate, deren sich die Chemiker vielfach bedienen, um Gläser, Tiegel und sonstige Gefäſse mit Flüssigkeiten oder sonstigen Substanzen über der Weingeistlampe bequem zu erhitzen. Sie bestehn aus einem metallenen Fuſse mit einer metallenen Säule, auf welcher sich hohle Cylinder mit einem horizontalen Arme und einem an dessen Ende befindlichen Drahtringe auf- und abwärts schieben lassen, um die im Ringe festgehaltenen Gefäſse der Flamme näher zu bringen oder weiter davon zu entfernen.

M.

Thorium,

ein höchstseltenes Erdmetall, von Berzelius im *Thorit* entdeckt und als dunkelbleigraues, schweres Pulver dargestellt.

Sein Oxyd, die *Thorerde* (59,6 Thorium auf 8 Sauerstoff) ist weiſs, von 9,402 spec. Gewicht, erzeugt mit Wasser ein weiſses Hydrat, mit Säuren Salze von rein und stark zusammenziehendem Geschmacke und löst sich nach der Fällung aus der sauren Auflösung nicht in ätzenden, aber in kohlensauren Alkalien.

G.

---

1 Journ. für prakt. Chemie. Th. II. S. 1. 1834. Nr. 9.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Trabanten.

Satelliten, Monde; *Satellites;* Satellites; *Satellites.*

Trabanten oder Monde der Planeten sind kleinere Himmelskörper, welche sich um die Planeten unsers Sonnensystems und mit diesen gemeinschaftlich um die Sonne bewegen. Die Erde hat bekanntlich nur einen solchen Satelliten, den Mond[1], Jupiter hat vier, Saturn sieben und Uranus endlich wenigstens zwei, vielleicht aber sechs solcher Satelliten. Auch bei der Venus haben einige Astronomen einen solchen Nebenplaneten bemerken wollen, wie wir weiter unten sehn werden. Wir wollen das Merkwürdigste, was über diese Monde bisher bekannt geworden und was durch einen der vorhergehenden Artikel (*Nebenplaneten*) nur sehr unvollständig und nach bereits veralteten Angaben mitgetheilt worden ist, hier kurz zusammenstellen und mit der näheren Betrachtung der Jupitersmonde beginnen.

A. Satelliten Jupiters.

I. Entfernung und Umlaufszeit.

Gleich nach der Entdeckung der Fernröhre bemerkte man um Jupiter vier kleine Gestirne, die ihn auf seinem Laufe um die Sonne zu begleiten schienen. Die Stellung dieser Monde gegen ihren Hauptplaneten, in dessen Nähe sie sich stets aufhielten, änderte sich so schnell, dafs man ihre Bewegung schon in einer einzigen Nacht deutlich erkennen konnte. Man erblickte sie bald vor, bald hinter ihrem Hauptplaneten, so dafs sie zu beiden Seiten desselben, einem Pendel gleich, hin und wieder zu gehn schienen. Doch bemerkte man zugleich, dafs die Oscillationen dieses Pendels oder dafs die Entfernungen dieser Monde vom Jupiter nicht bei allen vieren dieselben sind. Der erste unter ihnen, wie man den dem Jupiter näch-

1 S. Art. *Mond.* Bd. VI. S. 2342.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

sten zu nennen pflegte, entfernt sich vom Mittelpuncte seines Hauptplaneten, wenn der letzte selbst in seiner mittleren Distanz von der Sonne ist, im Mittel nur um 111″,11 oder um 0° 1′ 51″,11, der zweite, nächstentfernte, um 176″,78, der dritte um 282″,00 und der vierte oder der am weitesten von Jupiter abstehende um 495″,98. Nimmt man den Halbmesser Jupiters (eigentlich des Aequators dieses Planeten) für seine mittlere Distanz von der Sonne gleich 18″,3714, so findet man für die genannten mittlern Entfernungen der Satelliten vom Mittelpuncte ihres Hauptplaneten:

	Mittlere Distanz in Halbmessern Jupiters	in geogr. Meilen
I Satellit . . .	6,0485	56500
II — . . .	9,6235	89940
III — . . .	15,3502	143500
IV — . . .	26,9983	252300

so dafs also der erste dieser Satelliten nahe ebenso weit vom Jupiter, als unser Mond von der Erde absteht, während diese Entfernung beim vierten Satelliten nahe fünfmal gröfser ist. Die fortgesetzte Beobachtung dieser gröfsten Ausweichungen oder Elongationen, wie man sie zu nennen pflegt, liefsen auch bald die Dauer der Umlaufszeiten dieser Monde um ihren Hauptplaneten erkennen, obschon andere Erscheinungen, von welchen wir bald reden werden, noch viel genauere Mittel zu diesem Zwecke angeboten haben. Nach den neuesten Bestimmungen sind die siderischen Revolutionen dieser Satelliten in mittleren Sonnentagen ausgedrückt

des I	1,7691378	Tage
II	3,5511810	
III	7,1545528	
IV	16,6890190.	

Bemerken wir noch, dafs die vorhergehenden Angaben aus der *Expos. du syst. du monde* von Laplace (letzte Ausgabe) genommen sind und dafs seitdem Struve[1] mit seinem grofsen

1 S. Schumacher Astronom. Nachr. N. 97 u. 139.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Refractor von Fraunhofer den Jupiter neuen, sehr genauen Messungen unterworfen hat, aus welchen hervorgeht

Jupiters Aequatorialhalbmesser	A . . .	19″,163
— Polarhalbmesser	B . . .	17,769

für die mittlere Distanz (5,20279) des Planeten. Daraus folgt die Abplattung α Jupiters

$$\alpha = \frac{A - B}{A} = 0{,}0728 = \frac{1}{13{,}71}.$$

Schröter in Lilienthal hat diese Abplattung gleich $\frac{1}{17}$, also gegen Struve zu grofs, Arago[1] aber hat $\alpha = \frac{1}{17{,}7}$, also gegen Struve viel zu klein gefunden.

II. Gröfse und Massen dieser Satelliten.

Die scheinbaren Halbmesser dieser Monde, wie sie von der Erde, zur Zeit der mittlern Entfernung Jupiters, gesehn werden, sind

	nach Struve . . .	nach Schröter
I	0″,507	0″,531
II	0,455	0,435
III	0,744	0,771
IV	0,636	0,537

bis auf den IV. Trabanten wohl übereinstimmend. Werden Struve's Zahlen durch 508,69 multiplicirt, so erhält man für den Halbmesser diesen Trabanten in geogr. Meilen:

I . . .	259 Meilen
II . . .	230
III . . .	379
IV . . .	324.

Der Halbmesser unseres Erdmonds beträgt nahe 230 Meilen, ist also an Gröfse dem zweiten Jupitersmonde gleich, während der dritte und vierte bedeutend gröfser sind.

So kleine und überdiefs so lichtschwache Scheibchen, deren Durchmesser kaum 1,5 Secunde beträgt, können wohl von keinem unbewaffneten menschlichen Auge gesehn werden.

---

1 Laplace Exposition du Système du monde. T. I. p. 68. Es heifst daselbst: *par des mesures très précises.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Auch haben die Alten, bis zur Entdeckung des Fernrohrs, nichts von ihrer Existenz gewufst. Inzwischen haben sie den Jupiter oft und aufmerksam genug betrachtet, wie die Beobachtungen zeigen, die wir im Almagest des Ptolemäus und in den Schriften der arabischen Astronomen finden, der ungemeinen, ans Unglaubliche grenzenden Nachrichten von der Virtuosität des Gesichts nicht zu gedenken, die uns z. B. Plinius in seiner Naturgeschichte erhalten hat. Dessenungeachtet fehlt es nicht an Erzählungen, wo man diese Satelliten mit blofsen Augen gesehn haben will. So beruft sich auch Uckert[1] auf das Zeugnifs Musschenbroek's, der dasselbe nicht von sich selbst, aber doch von Andern behauptet haben soll. Allein alle diese Nachrichten werden wohl ihre beste Erklärung darin finden, dafs der Sache unkundige Zuschauer dem Jupiter nahe stehende Fixsterne für jene Trabanten genommen haben.

Aus den vorhergehenden Angaben kann man leicht finden, unter welchem Winkel diese Monde einem Beobachter im Mittelpuncte Jupiters erscheinen würden. Dieser scheinbare Halbmesser beträgt nämlich

für	I . . .	0°	16′	38″
	II . . .	0	8	36
	III . . .	0	9	29
	IV . . .	0	3	46.

Der erste Satellit erscheint daher den Jupitersbewohnern nahe so grofs, wie unser Mond uns, während der vierte Satellit im Durchmesser nur den 5ten und in der Oberfläche den 25sten Theil unseres Monds beträgt.

Wie endlich unmittelbare Beobachtungen die *Gröfse*, so haben auch theoretische Untersuchungen die *Masse* dieser vier Himmelskörper kennen gelehrt. Nach den neuesten Angaben von Laplace[2] hat man, wenn die Masse Jupiters als Einheit angenommen wird,

Masse von	I	0,00001733
	II	0,00002324
	III	0,00008850
	IV	0,00004266.

1 V. Zach monatl. Correspond. Th. XXIV. S. 592.
2 Exposition du Syst. du Monde. T. II. p. 104.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Vergleicht man aber diese Massen mit den bekannten Massen der Erde und ihres Monds, so erhält man

Masse von I	... 0,0054	der Erdmasse	... 0,373	unserer Mondmasse
II	... 0,0072	— —	0,497	— —
III	... 0,0273	— —	1,884	— —
IV	... 0,0132	— —	0,911	— —

so dafs also der Satellit I noch nicht die Hälfte, der III. aber nahe das Doppelte unserer Mondmasse hat.

Ist aber Volumen und Masse eines Himmelskörpers bekannt, so läfst sich auch leicht die *Dichtigkeit* desselben und die *Fallhöhe* der Körper auf seiner Oberfläche bestimmen. Aus dem Vorhergehenden findet man

Dichte von I	0,69 der Dichte Jupiters	.. 0,16 der Dichte der Erde	.. 0,77 d. Dichte d. Wassers
II	1,72 — —	0,40 — —	1,94 - —
III	1,22 — —	0,30 — —	1,38 - —
IV	1,68 — —	0,40 — —	1,90 - —

und die Fallhöhe der auf der Oberfläche dieser Satelliten sich selbst überlassenen Körper, die bei uns 15,092 Par. Fufs oder 2173 Linien beträgt, ist

auf I	nur	0,78 Par. Fufs
II	—	1,59
III	—	1,98
IV	—	1,91.

III. Lage der Bahnen der Satelliten.

Aus den oben gegebenen siderischen Revolutionen dieser Satelliten findet man sofort auch die tropischen und synodischen Umlaufszeiten derselben. Ist nämlich T und T′ die siderische und tropische Revolution Jupiters und t, t′ und s die siderische, tropische und synodische Revolution eines Satelliten dieses Planeten, so hat man, wenn T, T′ und t bekannt sind, die Gröfsen t′ und s durch folgende Gleichungen:

$$s = \frac{Tt}{T-t},$$

$$t' = \frac{TT't}{TT' + (T-T')t},$$

wobei noch bemerkt werden kann, dafs die Gröfse T' aus T durch die Gleichung gegeben wird

$$T' = \frac{T}{1 - \frac{T m}{360}},$$

wo m = — 0,0000382 die tägliche Präcession der Aequinoctien in Graden ausgedrückt bezeichnet. Man findet so

	synodische Revolution	tropische	
I . . .	1,769864	1,769138	Tage
II . . .	3,554093	3,551180	—
III . . .	7,166385	7,154547	—
IV . . .	16,753553	16,688989	—

Man sieht, dafs zwischen den oben angeführten siderischen Umlaufszeiten und zwischen den mittleren Abständen der Satelliten vom Mittelpuncte ihres Hauptplaneten das merkwürdige, von Kepler entdeckte Verhältnifs besteht, nach welchem die Quadrate der Revolutionen sich wie die Würfel der Abstände verhalten, ein, wie es scheint, allgemeines Gesetz der Natur, da nicht nur die Planeten und Satelliten unseres Sonnensystems demselben gehorchen, sondern da man dasselbe auch jenseit unseres Sonnensystems, bei den Doppelsternen, wieder findet.

Die *Bahnen* dieser Satelliten sind ohne Zweifel elliptisch, obschon es schwer ist, die geringe Abweichung derselben von der Kreisform in dieser grofsen Entfernung von mehr als hundert Millionen geographische Meilen durch Beobachtungen zu bestimmen. Etwas Näheres hat man über die *Lagen* dieser Bahnen erfahren. Man bemerkte bald, dafs sie sämmtlich nur sehr wenig gegen den Aequator Jupiters geneigt sind und dafs überdiefs die Knotenlinien dieser Bahnen durchaus mit der Knotenlinie des Aequators Jupiters in der Bahn dieses Planeten zusammenfallen. Man fand für diese Neigungen der Satellitenbahnen gegen den Jupitersäquator

I Satellit . . .	0°,002
II	0,0184
III	0,0842
IV	0,4092.

Allein die Lage des Jupitersäquators ist selbst veränderlich am

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Himmel. Im Anfange dieses Jahrhunderts oder am ersten Januar 1801 war die jovicentrische Länge des aufsteigenden Knotens dieses Aequators in der Jupitersbahn gleich 314°,465 und die jährliche retrograde Bewegung dieses Knotens gleich 0°,000074. Die Neigung des Aequators gegen die Jupitersbahn ist für dieselbe Epoche 3°,0920 mit der jährlichen Zunahme von 0°,0000063. Bezeichnet also t die Anzahl Jahre, die seit dem Anfange des Jahres 1801 verflossen ist, so ist die Länge des aufsteigenden Knotens des Jupitersäquators in seiner Bahn

$$314^0,465 - 0^0,000074\,t + 0^0,013917\,t$$

oder

$$314^0,465 + 0^0,013843\,t,$$

wobei die jährliche Präcession der Aequinoctien 51″,1012 oder 0°,013917 angenommen wurde und die Neigung des Aequators gegen die Bahn Jupiters

$$3^0,0920 + 0^0,0000063\,t.$$

Da nun die eben angeführten Neigungen der Satellitenbahnen gegen den Jupitersäquator constant sind, so erhält man die mittleren Neigungen dieser Satellitenbahnen gegen die Jupitersbahn, wenn man diese Neigungen gegen den Aequator von 3°,0920 subtrahirt, so dafs daher die Neigungen der Satellitenbahnen gegen die Jupitersbahn sind

I Satellit . . .	3°,090
II	3,074
III	3,008
IV	2,683.

Die *periodischen Aenderungen* dieser Neigungen aber lassen sich am einfachsten so darstellen. Die wahre Bahn eines jeden Satelliten bewegt sich gleichförmig und mit einer constanten Neigung gegen seine mittlere Bahn so, dafs die wahre Länge der Bahn durch ihren Neigungswinkel gegen die mittlere Bahn und durch die Länge ihres auf diese mittlere Bahn sich beziehenden aufsteigenden Knotens gegeben ist. Diese Neigungen und Knotenlängen der wahren Bahnen auf ihren mittleren sind, wenn t die vorige Bedeutung hat, folgende:

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Der wahren Bahnen

	Neigung gegen die mittl. Bahn	Knotenlänge in der mitteren Bahn
Sat. I . . .	unmerklich	
II . . .	0°,437 . . .	12°,880 — 12°,048 t
III . . .	0,206 . . .	222,979 — 2,554 t
IV . . .	0,249 . . .	70,479 — 0,691 t

und zu diesen Knotenlängen mufs noch die Präcession = 0°,013917 t addirt werden, um diese Längen von dem wahren Frühlingspuncte der Erdbahn zu haben.

Ist daher n und k die Neigung und die Länge des aufsteigenden Knotens der Satellitenbahn gegen die Jupitersbahn und bezeichnet v die jovicentrische Länge des Satelliten in seiner Bahn, so hat man für die jovicentrische Breite s des Satelliten über der Jupitersbahn:

$$\text{Sin. } s = \text{Sin. } n \text{ Sin. } (v - k)$$

oder, da n, also auch s nur klein ist,

$$s = n \text{ Sin. } (v - k).$$

Nach dem Vorhergehenden ist aber für das Jahr 1801 + t die Länge des mittleren Knotens aller Satellitenbahnen, von dem Frühlingsnachtgleichenpuncte der Erde gezählt, gleich 314°,465 + 0°,013843 t, also hat man auch für den Satelliten I die jovicentrische Breite

$$s = 3°,090 \text{ Sin. } (v - 314°,465 - 0°,013843\, t)$$

und ebenso für den zweiten

$$s' = 3°,074 \text{ Sin. } (v' - 314°,465 - 0°,013843\, t).$$

Da aber die Länge des aufsteigenden Knotens der wahren Bahn von II auf der mittleren Bahn gleich

$$12°,8805 - 12°,0483\, t + 0°,013917\, t$$
$$= 12°,8805 - 12°,03438\, t$$

ist, so folgt daraus die Vermehrung der Breite dieses Satelliten

$$\Delta s' = 0°,4636 \text{ Sin. } (v' - 12°,8805 - 12°,03438\, t),$$

so dafs daher die wahre Breite $s' + \Delta s'$ dieses zweiten Satelliten seyn wird

$$3°,074 \text{ Sin. } (v' - 314°,465 - 0°,0138\, t)$$
$$+ 0°,464 \text{ Sin. } (v' - 12°,880 + 12°,0344\, t).$$

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Ebenso erhält man für die wahre jovicentrische Breite des dritten Satelliten

$$3^\circ,008 \text{ Sin.}(v'' - 314^\circ,465 - 0^\circ,0138\,t)$$
$$+ 0^\circ,206 \text{ Sin.}(v'' - 222^\circ,979 + 2^\circ,5538\,t)$$

und endlich für die des vierten Satelliten

$$2^0,683 \text{ Sin.}(v''' - 314^0,465 - 0^0,0138\,t)$$
$$+ 0^0,249 \text{ Sin.}(v''' - 70^0,479 + 0^0,6914\,t).$$

Da nämlich die hier betrachteten Neigungen sämmtlich nur klein sind, so kann man sie ohne merklichen Fehler durch folgende einfache Gleichungen unter einander verbinden. Ist zum Beispiel N und K die Neigung und Länge des aufsteigenden Knotens der Jupitersbahn gegen die Ekliptik, n und k die Neigung und Länge des aufsteigenden Knotens der Satellitenbahn gegen die Jupitersbahn, und endlich ν und $\varkappa$ die Neigung und Länge des Knotens der Satellitenbahn gegen die Ekliptik, so hat man durch die sphärische Trigonometrie die völlig strengen Formeln

$$\text{Cos.}\,\nu = \text{Cos.}\,n\,\text{Cos.}\,N - \text{Sin.}\,n\,\text{Sin.}\,N\,\text{Cos.}\,(k - K),$$

$$\text{Tang.}\,(\varkappa - K) = \frac{\text{Sin.}\,n\,\text{Sin.}\,(k - K)}{\text{Cos.}\,n\,\text{Sin.}\,N + \text{Sin.}\,n\,\text{Cos.}\,N\,\text{Cos.}\,(k - K)},$$

woraus man, wenn N, n und ν nur klein sind, leicht folgende abgekürzte Ausdrücke ableitet:

$$\left.\begin{aligned} \nu\,\text{Cos.}\,\varkappa &= n\,\text{Cos.}\,k + N\,\text{Cos.}\,K \\ \nu\,\text{Sin.}\,\varkappa &= n\,\text{Sin.}\,k + N\,\text{Sin.}\,K \end{aligned}\right\}.$$

Aus den vorhergehenden Angaben erhält man auch sofort die tropischen Umlaufszeiten der Knoten der wahren Bahnen auf ihren mittleren in Beziehung auf den Frühlingspunct der Erde. So ist für den zweiten Satelliten die jährliche siderische Bewegung $12^\circ,048$, also die jährliche tropische Bewegung $12^\circ,048 - 0^\circ,0139 = 12^\circ,0341$, und daher die gesuchte tropische Umlaufszeit dieses Knotens

$$\frac{360}{12,0341} = 29,914 \text{ Julian. Jahre.}$$

Ebenso erhält man für den Knoten des dritten Satelliten die tropische Umlaufszeit 141,739 und für den des vierten 531,350 Jahre.

Die *Neigungen* werden am gröfsten, wenn diese aufsteigenden Knoten der Bahnen mit dem aufsteigenden Knoten des

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Jupitersäquators zusammenfallen, und am kleinsten, wenn sie mit dem niedersteigenden Knoten dieses Aequators coincidiren. Um die Perioden dieser Aenderungen der Neigungen zu finden, hat man z. B. für den zweiten Satelliten die jährliche tropische Bewegung der Knoten der wahren Bahn auf der mittleren, nach dem Vorhergehenden,

$$-12^\circ,0483 + 0^\circ,0139 = -12^\circ,0344,$$

während die jährliche tropische Bewegung der Knoten des Jupiteräquators ist

$$+ 0^\circ,0138,$$

also ist auch die jährliche Bewegung der Knoten der wahren Bahn auf der mittleren in Beziehung auf den Knoten des Jupiteräquators gleich $12^\circ,0482$ und daher die Periode der Aenderung der Neigung des zweiten Satelliten

$$\frac{360}{12,0482} = 29,88 \text{ Jahre.}$$

Ebenso findet man für den dritten 140,97 und für den vierten 520,71 Jahre.

Um endlich die Epochen dieser gröfsten Neigungen der Satellitenbahnen zu finden, so werden diese Epochen dann statt haben, wenn die aufsteigenden Knoten der Satellitenbahnen, z. B. für den zweiten, oder wenn die Gröfse

$$12^\circ,880 - 12^\circ,0344\, t$$

mit dem aufsteigenden Knoten des Jupiteräquators, das heifst, mit

$$314^\circ,465 + 0^\circ,01384\, t$$

zusammenfällt.

Setzt man also diese beiden Ausdrücke einander gleich, so erhält man

$$t = -25,0315 \text{ Jahre,}$$

und da, nach dem eben Gesagten, die Periode der gröfsten Neigungen bei diesem Satelliten 29,88 Jahre beträgt, so sind die Epochen der gröfsten Neigungen

1835,73	1746,09
1805,85	1716,21
1775,97	1686,33 u. s. w.

und ebenso für den dritten

1906,15
1765,17
1624,20,

so wie für den vierten

1968,80
1448,09 u. s. w.

Diefs stimmt genau genug mit denjenigen Resultaten überein, die MARALDI aus seinen unmittelbaren Beobachtungen dieser gröfsten Neigungen gefunden hat, indem er diese Epochen für den zweiten Satelliten auf die Jahre 1747, 1717 und 1687, für den dritten aber auf 1765 und 1633 bestimmt hat.

IV. Ellipticität dieser Bahnen.

Die Abweichung der Bahn der zwei ersten Satelliten von einem Kreise oder die Ellipticität dieser zwei Bahnen ist zu gering, um von uns bemerkt zu werden. Wir nehmen daher dieselben als vollkommen kreisförmig an. Die Bahn des dritten Monds aber hat eine bemerkbare Excentricität. Schon WARGENTIN, der sich zuerst mit diesen Nebenplaneten anhaltend beschäftigte und ihre Bewegungen zu erforschen suchte, fand, dafs die Excentricität dieses Satelliten veränderlich ist. Um das Jahr 1682 hatte nämlich die Mittelpunctsgleichung dieser Bahn ihren gröfsten Werth 0°,221 und im J. 1777 ihren kleinsten 0°,085.

Die Bahn des vierten Satelliten hat die gröfste Excentricität, da sie in ihrem gröfsten Werthe auf 0°,854 steigt. Auch sie ist veränderlich, jedoch weniger als jene, da sie in ihrem Minimum nur auf 0°,814 herabsinkt.

Die Ursache dieser Aenderungen der elliptischen Form der Bahnen der beiden äufsersten Satelliten entdeckte LAPLACE durch seine theoretischen Untersuchungen und fand, dafs jeder dieser zwei Monde gleichsam eine doppelte Mittelpunctsgleichung habe, von welchen die eine von der Lage seiner eignen, die zweite aber von der Lage der grofsen Axe der anderen Bahn abhängt. Um die Lagen dieser grofsen Axen zu bestimmen, hat man für die *jovicentrische Länge des Perijoviums* (d. h. des dem Jupiter nächsten Endes dieser grofsen Axe), von dem Frühlingspuncte der Erde gezählt, bei dem dritten Monde

$$309^{\circ},439 + 2^{\circ},6248\,t$$

und bei dem vierten

$$180^{\circ},343 + 0^{\circ},7302\,t,$$

wo t die Anzahl julianischer Jahre seit 1750 bezeichnet. Fügen wir diesen Angaben noch die *Epochen* dieser vier Satelliten oder ihre mittleren jovicentrischen Längen bei, die durch folgende Ausdrücke gegeben werden:

		Jovicentr. Länge für 1750 + t.
I	Sat. . . .	15°,0128 + 74324°,35467 t
II	— . . .	311,8404 + 37027,13231 t
III	— . . .	10,2541 + 18378,52114 t
IV	— . . .	72,5512 + 7878,84714 t.

Da die grofsen Axen dieser vier Bahnen schon oben gegeben wurden, so reicht das Vorhergehende hin, den Ort dieser Satelliten in ihren Bahnen oder auch in Beziehung auf die Ekliptik für jede gegebene Zeit durch Rechnung zu bestimmen, so lange man nämlich auf die *Störungen*, welche diese Himmelskörper erleiden, keine Rücksicht nimmt.

V. Störungen der Satelliten.

Da die Masse Jupiters gegen die seiner vier Satelliten so grofs und da überdiefs seine Entfernung von der Sonne so bedeutend ist, so wird diejenige Störung, welche die Sonne in der Bewegung dieser Satelliten erzeugt, nur sehr gering seyn können. Dadurch fällt die grofse Schwierigkeit ganz weg, die bei der Bestimmung der Bewegung unsers Mondes, auf welchen die so viel nähere Sonne noch sehr bedeutend einwirkt, den Geometern so viele Mühe gemacht hat. Wenn man daher hier, wo es blofs um eine allgemeine Ansicht des Gegenstandes zu thun ist, von dieser Einwirkung der Sonne, so wie von der noch viel kleinern des Saturn, ganz abstrahirt, so bleibt blofs die Betrachtung derjenigen Störungen übrig, welche diese Monde von einander selbst erleiden. Die Berechnung dieser Störungen ist aber dann sehr einfach[1], und es wird hier genügen, nur die Resultate ausführlicherer Untersuchungen, und zwar blofs für die Zeit der Finsternisse dieser Monde, mitzutheilen, da diese letzten vorzüglich der Gegenstand unserer Beobachtungen sind. Nennt man l die mittlere und λ die wahre, durch die Störungen veränderte,

1 Vergl. Littrow Elemente der phys. Astronomie. Wien 1827. S. 384.

jovicentrische Länge des Mondes, ω das Perijovium seiner Bahn, so wie m die mittlere Anomalie Jupiters vom Perihel gezählt, und bezeichnet man diese Gröfsen l, λ und ω für den II., III., IVten Satelliten mit 1, 2, 3 Accenten, so erhält man für die wahren Längen dieser Monde die folgenden Ausdrücke[1]:

$$\begin{aligned}\lambda = l &- 0^\circ,45 \,\text{Sin.}\, 2(l - l') \\ &- 0,02 \,\text{Sin.}\,(l - 2l' + \omega'') \\ &- 0,01 \,\text{Sin.}\,(l - 2l' + \omega''').\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda' = l' &- 0^\circ,01 \,\text{Sin.}\,(l' - l'') \\ &+ 1,07 \,\text{Sin.}\, 2(l' - l'') \\ &+ 0,01 \,\text{Sin.}\, 4(l' - l'') \\ &+ 0,03 \,\text{Sin.}\,(l' - \omega'') \\ &+ 0,01 \,\text{Sin.}\,(l' - \omega''') \\ &+ 0,05 \,\text{Sin.}\,(l - 2l' + \omega'') \\ &+ 0,02 \,\text{Sin.}\,(l' - 2l'' + \omega''') \\ &- 0,01 \,\text{Sin.}\, m.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda'' = l'' &- 0^\circ,07 \,\text{Sin.}\,(l' - l'') \\ &+ 0,01 \,\text{Sin.}\, 2(l'' - l''') \\ &+ 0,15 \,\text{Sin.}\,(l'' - \omega'') \\ &+ 0,07 \,\text{Sin.}\,(l'' - \omega''') \\ &+ 0,01 \,\text{Sin.}\,(l' - 2l'' + \omega'') \\ &- 0,01 \,\text{Sin.}\, m.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda''' = l''' &- 0^\circ,02 \,\text{Sin.}\,(l''' - \omega'') \\ &+ 0,83 \,\text{Sin.}\,(l''' - \omega''') \\ &- 0,03 \,\text{Sin.}\, m.\end{aligned}$$

Mit diesen Ausdrücken erhält man also für die Zeiten der Finsternisse aus den mittleren jovicentrischen Längen dieser Monde die wahren Längen derselben. Da man aber nicht sowohl die Correction der mittleren Längen, sondern vielmehr die Correction der mittleren jovicentrischen Conjunctionen oder Oppositionen dieser Monde mit der Sonne sucht, so wird man nur die Coefficienten der vorhergehenden Sinus durch die synodischen Revolutionen, in Secunden ausgedrückt, multipliciren und das Product durch 360 dividiren, um dadurch die gesuchte Correction der mittleren Conjunction oder die

1 Vergl. Littrow Elemente d. phys. Astron. Wien 1827. S. 394.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Gröfse $\lambda - 1$ in Zeitsecunden ausgedrückt zu erhalten. Für den ersten Mond z. B. hat man diesen Factor:

$$\frac{1{,}769864 \times 86400}{360} = 425,$$

so dafs man daher folgende Factoren erhält

für den I	Sat. . .	425
II		853
III		1720
IV		4021.

Auf diese Weise umgestaltet geben die vier vorhergehenden Gleichungen die Zeiten der wahren Conjunctionen dieser Satelliten, die als Hauptelement der Berechnung ihrer *Finsternisse* zu betrachten sind.

VI. Finsternisse der Satelliten im Allgemeinen.

Der Schatten, welchen Jupiter als ein dunkler Körper hinter sich wirft, wenn er von der Sonne beschienen wird, ist die Ursache, dafs uns die Satelliten desselben oft plötzlich und zu einer Zeit verschwinden, wo sie noch weit von dem Rande ihres Hauptplaneten entfernt sind. Der dritte und vierte erscheinen oft ebenso plötzlich wieder nach ihrer Verschwindung und zwar auf derselben Seite Jupiters. Diese Erscheinungen sind ganz unsern Mondfinsternissen ähnlich, auch lassen die sie begleitenden Umstände keinen Zweifel über die Identität beider Phänomene. Diese Monde verschwinden nämlich immer auf der der Sonne gegenüberstehenden Seite Jupiters oder dort, wohin der Schattenkegel dieses Planeten gerichtet ist; sie verschwinden näher am Jupiter, wenn dieser Planet selbst näher zu seiner Opposition mit der Sonne kommt, und die Dauer ihrer Verschwindung stimmt ganz mit der Zei überein, die sie, den astronomischen Rechnungen gemäfs, bedürfen, um den von ihnen beschriebenen Weg in jenem Schattenkegel zurückzulegen.

Zuweilen sieht man auch diese Monde vor der Scheibe Jupiters, wo sie sich durch ihre Farbe von dem Licht dieser Scheibe unterscheiden lassen. Gute Fernröhre zeigen dann sogar den Schatten, welchen die Monde auf den Jupiter wer-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

fen und welcher sie auf ihrem Wege über die Scheibe ihres Hauptplaneten begleitet. Diese Erscheinungen sind demnach wahre Sonnenfinsternisse für Jupiter, da denjenigen Orten der Oberfläche dieses Planeten, die eben von jenen Schatten getroffen werden, der Anblick der Sonne ganz ebenso entzogen wird, wie auch wir die Sonne verfinstert sehn, wenn der Mond zur Zeit seines Neulichts zwischen uns und die Sonne tritt. Bei diesen Vorübergängen der Satelliten vor der Jupitersscheibe erscheinen die Satelliten zuweilen nicht als helle, sondern als dunkle Flecken, und zwar von beträchtlich kleinerer Dimension, als die sie begleitenden Schatten. Schröter und Harding, welche diese dunklen Flecken öfter gesehn haben, waren der Meinung, dafs diese Monde auf ihrer Oberfläche grofse dunkle Stellen haben, die kein Licht reflectiren.

Fig. 141. Sey S der Mittelpunct der Sonne und I der Jupiters, wie $\alpha\beta\gamma\delta$ die Bahn eines seiner Monde. Die Erde bewege sich in ihrer Bahn ABCDE von A nach D oder von West gen Ost, so wie auch der Mond in derselben Richtung von α nach β geht. Zieht man die zwei geraden Linien, welche die Oberfläche der Sonne und Jupiters auf derselben Seite berühren, so erhält man die Begrenzung mNn des Schattenkegels, den Jupiter auf der von der Sonne abgewendeten Seite hinter sich wirft.

Wenn der Mond in der Gegend $\alpha\beta$ seiner Bahn ankommt oder wenn er in den Schattenkegel Jupiters tritt, so verliert er dadurch sein von der Sonne geborgtes Licht und wird uns daher unsichtbar, weil er eben eine Mondfinsternifs hat. Wenn aber der Satellit in der Gegend $\gamma\delta$ seiner Bahn oder wenn er vor dem Jupiter, zwischen ihm und der Sonne steht, so wirft er seinen eignen Schatten auf Jupiter und dieser letztere hat dann eine Sonnenfinsternifs. Da der Durchmesser des ersten Satelliten den Bewohnern Jupiters nach dem Vorhergehenden (N. II) unter dem Winkel von 33′ 16″, der Durchmesser der Sonne aber nur unter dem Winkel von 6 Minuten, also über fünfmal kleiner erscheint, so wird dieser Mond den Bewohnern Jupiters bei ihren totalen Finsternissen die Sonne durch längere Zeit ganz bedecken können. Da ferner wegen der ungemeinen Gröfse Jupiters die Basis seines Schattenkegels ebenfalls sehr grofs, im Gegentheil aber jene Satelliten gegen ihren Hauptplaneten sehr klein sind, und da endlich die Bah-

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

nen dieser Monde gegen die Bahn Jupiters, in welcher die Schattenaxe IN liegt, nur sehr wenig geneigt sind, so werden diese Monde, wenigstens die drei ersten, bei jeder Opposition durch diesen Schattenkegel gehn oder verfinstert werden, so dafs daher auf Jupiter die Finsternisse selbst eines und desselben Mondes viel häufiger seyn werden, als auf der Erde.

Bei unsern Mond- und Sonnenfinsternissen liegen Mond, Sonne und Erde stets in derselben geraden Linie. Da wir aber die Bewegung der Jupitersmonde nicht aus dem Mittelpuncte I ihrer kreisförmigen Bahnen, sondern aus irgend einem Puncte A, B, C.. der Erdbahn betrachten, der im Allgemeinen aufser der geraden Linie, welche die Sonne mit dem Jupiter und seinem Monde verbindet, also aufser der Schattenlinie IN liegt, so wird es auf diese Stelle der Erde gegen jene Schattenlinie IN ankommen, ob die Finsternisse, welche jene Monde erleiden, uns sichtbar oder unsichtbar sind. Der Mond wird nämlich in dem Augenblicke verfinstert, wo er in dem Puncte α seiner Bahn in den Schattenkegel mNn tritt. Steht die Erde in der Gegend AB auf der Westseite der Schattenaxe IN, so wird ihr die Finsternifs in α sichtbar seyn, steht sie aber irgendwo in DE auf der Ostseite, so wird ihr der Ort α, wo der Mond in den Schatten tritt, von der Scheibe mn des Jupiter selbst verdeckt seyn und sie wird daher den Eintritt des Monds in den Schatten nicht sehn. In dem Puncte C, oder wenn die Erde in der Schattenaxe selbst liegt, ist Jupiter für sie in Opposition mit der Sonne. Vor dieser Opposition werden also die Eintritte der Monde in den Schatten von der Erde aus sichbar, nach der Opposition aber werden sie unsichtbar seyn. Je näher übrigens die Erde auf ihrem Wege von A nach B diesem Puncte C kommt, desto näher kommt auch die Gesichtslinie Aα, Bα,.. der Schattenaxe IN oder desto näher an dem westlichen Rande n des Jupiter werden sich diese Eintritte der Monde ereignen. Aus dem Puncte B z. B. sieht die Erde den Eintritt des Monds in α unter der Entfernung oder unter dem Winkel IBα von Jupiters Mittelpunct und den Austritt in β des Monds aus dem Schatten unter dem Winkel IBβ. Wenn daher diese Gesichtslinie Bβ den westlichen Rand Jupiters in n eben berührt, so sieht die Erde diesen Austritt des Monds

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gar nicht, weil der Mond in dem Augenblicke, wo er den Schatten Jupiters in β verläfst, sofort hinter die Scheibe dieses Planeten tritt und uns daher noch immer unsichtbar bleibt, da er jetzt vom Jupiter selbst für uns verdeckt wird. Bald darauf, wenn die Erde von B gegen b hin vorrückt, werden diese Austritte ganz hinter der Scheibe Jupiters statt haben, und noch einige Zeit später in b′ wird man von der Erde auch nicht einmal die Eintritte in α mehr sehn können, da auch diese schon von der Scheibe des Planeten verdeckt werden.

Vor der Opposition Jupiters also, oder zu der Zeit, wo dieser Planet nach Mitternacht in den ersten Morgenstunden durch den Meridian geht, fällt der Schattenkegel desselben für uns auf die westliche Seite, nach der Opposition aber auf die östliche, daher wir auch dort die Eintritte der Monde auf der westlichen, hier aber die Austritte auf der östlichen Seite Jupiters sehn, während uns dort die Austritte auf der östlichen und hier die Eintritte auf der westlichen Seite im Allgemeinen unsichtbar sind, indem uns beide von der Scheibe des Planeten verdeckt werden. In der Mitte zwischen Opposition und Conjunction aber, in den sogenannten Quadraturen, wo Jupiter volle 90 Grade östlich oder westlich von der Sonne steht und daher um 6 Uhr Morgens oder Abends durch den Meridian geht, zu dieser Zeit fällt auch sein Schatten am stärksten östlich oder westlich, und zwar so sehr, dafs die vom Jupiter ferneren Theile dieses Schattens *ganz* auf der einen oder auf der andern Seite der Planetenscheibe liegen, daher wir auch dann die Eintritte und die Austritte oder den Anfang und das Ende derselben Finsternifs auf einer und derselben Seite Jupiters sehn können. Diefs ist in der That sehr oft der Fall bei dem dritten und vierten Satelliten, deren Entfernung vom Jupiter schon so bedeutend ist. Die zwei ersten aber stehn ihren Hauptplaneten immer so nahe, dafs man vor der Opposition blofs ihre Eintritte und nach der Opposition blofs ihre Austritte, nie aber beide zugleich sehn kann.

Wenn aber der Satellit in die Gegend $\gamma\delta$ seiner Bahn kommt, die zwischen dem Planeten und der Erde liegt, so sieht man ihn von der Erde über die Scheibe Jupiters ziehn, und da hier der Satellit seinen eigenen Schatten auf die Scheibe Jupiters wirft, so entstehn dadurch auf der Oberfläche dieses

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Planeten wahre Verdeckungen der Sonne oder wahre Sonnenfinsternisse, wie bereits oben gesagt worden ist.

VII. Bestimmung des Schattenkegels.

Um die Finsternisse der Satelliten Jupiters zu bestimmen, muſs man vor Allem die Gröſse, Gestalt und Lage des Schattens kennen, den Jupiter hinter sich wirft, wenn er von der Sonne beschienen wird. Es sey A′ der Mittelpunct und A′M′ = a der Halbmesser einer leuchtenden, ferner A der Mittelpunct, so wie AM = b der Halbmesser einer dunklen Kugel, und endlich AA′ = c die Entfernung der Mittelpuncte dieser zwei Kugeln. Zieht man zu den beiden Kreisen, welche hier die zwei Kugeln vorstellen, die äuſseren Tangenten, die sich in T, und die inneren Tangenten, die sich in t schneiden, so wird die Grenze des vollen Schattens durch MTN und die des Halbmessers durch MtN bezeichnet. Beide Schatten sind Kegel, von welchen der erste seinen Scheitel in T und seine Basis MN an der dunklen Kugel hat, während der zweite oder der Halbschattenkegel seinen Scheitel in t, zwischen den beiden Kugeln, und seine Basis jenseit der dunkeln Kugel in einer unendlichen Entfernung hat. Man ziehe aus den Mittelpuncten A′ und A der beiden Kugeln nach den Berührungspuncten M′ und M derselben die beiden Halbmesser A′M′ und AM und fälle von den Puncten M′ und M die Lothe M′a′ und Ma auf die Linie A′AT der beiden Mittelpuncte. Nennt man α den Winkel ATM an dem Scheitel T′ des vollen Schattens und x die Entfernung A′T des leuchtenden Körpers von dem Scheitel dieses Schattenkegels, so hat man Fig. 142.

$$a = M'T \operatorname{Tang.} \alpha$$

$$M'T = \sqrt{x^2 - a^2},$$

so wie

$$\sqrt{(x-c)^2 - b^2} = b . \operatorname{Cotg.} \alpha.$$

Eliminirt man aus diesen drei Gleichungen die Gröſsen M′T und Tang. α, so erhält man

$$x - c = \pm \frac{bx}{a},$$

wo hier und in der Folge das obere Zeichen für den vollen, das untere aber für den Halbschatten gehört.

Die letzte Gleichung giebt

$$x = A'T = \frac{ac}{a \mp b},$$

also auch

$$AT = x - c = \frac{\pm bc}{a \mp b},$$

und diefs sind die beiden Entfernungen $A'T$ und AT des Scheitels T und t von den Mittelpuncten beider Kugeln. Ebenso findet man für die zwei Gröfsen $A'a'$ und Aa die Werthe

$$A'a' = \frac{a}{c}(a \mp b)$$

und

$$Aa = \frac{b}{c}(a \mp b).$$

Die krummen Linien, in welchen die beiden Kugeln von den zwei Schattenkegeln berührt werden, sind Kreise, deren Mittelpuncte a' und a und deren Halbmesser die Lothe $a'M'$ und aM auf die Axe $A'AT$ sind. Es ist aber

$$a'M' = \sqrt{a^2 - (A'a')^2} \text{ und } aM = \sqrt{a^2 - (Aa)^2},$$

also sind auch, wenn man die vorhergehenden Werthe von $A'a'$ und Aa substituirt, die Halbmesser der erwähnten Kreise

$$a'M' = \frac{a}{c}\sqrt{c^2 - (a \mp b)^2},$$

$$aM = \frac{b}{c}\sqrt{c^2 - (a \mp b)^2}.$$

Um noch den Halbmesser BC des kreisförmigen Schnitts zu finden, der durch eine Ebene entsteht, die in der Entfernung $AB = r$ von dem Mittelpuncte der dunklen Kugel senkrecht auf der Axe $A'AT$ steht, hat man, wenn der Winkel $ATM = \alpha$ ist,

$$\text{Tang.}\,\alpha = \frac{BC}{BT} \text{ oder } \text{Tang.}\,\alpha = \frac{BC}{AT - r}.$$

Es war aber

$$AT = \frac{bc}{a \mp b} \text{ und } \text{Sin.}\,\alpha = \frac{a \mp b}{c},$$

also ist auch, wenn man diese Werthe von AT und α in der vorhergehenden Gleichung substituirt,

$$BC = \frac{\mp b(c+r) - ar}{\sqrt{c^2 - (a \mp b)^2}}.$$

Setzt man endlich die Gröfse $A'B = c + r = x$ oder $r = x - c$ und $BC = \sqrt{y^2 + z^2}$ und substituirt man diese Werthe von r und BC in der letzten Gleichung, so erhält man

$$(y^2 + z^2)\,[c^2 - (a \mp b)^2] = [ac - x(a \mp b)]^2,$$

für die Gleichung der Oberfläche des Schattenkegels zwischen den drei unter sich senkrechten Coordinaten x, y, z, wo wieder das obere Zeichen für den vollen, das untere aber für den Halbschatten gehört.

Zusammengesetzter wird die Auflösung dieser Aufgabe, oder die Bestimmung derjenigen Fläche, welche zwei ihrer Gestalt und Lage nach gegebene Flächen ringsum berührt, wenn diese zwei gegebenen Flächen nicht mehr Kugeln, wie in dem Vorhergehenden, sondern z. B. Ellipsoide sind[1]. Bei Jupiter sollte auf diese Abweichung von der Kugelgestalt allerdings Rücksicht genommen werden, da die Abplattung dieses Planeten sehr grofs ist und nahe $\frac{1}{14}$ beträgt. Allein wegen der geringen Neigung des Aequators dieses Planeten gegen seine Bahn, welche Neigung nur 3,092 Grade beträgt, wird man die grofse Axe Jupiters als in der Bahn desselben liegend und die kleine darauf senkrecht annehmen können. Dann wird also auch der Schnitt des Schattenkegels mit einer Ebene, die auf der Axe dieses Schattens senkrecht steht, eine Ellipse seyn, deren grofse Axe in der Jupitersbahn und deren kleine darauf senkrecht ist. Heifst dann A der Winkel, unter welchem aus dem Mittelpuncte Jupiters die halbe grofse Axe dieses elliptischen Schattenschnitts gesehn wird, und ist $\alpha = \frac{1}{14}$ die Abplattung Jupiters, so ist die halbe kleine Axe des Schattenschnitts gleich $A(1 - \alpha)$ und daher die Gleichung des Schattenschnitts selbst

$$\frac{y^2}{A^2} + \frac{z^2}{A^2(1-\alpha)^2} = 1 \quad \ldots \quad (A)$$

Wenden wir das Vorhergehende auf die Körper unsers Son-

1 Vergl. Littrow analytische Geometrie. Wien 1823.

nensystems an, so hat man, wenn man blofs den vollen Schatten berücksichtigt, für die Länge des Schattens

$$AT = \frac{bc}{a-b} \text{ und } A'T = AT + c = \frac{ac}{a-b}$$

und für die Entfernungen der Mittelpuncte der beiden Kugeln von den Mittelpuncten der Kreise, in welchen sie von dem Schattenkegel berührt werden,

$$Aa = \frac{b}{c}(a-b) \text{ und } A'a' = \frac{a}{b}.(Aa) = \frac{a}{c}(a-b).$$

Ist ferner $AB = r$, so erhält man für den Halbmesser BC des Schattenschnitts, der durch eine auf AT senkrecht stehende und durch den Punct B gehende Ebene entsteht,

$$BC = \frac{bc - (a-b)r}{c \operatorname{Cos.} \varphi},$$

$$\text{wo } \operatorname{Sin.} \varphi = \frac{a-b}{c} \text{ ist,}$$

und statt des letzten Ausdrucks wird man auch, da für die meisten Planeten c sehr grofs gegen a und b ist, die abgekürzte Gleichung nehmen können

$$BC = b - \frac{(a-b)}{c} r.$$

So hat man für den vollen Schatten bei unseren *Mondfinsternissen*

$a = 96238$	geogr. Meilen		Halbmesser der Sonne,
$b = 859{,}44$	—	—	Halbmesser der Erde,
$c = 20665800$		—	mittlere Entfernung der Erde von der Sonne,

woraus daher folgt

$$\begin{aligned} AT &= 186216 \text{ geogr. Meilen} \\ A'T &= 20852016 \\ Aa &= 3{,}97 \\ A'a' &= 444{,}17 \\ BC &= 859{,}44 - 0{,}004615\, r. \end{aligned}$$

Für unsere *Sonnenfinsternisse* aber ist der Halbmesser des Monds $b = 233$ Meilen und die mittlere Entfernung des Monds von der Sonne

$$c = 20665800 - 51600 = 20614200 \text{ Meilen,}$$

während wieder $a = 96238$ ist. Daraus folgt

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$AT = 50030$ Meilen
$A'T = 20664230$
$Aa = 1{,}08$
$A'a' = 448{,}20$
$BC = 233 - 0{,}004657\,r.$

Für die Verfinsterung der Jupiterssatelliten endlich ist der Halbmesser Jupiters $b = 9990$ Meilen und die mittlere Entfernung dieses Planeten von der Sonne

$$5{,}20278 \times 20665800 = 107519600$$

und, wie zuvor, $a = 96238$, so dafs man daher erhält

$AT = 12453870$ Meilen
$A'T = 119913470$
$Aa = 8{,}013$
$A'a' = 77{,}198$
$BC = 9990 - 0{,}00080217\,r.$

Man sieht daraus, dafs der Schattenkegel des Monds zur Zeit des Neumonds, wenn dieser Nebenplanet in seiner mittleren Entfernung von 51600 Meilen von der Erde ist, nur die Länge von 50030 M. hat, also noch nicht die Oberfläche der Erde erreicht. Wegen der verschiedenen Entfernung des Mondes von der Erde ist auch die Länge seines Schattenkegels verschieden. Der möglich gröfste und kleinste hat die Länge von 51110 und 49400 Meilen. Auch der Schattenkegel der Erde ist wegen der Excentricität der Erdbahn verschieden und immer zwischen den beiden Extremen 188640 und 182410 Meilen enthalten. Beim Jupiter aber ist die Länge seines Schattenkegels so grofs, dafs er selbst über den vierten Satelliten desselben noch mehr als 12 Millionen Meilen hinausreicht, daher auch diese Satelliten viel öfter verfinstert werden, als unser Mond.

VIII. Bestimmung der Dauer der Finsternisse der Jupitersmonde.

Sey C der Mittelpunct und AmB der Umkreis des oben (in VII) bestimmten elliptischen Schattenschnitts, cm ein Theil des Wegs des Satelliten und cC, so wie mM senkrecht auf den Jupitersäquator AB. Nennt man β die Breite und λ die jovicentrische Länge des Satelliten im Augenblick der Oppo- Fig. 143.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sition desselben mit der Sonne, und ist m der Winkel, welchen der Satellit von dem Augenblicke der Immersion m in den Schatten bis zur Conjunction in c zurücklegt, so ist also

$$Cc = \beta \text{ und } CM = m,$$

so wie

$$mM = \beta - m \,.\, \frac{\partial \beta}{\partial \lambda},$$

wo $m.\frac{\partial \beta}{\partial \lambda}$ die Aenderung der Breite des Satelliten in der Zwischenzeit von der Immersion bis zur Opposition ist.

Wendet man diefs auf die Gleichung (A Nr. VII) an, so hat man, da

$$y = m \text{ und } z = \beta - \frac{m\,\partial \beta}{\partial \lambda}$$

ist, für die Gleichung des elliptischen Schattenschnitts

$$\frac{m^2}{A^2} + \frac{\left(\beta - \frac{m\,\partial \beta}{\partial \lambda}\right)^2}{A^2(1-\alpha)^2} = 1,$$

woraus man, da α nur klein ist, annähernd erhält

$$m = \frac{\beta\,\partial \beta}{(1-\alpha)^2\,\partial \lambda} \pm \frac{\sqrt{A^2(1-\alpha)^2 - \beta^2}}{1-\alpha},$$

das obere Zeichen für die Immersion und das untere für die Emersion. Daraus folgt, dafs der ganze Winkel, welchen der Satellit um den Mittelpunct Jupiters während der ganzen Dauer der Finsternifs beschreibt, gleich

$$\frac{2\sqrt{A^2(1-\alpha)^2 - \beta^2}}{1-\alpha}$$

seyn wird. Nennt man also S die synodische Bewegung des Satelliten, in der Einheit der Zeit A ausgedrückt, und bezeichnet man durch T die ganze Dauer der Finsternifs, so ist

$$T = \frac{2\sqrt{A^2(1-\alpha)^2 - \beta^2}}{(1-\alpha).S} \quad \ldots \quad (B)$$

und diese Gleichung giebt die gesuchte Dauer der Finsternifs, wenn die Breite β des Satelliten in der Opposition bekannt ist, also auch umgekehrt diese Breite β, wenn die Dauer T durch unmittelbare Beobachtung der Finsternifs bekannt geworden ist.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Will man dann auch die Länge des Satelliten zur Zeit der Mitte der Finsternifs so hat man aus dem Vorhergehenden die Länge desselben für die Zeit der Immersion oder Emersion

$$\lambda - \frac{\beta \partial \beta}{\partial \lambda} \pm \frac{\sqrt{A^2 (1-\alpha)^2 - \beta^2}}{1-\alpha},$$

woraus daher sofort folgt, dafs die jovicentrische Länge zur Zeit der Mitte der Finsternifs seyn wird

$$\lambda - \frac{\beta \partial \beta}{\partial \lambda}.$$

Um noch den Werth von $\frac{\partial \beta}{\partial \lambda}$ zu eliminiren, hat man, wenn n die Neigung und $\varkappa$ die Länge des Knotens der Satellitenbahn mit der Jupitersbahn bezeichnet, durch sphärische Trigonometrie

$$\text{Tang.}\,\beta = \text{Tang.}\,n\,\text{Sin.}\,(\lambda - \varkappa),$$

also auch

$$\frac{\partial \beta}{\partial \lambda} = \text{Tang.}\,n\,\text{Cos.}\,(\lambda - \varkappa)\ \text{Cos.}^2\,\beta,$$

so dafs daher die jovicentrische Länge des Satelliten zur Zeit der Mitte der Finsternifs

$$\lambda - \text{Tang.}^2\,n\,.\,\text{Cos.}\,(\lambda - \varkappa)\,\text{Cos.}^2\,\beta$$

seyn wird.

Diese jovicentrische Länge des Satelliten kann auch auf folgende Weise gefunden werden. Ist nämlich L die Länge der Sonne S, ferner l, b die geocentrische Länge und Breite Jupiters P zur Zeit der Mitte der Finsternifs, so wie TS = R die Entfernung der Erde T von der Sonne und TP = ϱ vom Jupiter, V der Frühlingspunct, so hat man, da diese Gröfsen aus den astronomischen Tafeln oder aus den Beobachtungen bekannt sind, Fig. 144.

$$VTS = L,\ VTp = l,\ PTp = b \text{ und } STp = l - L,$$

$$\text{Cos.}\,\psi = \text{Cos.}\,b\ \text{Cos.}\,(l - L)$$

und

$$\text{Cotg.}\,\pi = \frac{\varrho - R\,\text{Cos.}\,\psi}{R\,\text{Sin.}\,\psi},$$

wo ψ gleich dem Winkel STp und π gleich PTS oder die sogenannte jährliche Parallaxe Jupiters bezeichnet. Ist dann λ' die heliocentrische Länge Jupiters, die ebenfalls durch die

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tafeln gegeben ist, so ist $\pi = 1 - \lambda'$ oder $\lambda' = 1 - \pi$ und dieses λ' ist zugleich, da hier von der Mitte der Finsternifs die Rede ist, gleich der gesuchten jovicentrichen Länge des Satelliten.

Kennt man aber auf diese Weise zwei jovicentrische Längen λ', λ'' und zwei Breiten β', β'' des Satelliten, so findet man daraus auch die Neigung n seiner Bahn und die Länge ☊ des aufsteigenden Knotens dieser Bahn in der Ekliptik durch die folgenden Gleichungen der sphärischen Trigonometrie:

$$\left.\begin{array}{l} \text{Tang.}\, n\ \text{Sin.}\,(\lambda' - ☊) = \text{Tang.}\,\beta' \\ \text{Tang.}\, n\,.\,\text{Sin.}\,(\lambda'' - ☊) = \text{Tang.}\,\beta'' \end{array}\right\}$$

oder bequemer durch

$$\text{Tang.}\, n\,.\,\text{Sin.}\,(\lambda' - ☊) = \text{Tang.}\,\beta'$$

$$\text{Tang.}\, n\ \text{Cos.}\,(\lambda' - ☊) = \frac{\text{Tang.}\,\beta'' - \text{Tang.}\,\beta'\ \text{Cos.}\,(\lambda'' - \lambda')}{\text{Sin.}\,(\lambda'' - \lambda')}.$$

Hat man endlich in einer gröfsern Reihe von Beobachtungen die Werthe t und t′ der halben gröfsten und der halben kleinsten Dauer der Finsternifs eines Satelliten kennen gelernt, so findet man die Neigung n der Satellitenbahn durch folgenden einfachen Ausdruck, in welchem wieder S die synodische Umlaufszeit des Satelliten bezeichnet:

$$n = \frac{360}{S}\,.\,\sqrt{t^2 - t'^2}.$$

Fig. 145. Ist nämlich AmnB der Durchschnitt des Schattenkegels in der Nähe des Satelliten, C dessen Mittelpunct, Nmn die Bahn für die kürzeste Dauer der Finsternifs, und ist CR auf dieser Bahn senkrecht, so hat man, da Rm = Rn ist und da der Satellit zur Zeit der längsten Finsternifs durch ACB geht,

$$\frac{Cm}{Rm} = \frac{CA}{Rm} = \frac{t}{t'}.$$

Die Gröfse Cm oder CA, im Bogen ausgedrückt, findet man aber durch die Proportion

$$S : t = 360^\circ : Cm$$

oder es ist

$$Cm = 360\,\frac{t}{S}$$

und daher auch

$$Rm = Cm.\frac{t'}{t} = 360\,\frac{t'}{S}.$$

Da aber $CR = \sqrt{Cm^2 - Rm^2}$ ist, so ist auch

$$CR = \frac{360}{S}\sqrt{t^2 - t'^2},$$

wie zuvor, wo CR die gröſste jovicentrische Breite des Satelliten (für die kürzeste Finsterniſs), also auch gleich der Neigung seiner Bahn gegen die Bahn Jupiters ist.

Durch die Beobachtungen hat man die gröſste Dauer dieser Finsternisse, wie folgt, gefunden:

für den I	Sateliten	. . .	2,2622 Stunden
II	—	. . .	2,8678
III	—	. . .	3,5611
IV	—	. . .	4,7489.

IX. Merkwürdige Verhältnisse der Längen und der Geschwindigkeiten der drei ersten Satelliten.

Wenn man die oben gegebenen siderischen Umlaufszeiten dieser Satelliten näher betrachtet, so sieht man, daſs die Revolution des ersten nahe gleich der Hälfte des zweiten und daſs ebenso die Revolution des zweiten nahe gleich der Hälfte des dritten ist. Wenn diese Verhältnisse ganz genau statt hätten, so würde man, wenn T, T′, T″ die Revolution des I., II., III. Satelliten bezeichnen, die Gleichung haben

$$\frac{1}{T} + \frac{2}{T''} = \frac{3}{T'}.$$

Wir haben nämlich gefunden

$$T = 1{,}7691, \quad T' = 3{,}5512, \quad T'' = 7{,}1545,$$

also ist auch

$$\frac{1}{T} = 0{,}5653, \quad \frac{1}{T'} = 0{,}2816, \quad \frac{1}{T''} = 0{,}1398,$$

so daſs demnach zwischen den drei letzten Gleichungen die obige Gleichung sehr nahe besteht. Da aber die Gröſsen $\frac{1}{T}$, $\frac{1}{T'}$ und $\frac{1}{T''}$ nichts anderes, als die täglichen mittleren siderischen Bewegungen der Satelliten sind, so hat man, wenn

man diese Bewegungen durch ∂l, $\partial l'$ und $\partial l''$ bezeichnet, ebenfalls

$$\partial l + 2\partial l'' = 3\partial l' \ldots \text{(C)}.$$

Ein anderes, nicht weniger merkwürdiges Verhältnifs besteht auch zwischen den *Epochen* dieser drei Satelliten oder zwischen den mittleren Längen derselben für irgend eine gegebene Zeit. Heifst nämlich l, l' und l'' diese Länge des I., II. und III. Satelliten für irgend eine Zeit, so ist immer sehr nahe

$$l + 2l'' = 3l' + 180^\circ \ldots \text{(D)}.$$

Die sämmtlichen Beobachtungen dieser Satelliten seit der Zeit ihrer Entdeckung haben gezeigt, dafs diese beiden Gleichungen (C) und (D) sehr nahe erfüllt werden. Die Abweichungen sind immer nur sehr gering und innerhalb der Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler gefunden worden. Die Theorie endlich hat gezeigt, dafs diese beiden Gleichungen in vollkommener Schärfe existiren. Es ist in der That sehr unwahrscheinlich, dafs diese drei Monde durch einen blofsen Zufall in diejenigen Entfernungen von Jupiter gesetzt worden sind, welche für jene Verhältnisse nothwendig sind, aber es kann angenommen werden, dafs dieser Zufall jene Monde wenigstens nahe dorthin gesetzt habe, wo sie diesen Verhältnissen entsprechen. Unter dieser Voraussetzung zeigte aber die Theorie, dafs dann blofs durch die gegenseitige Einwirkung dieser drei Satelliten auf einander jene anfänglich nur genäherten Verhältnisse in der Folge der Zeit ganz genau werden mufsten und dafs sie, einmal genau hergestellt, auch immer in diesem Zustande verbleiben werden, so lange das System selbst durch keine gewaltsame äufsere Einwirkung, wie z. B. durch einen Kometen, gestört wird. Auch die seculären Gleichungen, welchen die mittleren Bewegungen dieser Satelliten unterworfen und die der seculären Beschleunigung unsers Mondes ähnlich sind[1], werden jene Verhältnisse nicht zu stören im Stande seyn, so wenig als etwa ein widerstehendes Mittel, in welchem sich diese Monde bewegen mögen, oder sonst eine andere Ursache, deren Einwirkung nur nach und nach merklich wird. Denn dieselbe gegenseitige Anziehung dieser drei Monde wird auch jene seculären Gleichungen

1 S. Art. *Mond.* Bd. VI. S. 2379.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Monde denselben Verhältnissen unterwerfen, so dafs die seculäre Gleichung des ersten, mehr der doppelten des dritten, wieder gleich der dreifachen des zweiten Satelliten seyn wird. Selbst jetzt schon sieht man diejenigen ihrer Ungleichheiten, die erst in vielen Jahren wiederkehren, den erwähnten Verhältnissen sich coordiniren und zwar desto inniger anschliefsen, je gröfser die Perioden dieser Ungleichheiten selbst sind. Diese Eigenschaft, durch welche jene drei ersten Monde Jupiters gleichsam ein isolirtes System geworden sind, das sich selbst im Himmelsraume das Gleichgewicht hält, mufs sich selbst auf die Rotationen derselben erstrecken, wenn diese, wie die Beobachtungen zu bestätigen scheinen, ihren Revolutionen um den Hauptplaneten gleich sind, wie diefs auch beim Monde der Erde der Fall ist. Die Anziehung dieses gröfsten aller Hauptplaneten ist stark genug, diese Erscheinung hervorzubringen und der Umdrehung seiner Monde dieselben seculären Ungleichheiten mitzutheilen, von welchen ihre Umlaufszeiten afficirt sind.

Dafs übrigens der merkwürdige Komet, der im Jahre 1770 mitten durch das System dieser Satelliten gegangen ist, jene Verhältnisse nicht gestört und überhaupt keine einzige merkbare Veränderung in denselben hervorgebracht hat, ist wohl ein neuer Beweis, dafs die Masse dieses, wie vielleicht aller Kometen, nur äufserst gering seyn kann. Die Rechnung zeigt, dafs dieser Komet, wenn seine Masse nur den hunderttausendsten Theil der Masse der Erde betragen hätte, schon uns bemerkbare Aenderungen in jenem Systeme hätte hervorbringen müssen. Dasselbe schöne Verhältnifs, welches zwischen den siderischen Bewegungen statt hat, mufs auch zwischen den synodischen bestehn, da die synodische Bewegung nur die Differenz der siderischen Bewegung des Satelliten und der seines Hauptplaneten ist. Wenn man in der Gleichung (C) statt der siderischen Bewegung die synodische substituirt, so verschwindet die Bewegung Jupiters ganz aus der Gleichung, so dafs also dieselbe ungeändert bleibt.

Eine merkwürdige Folge dieses Verhältnisses ist, dafs die drei ersten Monde Jupiters nie zu gleicher Zeit eine Verfinsterung erleiden können. Denn wenn z. B. der zweite und der dritte zugleich verfinstert werden, so wird der erste immer mit Jupiter in Conjunction seyn oder vor ihm stehn, und wenn

der zweite und dritte Mond zugleich vor der Jupitersscheibe stehn oder auf dem Jupiter eine Sonnenfinsterniſs verursachen, so wird der erste in Opposition oder hinter der Scheibe Jupiters stehn. Auch ist, so viel mir bekannt, der Fall nur ein einziges Mal vorgekommen, wo man Jupiter ganz ohne Satelliten gesehn hat. Diese Beobachtung ist von Molyneux am 2ten Nov. 1681 alten Styls gemacht worden[1].

X. Entdeckung der Satelliten und Bestimmung der Masse Jupiters durch dieselben.

Was die Geschichte der Entdeckung der Jupiterstrabanten und der allmäligen Ausbildung ihrer Theorie, so wie die Beobachtung ihrer Rotation und endlich den Gebrauch derselben zu Längenbestimmungen betrifft, so enthält der bereits erwähnte Art. *Nebenplaneten* das Vorzüglichste, was darüber hier angeführt werden könnte. Wir beschlieſsen daher diesen Gegenstand bloſs durch einige nachträgliche zerstreute Bemerkungen.

Es scheint keinem Zweifel unterworfen zu seyn, daſs Simon Marius zu Ansbach von Allen zuerst, und zwar im November 1609, die vier Satelliten Jupiters gesehn habe. Nach ihm erblickte sie Galilei zu Padua am 7. Jan. 1610. Fast zu gleicher Zeit sah sie Thomas Harriot am 16. Jan. 1610 zu London und am Ende desselben Jahres, nämlich im November 1610, bemerkten sie auch Peyresc, Gautier und Gassendi zu Aix in Frankreich[2]. Bemerkenswerth ist dabei, wie Marius auf diese Entdeckung kam. Im Jahre 1608 nämlich fand der brandenburgische geheime Rath J. Ph. Fuchs von Bimbach in Mähren auf der Messe zu Frankfurt a. M. eines der damals noch wenig bekannten Fernröhre, das ein Niederländer zum Verkaufe dahin gebracht hatte. Er bezeugte Lust, dasselbe zu kaufen, stand aber wieder davon ab, da ihm der gesetzte Preis zu hoch schien. Bei seiner Rückkehr nach Ansbach erzählte Fuchs diese Begebenheit mit allen

---

1 Molyneux, Optics. p. 271.
2 V. Zach Mon. Corr. Bd. VIII. S. 43. XV. 435.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Umständen dem Simon Marius, dem er auch das Werkzeug so genau beschrieb, dafs Marius sogleich ein solches, obschon noch unvollkommenes Fernrohr zusammensetzen konnte. Im folgenden Jahre 1609 erhielt Fuchs aus den Niederlanden und auch aus Venedig bessere Gläser, mit welchen Marius schon bessere Fernröhre zusammensetzte, und mit diesen letzten entdeckte er die Jupiterssatelliten. Dieses wäre demnach nahe dieselbe Geschichte, die man auch von Galilei erzählt, der im J. 1609 auf die blofse Nachricht von der Existenz dieses Werkzeuges dasselbe ebenfalls selbst erfunden haben soll. Wenn wir diese Geschichte bemerkenswerth genannt haben, so ist es nicht sowohl wegen ihrer selbst, als wegen der Zeit, in welcher sie vorgefallen ist. Also im Jahre 1608 waren die neu erfundenen Fernröhre schon so verbreitet, dafs man sie auf die Messe nach Frankfurt bringen konnte. Auch in England waren im J. 1610 die Fernröhre schon sehr bekannt. So führt v. Zach einen Brief von Sir Christopher Heydon, London 6. Jul. 1610 datirt, an, in welchem es heifst: *Of my own experience with one of our ordinary trunks I have seen eleven stars in the Pleiades, whereas no age ever remembers above seven*, d. h. mit einem unserer *gewöhnlichen Guckkasten (Trunks)*, wie Heydon die ersten Fernröhre seiner Zeit nennt, weil sie vermuthlich die Gestalt von viereckigen Prismen, von kastenförmigen Parallelepipeden hatten. Der oben erwähnte Harriot nennt sie schon *Perspective-Cylinder*, weil sie wahrscheinlich schon in metallenen Röhren gefafst waren. Bekanntlich giebt Borelli[1] den Zacharias Jahnsen oder Johannides als denjenigen an, der das Fernrohr im J. 1590 zu Middelburg in Zeeland erfunden hat. Jahnsen war Glasschleifer und Brillenmacher in Middelburg und soll durch ein Spiel seiner Kinder mit Glaslinsen auf die Entdeckung geleitet worden seyn. Borelli belegt diese seine Aussagen mit Zeugnissen des Magistrats jener Stadt. Man hat diese Entdeckung auch einem gewissen Lippersheim oder dem Jacob Metius oder dem Cornelius Drebbel u. A. zuschreiben wollen. Von diesen wird besonders der Letzte von Bossut und von Montucla in ihren Geschichten der Mathematik in Schutz genommen, indem sie ihm ein

1 De vero telescopii inventore. Hag. Com. 1655.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ausgezeichnetes Talent und eine seltene gelehrte Bildung zuschreiben. Allein Adelung in seiner „Geschichte der menschlichen Narrheit“ stellt diesen Drebbel geradezu als einen Charlatan dar, der nur ein Paar ganz unbedeutende Schriftchen hinterlassen habe, die durch ihren Styl schon den unwissenden Marktschreier verriethen. Auch soll er nicht, wie doch so oft gesagt wurde, der Erfinder des Thermometers, so wenig wie der des Fernrohrs seyn, obschon er sich dieser beiden und mehrerer andern Erfindungen auf eine grofssprecherische Weise selbst gerühmt haben soll.

Was die Benennung dieser Satelliten Jupiters betrifft, so wurden sie von Simon Marius, seinem Markgrafen von Brandenburg zu Ehren, *Sidera Brandenburgica* und von Galilei, seinem Herzog Medici zu Liebe, *sidera Medicea* genannt. Der Letzte oder einer seiner Schüler benannte selbst die einzelnen Satelliten mit den Familiennamen der Medicäer. So hiefs der erste Satellit Catharina oder auch Franciscus, der zweite Maria oder Ferdinandus, der dritte Cosmus *major* und der vierte Cosmus *minor*. Allein diese Schmeicheleien wurden bald vergessen und heutzutage sind sie selbst am Hofe jener Fürsten nicht mehr bekannt.

In den neuesten Zeiten ist besonders der vierte dieser Satelliten der Gegenstand anhaltender Beschäftigung der Astronomen geworden. Bekanntlich läfst sich die Masse derjenigen Hauptplaneten, die mit Satelliten versehn sind, bestimmen, wenn man die Halbmesser der Bahnen und die Umlaufszeiten der beiden Körper kennt. Ist nämlich a die halbe grofse Axe und T die siderische Umlaufszeit eines Planeten, so wie M die Masse der Sonne und m die Masse des Planeten, und bezeichnet man analog die halbe Axe der Satellitenbahn durch a′ und die siderische Umlaufszeit des Satelliten durch T′, so hat man

$$\frac{M}{m} = \left(\frac{a}{a'}\right)^3 \cdot \left(\frac{T'}{T}\right)^2.$$

Für Jupiter ist a = 5,20279 Halbmesser der Erdbahn und T = 4332,59631 Tage, für seinen vierten Satelliten aber ist T′ = 16,6890 Tage und a′ = 26,998 Halbmesser Jupiters. Da aber der Halbmesser Jupiters in seiner mittleren Entfernung von der Sonne aus dem Mittelpuncte der Sonne unter dem

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Winkel von 18″,371 gesehn wird, so ist der Halbmesser Jupiters gleich a . Tang. 18″,371 Halbmesser der Erdbahn, und daher auch die mittlere Entfernung des vierten Satelliten von dem Mittelpuncte Jupiters oder der hier anzuwendende Werth der Gröfse a′ gleich

$$a' = 26{,}998 \,.\, a \,.\, \text{Tang. } 18'',371$$

oder

$$a' = 0{,}0125105 \text{ Halbmesser der Erdbahn.}$$

Substituirt man diese Werthe von a, a′ und T, T′ in der vorhergehenden Gleichung, so erhält man

$$\frac{M}{m} = 1067$$

oder die Masse m des Jupiter ist gleich $\frac{1}{1067}$, wenn man die Masse M der Sonne gleich der Einheit annimmt. Von dieser Gröfse hatte schon Newton[1] die Masse Jupiters gefunden, indem er die Beobachtungen der gröfsten Digression zu Grunde legte, die sein Zeitgenosse Pound an diesem vierten Satelliten beobachtet hatte, und ganz ebenso grofs giebt sie auch noch Laplace[2] an. Bekanntlich lassen sich aber diese Massen der Planeten auch aus den Störungen schliefsen, welche sie auf die andern Planeten ausüben. Da nun die drei genannten Planeten die gröfsten unsers Sonnensystems und daher ihre gegenseitigen Störungen sehr beträchtlich sind, so wurde dadurch Laplace verursacht, die Massen dieser Planeten auch auf diesem neuen Wege zu suchen. Bouvard, der die hierher gehörenden Rechnungen auf Laplace's Veranlassung übernahm, fand dadurch folgende Massen:

für Jupiter . . $\frac{1}{1070}$,
- Saturn . . $\frac{1}{3512}$,
- Uranus . . $\frac{1}{17918}$.

Dazu macht Laplace die Bemerkung, dafs man die Differenz zwischen diesen und den älteren Angaben ungemein klein finden wird, wenn man die Schwierigkeiten bedenkt, die sich

---

1 In seinen Principien. Lib. III.

2 Mécan. céleste und Exposit. du Système du Monde. Liv. IV. Chap. III. Am letzten Orte findet Laplace auf demselben Wege die Masse Saturns $= \frac{1}{3359}$ und des Uranus $= \frac{1}{19500}$.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Messung der Elongation des Satelliten und der Ellipticität seiner Bahn entgegensetzen. Er sagt hierüber[1]: „Indem ich meine Wahrscheinlichkeitsrechnung an die Calcüls anbrachte, die Bouvard ausgeführt hat, so habe ich gefunden, dafs man eine Million gegen Eins wetten kann, dafs die von Bouvard gefundene Masse Jupiters noch nicht um den hundertsten Theil ihres Werthes fehlerhaft ist.“ Ebenso will er Elftausend gegen Eins wetten, dafs die neue Masse Saturns um kein Hundertstel ihres Werthes irrig ist, und endlich nur 2500 gegen Eins, dafs die neue Masse des Uranus noch bis auf ihren vierten Theil richtig ist. Diese Ungewifsheit für Uranus kommt daher, dafs die Masse dieses Planeten gegen die des Saturn sehr klein, dafs also auch die Störung, welche Saturn von Uranus erfährt, nur gering ist, und dafs man daher aus diesen Störungen nicht mehr so sicher auf die wahre Ursache derselben, d. h. auf die Masse des Uranus, zurückschliefsen kann. Hierbei blieb es bis auf unsere Tage. Allein in den letzten Zeiten bemerkte man, dafs die Störungen, welche Jupiter auf die vier neuen Planeten ausübte, noch viel gröfser und daher auch noch viel geschickter seyn müssen, die Masse dieses Planeten zu bestimmen. Nicolai in Mannheim unternahm zuerst diese Untersuchungen, indem er die von Gauss entwickelten allgemeinen Störungsgleichungen auf die Juno anwendete, woraus er für die Jupitersmasse $\frac{1}{1053,9}$ fand. Ebenso leitete Encke aus den Störungen, die Jupiter in der Vestabahn hervorbringt, diese Masse gleich $\frac{1}{1050,1}$ und endlich auch aus dem von ihm benannten Kometen gleich $\frac{1}{1054,4}$ ab, sämmtlich gröfsere Werthe, als sie früher Newton gefunden hatte. Die Masse Jupiters war nämlich

nach Newton .. $\frac{1}{1067}$,

— Bouvard .. $\frac{1}{1070}$,

nach Nicolai u. Encke .. $\frac{1}{1052,8}$,

1 A. a. O. S. 47.

so dafs also die letzte die gröfste und die von Bouvard die kleinste Masse giebt.

Es schien nicht leicht, diese Differenzen zu vereinigen, obschon sie in der That grofs genug waren, um die Astronomen aufmerksam zu machen. Diese Differenz war weit entfernt, in so enge Grenzen eingeschlossen zu seyn, für die oben Laplace eine Million zu wetten keinen Anstand nahm, und sie ging auf volle Zweihundertstel des Ganzen. Wenn z. B. die Störung, welche einer der neuen Planeten von Jupiter leidet, im Allgemeinen zwei Grade beträgt, und sie kann beträchtlich höher steigen, so beträgt der zweihundertste Theil derselben schon 144 Secunden, also über 2,5 Minuten, und so grofse Abweichungen der Theorie von der Beobachtung mufsten den neuern Astronomen zu sehr auffallen, um nicht den Grund dieser Discordanz mit allem Eifer zu erforschen. Allein nachdem sie lange genug vergebens gesucht hatten, blieb ihnen, wie es schien, nichts übrig, als beide Resultate, bis auf bessere Einsicht, neben einander bestehn zu lassen. Viele kamen sogar auf die Ansicht, dafs bei der gegenseitigen Wirkung der Planeten auf einander nicht blofs das Gesetz der allgemeinen Schwere, sondern auch eine gewisse chemische Wahlverwandtschaft dieser Himmelskörper berücksichtigt werden müsse, und dafs, wegen einer solchen Verwandtschaft, Jupiter z. B. auf die Masse seiner Monde ganz anders einwirken müsse, als auf die Masse der neuen Planeten, die von jener der Monde wesentlich unterschieden seyn könne. Eine solche Ansicht wäre, wie im vorigen Jahrhundert die von Clairaut, durch welche er einer ähnlichen Schwierigkeit begegnen wollte, sehr geeignet gewesen, unsere Rechnungen und Theorieen so zu verwirren und die Schwierigkeiten derselben so zu vermehren, dafs man nur wenig Hoffnung hegen könnte, je damit zu einem einfachen und befriedigenden Resultate zu gelangen.

Aber wie es in der Geschichte der Menschheit und auch in der Geschichte der Wissenschaft schon so oft gegangen ist, so ging es auch hier. Man sucht lange in der Tiefe, was ganz oben, was oft unmittelbar vor Augen liegt. Jene erste Bestimmung der Masse Jupiters von Newton gründete sich auf die Messungen Pound's und diese wurden durch eine

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

stillschweigende Uebereinkunft unter den Astronomen als fehlerfrei, als ganz zuverlässig angenommen, obschon man sehr wohl wufste, dafs die Instrumente, deren sich Pound bediente, nicht die besten ihrer Art und dafs die Beobachtungen, um die es sich hier handelte, nicht die leichtesten waren.

Endlich kam Airy, damals noch (im J. 1832) Professor der Astronomie in Cambridge, zuerst auf den Einfall, die gröfste Elongation dieses vierten Satelliten noch einmal mit aller Schärfe, die seine trefflichen Instrumente und die jetzt so sehr vervollkommnete Beobachtungskunst erlaubten, zu untersuchen, und er fand im Mittel aus sehr vielen und sehr gut unter einander übereinstimmenden Beobachtungen daraus die Masse Jupiters gleich $\frac{1}{1048,9}$ der Sonne, also nahe mit denjenigen Resultaten übereinstimmend, die Nicolai und Encke auf ganz andern Wegen gefunden haben. Später nahm auch Prof. Santini[1] in Padua dieselben Beobachtungen des vierten Satelliten noch einmal vor und fand diese Masse gleich $\frac{1}{1049}$, übereinstimmend mit Airy. Nennt man Pound's Bestimmung $a = \frac{1}{1067}$ und die neue $a' = \frac{1}{1049}$, so hat man

$$\frac{a'}{a} = \frac{1067}{1049} = 1,017,$$

so dafs also die alte Bestimmung um nahe $\frac{2}{100}$ ihrer Gröfse fehlerhaft ist, allerdings unvereinbar mit dem Resultate, welches Laplace mit Hülfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung gefunden haben wollte.

XI Bestimmung der Entfernung Jupiters von der Sonne durch Beobachtung seiner Satelliten.

Wenn die Alten diese Satelliten mit unbewaffnetem Auge hätten sehn können, so würde ihnen das einfache Mittel, daraus die Entfernung Jupiters von der Sonne zu finden, ohne Zweifel nicht entgangen seyn und sie würden dann ganz an-

1 Memorie della Società Italiana in Modena. T. XXI. Schumacher's astron. Nachr. Th. XII. S. 285.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dere Ansichten von der Gröſse und der innern Organisation unseres Planetensystems erhalten haben. Nehmen wir an, man hätte die ganze Dauer des Umlaufs des 3ten oder des 4ten Satelliten beobachtet. Zur Zeit der Mitte der Finsterniſs ist dieser Satellit, aus dem Mittelpuncte Jupiters betrachtet, sehr nahe in seiner Opposition mit der Sonne, also ist dann auch seine jovicentrische Lage am Himmel dieselbe mit der heliocentrischen Lage seines Hauptplaneten. Die unmittelbare Beobachtung oder, was dasselbe ist, die Sonnentafel giebt für dieselbe Zeit auch die heliocentrische Lage der Erde. Man hat daher in dem Dreiecke, das die Mittelpuncte der Sonne, der Erde und des Jupiter verbindet, den Winkel an der Sonne und durch eine directe Beobachtung auch den Winkel an der Erde oder die Elongation Jupiters von der Sonne. Demnach hat man also auch, da in jedem Dreiecke die Seiten sich verhalten, wie die Sinus der ihnen entgegenstehenden Winkel, für die Zeit dieser Mitte der Finsterniſs das Verhältniſs der drei Seiten dieses Dreiecks, oder man erhält die Entfernung Jupiters von der Sonne und von der Erde in Theilen der Entfernung der Erde von der Sonne. Man findet dadurch, daſs Jupiter in seiner mittleren Entfernung von der Sonne nahe 5,2 Mal weiter von der Sonne absteht, als die Erde, oder daſs diese Entfernung Jupiters von der Sonne über 107 Millionen deutsche Meilen beträgt.

XII. Entdeckung der Geschwindigkeit des Lichts durch diese Satelliten.

Daſs die Verfinsterungen dieser Satelliten zur *Bestimmung der geographischen Längen* sehr geeignet sind, wurde bereits oben[1] bemerkt. Am einfachsten ist das Verfahren, wenn man diese Finsternisse an zwei verschiedenen Orten in der That beobachtet. Hat man z. B. den Eintritt eines solchen Mondes in den Schatten seines Hauptplaneten zu Paris um 8^h $30'$ $24''$ und zu Wien um 9^h $26'$ $34''$ beobachtet, so ist die Differenz dieser Zeiten oder so ist 0^h $56'$ $10''$ auch sofort die Differenz der geographischen Längen dieser beiden Beobachtungsorte. Allein es ist schwer, viele solche correspondirende

---

S. Art. *Nebenplaneten*. Bd. VII. S. 67.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Beobachtungspaare zu erhalten, und was noch wichtiger ist, zur See, wo diese Beobachtungen von vorzüglicher Anwendung sind, kann man die Nachricht von der zweiten, vielleicht mehrere Hunderte von Meilen entfernten Beobachtung nicht abwarten, da man die Länge des Orts, an welchem sich das Schiff eben aufhält, sogleich kennen mufs, um sich vor den Klippen und Untiefen der See zu schützen. Diesem Umstande zu begegnen, suchte man ein Mittel, aus einer einzigen isolirten Beobachtung einer solchen Finsternifs die geographische Länge dieses Ortes abzuleiten. Eine lange fortgesetzte Reihe von Beobachtungen dieser Art lehrte uns die Umlaufszeiten und die übrigen Elemente dieser Monde kennen und setzte uns dadurch in den Stand, diese Finsternisse, wie sie sich künftig ereignen werden, durch Rechnung zu bestimmen. Die ersten Tafeln dieser Art wurden von dem berühmten Astronomen Dominicus Cassini im J. 1668 gegeben und man fand aus ihnen durch ziemlich einfache Rechnungen die Zeiten der Finsternisse in Pariser Zeit ausgedrückt. Viel genauer sind die neuesten, von Delambre nach der Theorie Laplace's gegebenen Tafeln dieser Art. Nehmen wir an, man hätte den Anfang einer solchen Finsternifs zu Tobolsk an irgend einem Tage um 2^h 40′ 52″ nach Mitternacht beobachtet und man hätte aus jenen Tafeln gefunden, dafs diese Finsternifs zu Paris um 10^h 17′ 48″ statt haben sollte, so würde daraus wieder die Länge der Stadt Tobolsk von Paris gleich 4^h 23′ 4″ oder im Bogen 65° 46′ 0″ von Paris oder endlich 85° 46′ 0″ von dem eingebildeten Meridiane von Ferro folgen, den man 20 Grade westlich von Paris annimmt. Diese Längenbestimmung würde ebenso genau seyn, als eine aus zwei Beobachtungen erhaltene, wenn nur die erwähnten Tafeln ebenso verläfslich sind, als es gewöhnlich eine einzige dieser Beobachtungen selbst zu seyn pflegt. Auf diesem Wege nun bemerkte der grofse dänische Astronom Olaus Römer, der sich mit der Construction solcher Tafeln eifrig beschäftigte, schon im Jahre 1675, dafs es, zur wahren Brauchbarkeit dieser Tafeln, keineswegs hinreiche, die Umlaufszeiten und die übrigen Elemente der Satelliten Jupiters zu kennen, sondern dafs man auch auf den jedesmaligen Stand Jupiters gegen die Sonne Rücksicht nehmen müsse. Römer fand nämlich, dafs die Finsternisse alle um nahe 8 Min. 13 Sec. früher eintraten, als

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

die Rechnung forderte, wenn Jupiter in A und die Erde in T, die Sonne aber in S ist, und ebenso viel später, wenn Jupiter in B, Erde und Sonne aber in T und S sind, oder allgemein, dafs zur Zeit der Opposition Jupiters mit der Sonne alle Finsternisse um 8 Min. 13 Sec. zu früh und zur Zeit der Conjunction um ebenso viel zu spät eintrafen. Nennt man aber R = ST den Halbmesser der Erdbahn und r = SA den Halbmesser der Jupitersbahn, so ist die Entfernung Jupiters von der Erde Fig. 146.

in der Opposition $TA = r - R$

und in der Conjunction $TB = r + R$.

Die Differenz dieser beiden Entfernungen ist gleich 2r oder gleich dem Durchmesser der Erdbahn. In der Opposition sind wir demnach dem Jupiter um den ganzen Durchmesser der Erdbahn näher, als in der Conjunction, und dort sehn wir zugleich alle Finsternisse um 16 Min. 26 Sec. früher, als hier. Diese einfache Zusammenstellung beider Erscheinungen reichte für den Scharfsinn Römer's hin, die wahre Ursache derselben zu finden. In der gröfsern Entfernung Jupiters nämlich bedarf das Licht auch eine gröfsere Zeit, als in der kürzeren Distanz, und zwar 16 Min. 26 Sec., um den Durchmesser der Erde, d.h., um den Weg von 41331600 deutschen Meilen zurückzulegen. Sonach wurde denn die Geschwindigkeit des Lichtes gemessen, das in jeder Secunde 41918 deutsche Meilen zurücklegt, vorausgesetzt, dafs es von seinem Ausgange bis zur Ankunft auf der Erde stets dieselbe Geschwindigkeit beibehält. Ein halbes Jahrhundert später benutzte der englische Astronom Bradley diese Entdeckung Römer's, um darauf seine nicht minder glänzende Entdeckung der Aberration[1] zu gründen.

XIII. Lichtgleichung der Satelliten.

Nachdem man auf diese Weise die Geschwindigkeit des Lichtes kennen gelernt hatte, war es nothwendig, zu finden, wie viel dadurch die Zeit der Finsternifs in jeder Lage Jupiters verändert werde. Zu diesem Zwecke mufs man also die Distanz D Jupiters von der Erde für jede gegebene Zeit kennen. Ist diese Distanz bekannt, so wird das Product

1 S. Art. *Abirrung des Lichtes.* Bd. I. S.15.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

$$0^h\ 8'\ 13'' \times D$$

oder, in Stunden und deren Theilen ausgedrückt,

$$0{,}137\ D$$

die gesuchte Zeit T seyn, um welche die Finsternifs in dieser Distanz durch die Geschwindigkeit des Lichtes verändert worden ist. Um D zu finden, sey Θ die Länge der Sonne weniger der heliocentrischen Länge Jupiters für die gegebene Zeit und R die Entfernung der Sonne von der Erde, so wie r von Jupiter, wodurch man sofort erhält

$$D = \sqrt{r^2 + R^2 - 2\,r\,R\,\mathrm{Cos.}\,\Theta}.$$

Da nun R gegen r nur klein ist, so hat man, wenn man die dritten und höhern Potenzen von $\frac{1}{r}$ vernachlässigt und die Wurzelgröfse der letzten Gleichung auflöst,

$$D = r - R\,\mathrm{Cos.}\,\Theta + \frac{R^2}{4r}(1 - \mathrm{Cos.}\,2\,\Theta) + \frac{R^3}{8r^2}(\mathrm{Cos.}\,\Theta - \mathrm{Cos.}\,3\,\Theta).$$

Ist nun, um auf die Ellipticität der beiden Planetenbahnen Rücksicht zu nehmen, a die halbe grofse Axe, a e die Excentricität der Jupitersbahn und m die mittlere Anomalie dieses Planeten, und nennt man dieselben Dinge für die Erdbahn A, A E und M, so hat man

$$r = a\,(1 - e\ \mathrm{Cos.}\,m)$$

und

$$R = A\,(1 - E\,\mathrm{Cos.}\,M).$$

Substituirt man diese Werthe von r und R in dem vorhergehenden Ausdrucke und setzt man der Kürze wegen die Gröfse A gleich der Einheit, so hat man

$$D = a + \frac{1}{4a} - e\left(a - \frac{1}{4a}\right)\mathrm{Cos.}\,m - \left(1 - \frac{1}{8a^2}\right)\mathrm{Cos.}\,\Theta$$
$$- \frac{1}{4a}\,\mathrm{Cos.}\,2\,\Theta - \frac{1}{8a^2}\,\mathrm{Cos.}\,3\,\Theta + E\,\mathrm{Cos.}\,M\,\mathrm{Cos.}\,\Theta.$$

Es ist aber $a = 5{,}202776$; $e = 0{,}048162$ und $E = 0{,}016793$. Substituirt man diese numerischen Werthe in der vorhergehenden Gleichung, nachdem man die letzte durch 0,137 multiplicirt hat, so erhält man

$$T = 0^h{,}719 - 0^h{,}034\,\mathrm{Cos.}\,m - 0^h{,}136\,\mathrm{Cos.}\,\Theta$$
$$- 0^h{,}007\,\mathrm{Cos.}\,2\,\Theta - 0^h{,}001\,\mathrm{Cos.}\,3\,\Theta + 0^h{,}002\,\mathrm{Cos.}\,M\,\mathrm{Cos.}\,\Theta$$

und dieses ist die gesuchte Zeit T, in Stunden ausgedrückt,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

um welche die Finsternisse der Satelliten in der Distanz D später gesehn werden, als wenn die Geschwindigkeit des Lichts unendlich grofs wäre. Der letzte Ausdruck für T wird die *Lichtgleichung* genannt.

XIV. Vorausbestimmung der Finsternisse dieser Satelliten.

Wenn die Bahn, die Jupiter um die Sonne beschreibt, ein Kreis wäre, so würde die Vorausbestimmung der Finsternisse, wenn man einmal nur eine derselben beobachtet hat, sehr leicht seyn. Man würde nämlich blofs zu der gegebenen Zeit der beobachteten Finsternifs die synodische Revolution des Satelliten 1-, 2-, 3mal . . . addiren, um sofort die Zeiten aller nächstfolgenden Finsternisse zu erhalten. Da aber wegen der Ellipticität der Bahn die Geschwindigkeit Jupiters in derselben veränderlich ist, so erleidet dadurch diese einfache Vorschrift eine Aenderung, die sehr beträchtlich ist und bei dem vierten Satelliten selbst über sechs volle Stunden gehn kann. Nehmen wir an, dafs man die Finsternifs eines Satelliten beobachtet habe zu der Zeit, wo Jupiter eben in seinem Perihelium war. Da die Bewegung dieses Planeten in seiner Sonnennähe gröfser ist, als die mittlere[1], so wird die nächstfolgende Finsternifs später eintreten, und zwar um die Zeit Θ, welche der Satellit gebraucht, um mit seiner mittleren synodischen Bewegung einen Bogen zu durchlaufen, welcher der Mittelpunctsgleichung Jupiters für diesen Ort seiner Bahn gleich ist. Nennt man nämlich t die periodische und T die synodische Umlaufszeit des Satelliten und ω den Bogen, welchen Jupiter in seiner Bahn während der Zeit T zurücklegt, so beschreibt der Satellit während der Zeit t den Bogen 360° und während der Zeit T den Bogen $360^\circ + \omega$, also ist

$$T = \frac{360 + \omega}{360} . t$$

oder T ist um so gröfser, je gröfser ω ist. Nennt man daher h die Mittelpunctsgleichung Jupiters oder die Differenz seiner wahren und seiner mittleren Anomalie, so ist

1 Vergl. Art. *Mittlerer Planet.* Bd. VI. S. 2310.

$$\Theta = \frac{T}{360} . h.$$

Ist aber e = 0,048162 die Excentricität der Jupitersbahn und m seine mittlere Anomalie, vom Perihel gezählt, so hat man bekanntlich

$$h = \frac{2e}{\text{Sin.}1''} \text{Sin.}m + \frac{5e^2}{4\text{Sin.}1''} \text{Sin.}2m + \ldots\ldots$$

Substituirt man daher für T die oben gegebenen synodischen Revolutionen der vier Satelliten, so erhält man für die gesuchten Correctionen Θ jeder nächstfolgenden Finsterniſs

bei dem I	Satelliten	$\Theta = 0^h,650$	Sin. m
II	. . . . .	1,305	Sin. m
III	. . . . .	2,640	Sin. m
IV	. . . . .	6,156	Sin. m.

B. Satelliten des Saturn.

Ueber die sieben Satelliten, welche den Planeten Saturn umgeben, ist bereits im Artikel *Nebenplaneten* das Vorzüglichste von dem, was uns von ihnen bekannt ist, gesagt worden, daher wir hier nur einige dort übersehene Bemerkungen nachträglich mittheilen wollen.

Die zwei dem Saturn nächsten dieser Satelliten scheinen ungemein klein zu seyn, besonders der dem Ringe zunächst stehende oder der sogenannte erste Satellit, der wohl der kleinste der uns bekannten Himmelskörper seyn mag. Beide streifen, selbst in ihren gröſsten Elongationen, beinahe an den äuſsersten Rand des Rings und sind daher auch wohl wegen dieser Nähe des viel lichtstärkeren Rings so schwer zu sehn. Auch Herschel und Schröter haben mit ihren groſsen Spiegelteleskopen die Durchmesser dieser zwei kleinen und äuſserst lichtschwachen Monde, die man auſserdem auf dem Festlande noch nicht gesehn hat, nicht zu messen gewagt. Von den fünf weiter entfernten aber geben sie die Durchmesser wie folgt, an:

		nach Schröter			nach Herschel
Satellit	III	100	deutsche	Meilen	140
	IV	100	—	—	140
	V	260	—	—	360
	VI	680	—	—	1050
	VII	390	—	—	620

welche Zahlen aber mehr als Schätzungen, denn als eigentliche scharfe Messungen zu betrachten sind.

Wegen der grofsen Neigung ihrer Bahnen gegen die Bahn des Saturn, die bei den sechs ersten gegen 30 und bei dem siebenten 23 Grade beträgt, werden diese Monde nur selten verfinstert, da sie gewöhnlich über oder unter der Schattenaxe ihres Hauptplaneten vorübergehn. Vergleicht man die oben[1] angeführten Umlaufszeiten dieser Monde mit ihren Entfernungen vom Saturn, so sieht man, dafs auch hier das bekannte dritte Gesetz Kepler's in Anwendung kommt. Die ersten drei dieser Satelliten haben sehr kleine Bahnen und stehn ihrem Hauptplaneten durchaus näher, als unser Mond der Erde. Ihre mittleren Entfernungen betragen in der That nur $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$ und $\frac{4}{5}$ der Entfernung unsers Mondes von der Erde; der vierte aber hat nahe dieselbe Entfernung vom Mittelpuncte Saturns, wie der Mond vom Mittelpuncte der Erde. Zwischen dem fünften und sechsten aber, so wie zwischen dem sechsten und siebenten bemerkt man einen sehr grofsen, den übrigen nicht angemessenen Zwischenraum, in welchem vielleicht unsere Nachfolger dermaleinst noch mehrere neue Satelliten entdecken werden.

So wie ferner der erste oder nächste dieser Satelliten durch seine sehr geringe Gröfse ausgezeichnet ist, so ist auch seine Bahn die kleinste, die wir in unserm Planetensysteme kennen, da ihr Halbmesser nur ein Drittel gröfser ist, als der Durchmesser Jupiters.

Man hat öfter an der Existenz der zwei innersten Trabanten gezweifelt, da sie bisher nur von Herschel gesehn worden sind. Allein Mädler und Beer[2] haben die sämmtlichen Beobachtungen des älteren Herschel vom Jahre 1789

1 S. Art. *Nebenplaneten*. Bd. VII. S. 74.
2 Astronomische Nachrichten. Th. XIII. S. 73.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

discutirt und die erwartete Uebereinstimmung unter ihnen gefunden, ja selbst die ersten genäherten Elemente ihrer Bahnen daraus abgeleitet. Sie fanden nämlich für den zweiten dieser Satelliten

Umlaufszeit $32^h\ 53'\ 2'',728$
Distanz vom
Mittelp. ♄ ... $34'',38$

Epoche 1789 Sept. 14 .. $11^h\ 53'$ mittl. Zeit von Slough, für welche die saturnicentrische Länge dieses Satelliten gleich $67^0\ 56'\ 25'',5$ ist. Für den ersten oder dem Hauptplaneten nächsten Satelliten aber fanden sie

Umlaufszeit . . $22^h\ 36'\ 17'',705$
Distanz vom
Mittelp. ♄ . . $26'',7779$

Epoche 1789 Sept. 14 . . . $13^h\ 26'$ mittl. Zeit von Slough, für welche Zeit die saturnicentrische Länge dieses Satelliten $268^0\ 34'\ 36''$ ist. Bei diesem letzten Satelliten glaubten sie sogar die elliptischen Elemente seiner Bahn, wenn gleich nur beinahe, bestimmen zu können, und fanden durch die darüber angestellten Rechnungen

Umlaufszeit . . . $22^h\ 36'\ 17'',705$
Halbe grofse Axe . . . 2,46820 Halbmesser Saturns
Excentricität 0,0689
Perisaturnium . . . $104^0\ 42'$

Epoche 1789 Sept. 14 . . $13^h\ 26'$ mit der mittleren saturnicentrischen Länge $264^0\ 16'\ 36''$.

Bemerken wir noch, dafs auch Herschel der Jüngere diese zwei innersten Satelliten Saturns durch die grofsen Spiegelteleskope seines Vaters gesehn zu haben versichert, und dafs diese Instrumente auch wohl die einzigen sind, durch welche sie gesehn werden können. Näher theoretisch untersucht sind von diesen Satelliten nur der vierte und der sechste, und zwar beide von Bessel [1], der die sämmtlichen älteren Beob-

---

1 Man findet diese Untersuchungen und die daraus erhaltenen Resultate zusammengestellt in v. Zach's Mon. Correspont. Th. XXIV. S. 197. für den vierten und in den astron. Nachrichten von Schumacher Th. IX. S. 1. und 381. und Th. XI. S. 17. für den sechsten Satelliten. Der letzte scheint in seiner Theorie am meisten ausgebildet, auch findet man in Astron. Nachr. Th. IX. S. 49. schon

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

achtungen derselben sammelte und mit seinen eigenen vermehrte.

C. Satelliten des Uranus.

Das Wenige, was uns von diesen Himmelskörpern bloſs durch Herschel sen. bekannt geworden ist, findet man bereits oben[1] gesammelt. Wir fügen nur noch bei, was Herschel[2] jun. darüber sagt, nicht sowohl, um die in dem erwähnten Artikel vielleicht etwas zu positiv aufgestellten Behauptungen zu bestätigen, als vielmehr, um dieselben hier wieder auf ihren wahren Werth zurückzuführen.

„Mit Ausnahme der zwei innersten Satelliten des Saturn gehören die des Uranus zu denjenigen Gegenständen unseres Sonnensystems, die man am schwersten nicht bloſs beobachten, sondern auch nur zu Gesicht bekommen kann. Zwei derselben existiren unbezweifelt, die vier anderen aber sind mehr geahnet, als wirklich gesehn worden. Jene zwei zeigen uns indeſs eine merkwürdige und unerwartete Eigenschaft, von der wir bisher in unserem Systeme noch kein Beispiel haben. Alle Körper dieses Systems, so weit wir sie kennen, die Haupt- und Nebenplaneten ohne Ausnahme, bewegen sich von West gen Ost und in solchen Bahnen, die von der Ebene der Ekliptik nicht weit abstehn. Die Bahnen jener zwei Uranus-Trabanten aber stehn nahe senkrecht auf der Ekliptik, da ihre Neigungen gegen diese Ebene gegen 79 Grade betragen, und die Bewegung der Satelliten in diesen Bahnen ist retrograd, d. h. ihre auf einander folgenden Orte, auf die Ekliptik reducirt, gehn von Ost gen West. Diese Bahnen sind überdieſs nahe kreisförmig und die Bewegung ihrer Knoten scheint sehr langsam zu seyn, so wie auch ihre Neigungen seit der Entdeckung derselben im J. 1787 keine merkbare Aenderung erlitten haben. Diese sonderbaren Abweichungen an der äuſsersten Grenze unserer Planetenwelt scheinen uns gleichsam

---

die astronomischen Tafeln desselben, aus welchen bereits Mädler ebend. S. 294. die Finsternisse dieses sechsten Satelliten für mehrere Jahre voraus berechnet hat.

1 S. Art. *Nebenplaneten*. Bd. VII. S. 79.

2 Treatise of Astronomy. Lond. 1833. p. 299.

vorzubereiten auf ganz andere und neue Anordnungen, die sich uns in den benachbarten Systemen, wenn sie einmal zu unserer Kenntnifs kommen, aufschliefsen werden. Uebrigens wurde die Nachricht von diesen, jenen entfernten Körpern ganz eigenthümlichen Anomalieen bisher blofs auf das Zeugnifs ihres ersten Entdeckers, meines Vaters, angenommen, da sie meines Wissens noch keinem andern Astronomen sichtbar geworden sind. Ich bin daher erfreut, hinzusetzen zu können, dafs ich jenes Zeugnifs durch meine eigenen Beobachtungen seit dem Jahre 1828 bis 1833 auf das Vollständigste zu bestätigen im Stande bin."

D. Satellit der Venus.

Auch um die Venus wollten frühere Astronomen einen Mond gesehn haben. Fontana bemerkte ihn im J. 1645, Dominicus Cassini 1672 und wieder 1686, Short in England im J. 1740. Auch Montaigne, Horrebow und Andere sprechen von ihren Beobachtungen dieses Himmelskörpers. Da man ihn aber seitdem nicht mehr gesehn hat, nicht einmal bei den zwei Durchgängen der Venus vor der Sonne in den Jahren 1761 und 1769, wo er doch vor Allem hätte sichtbar seyn sollen, und da überhaupt alle weitere Bemühungen, ihn zu Gesichte zu bekommen, fruchtlos gewesen sind, so suchte man jene ersten sogenannten Beobachtungen durch blofse optische Täuschungen zu erklären. Das Licht der Venus ist zuweilen so stark, dafs die polirten Glaslinsen unserer Fernröhre eine Art von Spiegelung erzeugen, wo man dann ein zweites, schwächeres Bild des Planeten im Felde des Fernrohrs erblickt, das man, wie man glaubt, für einen Begleiter, für einen Mond des Planeten gehalten hat. Auch Wargentin in Stockholm sah einmal, als er eben die Venus beobachtete, einen solchen scheinbaren Nebenplaneten, aber als er, um sich vor Täuschung zu verwahren, das Fernrohr um dessen eigene Axe drehte, drehte sich jener Mond mit um den Planeten, ganz ebenso, wie sich ein Flecken auf dem Oculare des Fernrohrs, wenn dieses Ocular gedreht würde, hätte bewegen müssen. Indefs war doch der treffliche Lambert in Berlin von der Wahrheit jener frühern Beobachtungen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

so überzeugt, dafs er aus den Angaben jener Astronomen die Elemente, ja sogar die Tafeln dieses Satelliten der Venus zu bestimmen suchte[1]. Aus diesen Elementen fand LAMBERT, dafs der Satellit bei den erwähnten Durchgängen der Venus im Jahr 1761 und 1769 eine zu grofse Breite hatte, um auf der Sonnenscheibe gesehn zu werden, dafs er aber wohl bei der damals nahe bevorstehenden Conjunction der Venus mit der Sonne am 1. Junius 1777 sich auf der Sonnenscheibe projiciren werde. Allein die Astronomen haben ihn auch zu dieser Zeit vergebens gesucht, und man ist jetzt, vielleicht nicht ganz aus hinreichenden Gründen, beinahe allgemein dahin übereingekommen, dafs dieser Satellit gar nicht existire. Es scheint mit ihm zu gehn, wie es mit den 30 Satelliten der Sonne gegangen ist, die das Dictionnaire de Trévoux so pomphaft angekündigt und die man bald darauf als blofse Sonnenflecken erkannt hat, oder wie mit dem neuen Planeten, weit jenseit des Uranus, der seiner entsetzlichen Gröfse wegen HERCULES genannt und dessen Elemente im Hamburger unpart. Correspondenten, als aus unmittelbaren astronomischen Beobachtungen entnommen, angezeigt und, wie es scheint, auch so lange auf Treu und Glauben angenommen wurden, bis in denselben Blättern ein Widerruf erschien, wodurch die ganze Ankündigung als eine Mystification und als ein Spiel eines müssigen Kopfes dargestellt wurde. Uebrigens schien König Friedrich II. nicht weniger fest, als sein Akademiker LAMBERT, an die Existenz jenes Venusmondes zu glauben und er wollte ihn zu Ehren seines gelehrten Freundes D'ALEMBERT genannt wissen. Dieser aber verbat sich die zweifelhafte Ehre und zog sich von dem königlichen Ansinnen mit den Worten zurück: *Je ne suis ni assez grand pour devenir au ciel le satellite de Venus, ni assez jeune pour l'être sur la terre, et je me trouve trop bien du peu de place, que je tiens de ce bas monde, pour en ambitionner une autre au firmament.*"

---

1 Berliner astronomisches Jahrbuch f. d. J. 1777.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

E. Bemerkungen über die Satelliten überhaupt.

Die Entdeckung der Satelliten Jupiters durch Simon Marius am 29. Dec. 1609 und unabhängig von diesem durch Galilei am 7. Januar 1610, welcher Entdeckung erst später die der Satelliten des Saturn und Uranus folgten, bildet eine der wichtigsten Perioden in der Geschichte der Astronomie. Die erste wahre Auflösung des Problems, die geographische Länge zu bestimmen, eines Problems, das für die Schifffahrt und für die gesammte mathematische Geographie von der gröfsten Wichtigkeit ist, ist die unmittelbare Frucht dieser Entdeckung gewesen, da schon Galilei selbst die Beobachtung der Finsternisse der Jupiterssatelliten zu diesem Zwecke als sehr geeignet anerkannt hat. Auch die endliche, definitive Bestätigung der Wahrheit des *Copernicanischen* und *Kepler'schen Systems* verdanken wir diesen Himmelskörpern, da sie uns die bekannten drei Gesetze Kepler's, besonders das von ihm aufgestellte der Verhältnisse zwischen den Umlaufszeiten und der grofsen Axe der Bahnen, auf das Deutlichste und gleichsam wie in einem Miniaturbilde des grofsen Planetensystems am Himmel erkennen liefsen. Jene Entdeckung ist nur erst vor 228 Jahren gemacht worden; die ersten Tafeln der Jupitersmonde von Cassini sind vor 147 Jahren herausgekommen, und erst zu Ende des vorhergehenden Jahrhunderts hat Lagrange die erste umfassende Theorie ihrer Störungen durch die Kraft seiner Analyse aufgestellt[1]. Und in diesem kurzen Zeitraume haben uns diese Monde, durch die Schnelligkeit ihrer Revolutionen, beinahe alle die grofsen Veränderungen aufgeführt und vor unsern Augen entwickelt, die in dem viel gröfseren Systeme der Hauptplaneten viele Jahrhunderte, ja Jahrtausende zu ihrer vollständigen Entfaltung bedürfen. Die Störungen, welche sie von der Sonne erleiden, sind ungleich geringer, als die unseres Erdmondes, wegen

1 Die hierher gehörende Arbeit Lagrange's, die Antwort auf eine im Jahre 1766 gegebene Preisfrage der Akademie zu Paris, ist eine der schönsten, die je über die innere, nur durch die feinste Theorie zu erforschende Organisation unsers Weltsystems erschienen ist.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

der grofsen Distanz, welche sie von diesem Centralkörper unseres Systemes trennt, aber desto bedeutender sind die Perturbationen, welche diese vier Monde unter sich selbst ausüben, und diese werden noch gröfser durch die oben erwähnten Verhältnisse, die zwischen den mittleren Bewegungen der drei ersten derselben bestehn. Wenn man die Totalwirkung dieser gegenseitigen Störungen betrachtet, so findet man, dafs dieselbe für die Finsternisse eine allen Satelliten gemeinschaftliche Periode von 437,659 Tagen habe, eine Periode, die schon Wargentin sehr früh durch seine Beobachtungen erkannte und die man auch später durch die Theorie bestätigt gefunden hat.

Denselben Satelliten sind wir auch die Kenntnifs der *Geschwindigkeit des Lichtes* schuldig, die gröfste genau mefsbare Geschwindigkeit, die wir bisher in der Natur gefunden haben, und durch ebendiese Kenntnifs sind wir auf eine andere, noch wichtigere und interessantere Entdeckung, auf die der *Aberration*, geführt worden, die uns den besten Beweis und gleichsam den Schlufsstein des Copernicanischen Systems gegeben hat und ohne die es ganz unmöglich gewesen wäre, in unsere neueren Beobachtungen diejenige Genauigkeit zu bringen, deren sie sich jetzt erfreuen. So scheint die Natur an die Entdeckung dieser vier kleinen Sternchen des Himmels, die sich so viele Jahrtausende hindurch dem menschlichen Auge entzogen haben, eine ganze Reihe anderer, wichtiger und interessanter Wahrheiten geknüpft zu haben, die uns durch jene mit einem Male geoffenbart werden sollten.

Wenn aber diese Monde schon für uns, die wir so weit von ihnen entfernt sind, so interessant geworden sind, in wie viel höherem Grade müssen sie erst die Aufmerksamkeit der ihnen so nahen Bewohner ihres Hauptplaneten erregen! Schon durch die geringe Schiefe der Ekliptik dieses Planeten, die kaum drei volle Grade beträgt, und durch die äufserst schnelle Rotation dieses gröfsten aller Planeten, die noch nicht zehn unserer Stunden beträgt, mufs der Aufenthalt auf seiner Oberfläche von dem auf unserer Erde sehr verschieden seyn. Wegen jener geringen Schiefe wird nämlich der Unterschied der Jahreszeiten oder der Wechsel der Temperatur im Sommer und Winter ebenfalls sehr gering seyn, da für jeden bestimmten Ort dieser Oberfläche die mittägige Höhe der Sonne in einem

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Jupiterjahre, d. h. in nahe zwölf unserer Erdjahre, sich nur um sechs Grade ändert, während diese Aenderung bei uns in einer 12mal kürzern Zeit schon 47 Grade beträgt. Desto merklicher aber wird im Gegentheile die Verschiedenheit des Klima's für die nahe und fern von dem Aequator wohnenden Bewohner Jupiters seyn. Unter dem Aequator steht daselbst die Sonne beinahe immer im Zenith, während die Bewohner der Polargegenden durch volle sechs unserer Jahre die Sonne gar nicht sehn oder in einer ebenso langen Nacht begraben liegen und die folgenden sechs Jahre die Sonne zwar immer über ihrem Horizont, aber nur in einer Höhe von höchstens drei Graden erblicken. Mit Ausnahme dieser von ewigem Schnee und Eis bedeckten Polarländer haben die übrigen Gegenden beinahe immerwährende Tag- und Nachtgleiche, da für sie jeder Tag, so wie jede Nacht, nahe fünf unserer Stunden dauert. Welche Aenderungen in der Lebensart und in der Betreibung aller Geschäfte müssen nur diese kurzen Tage allein erzeugen und wie wenige unserer Erdbewohner würden sich mit einer so kurzen Nacht von nur fünf Stunden zufrieden stellen!

Desto zufriedner aber werden dafür mit dieser Einrichtung die Astronomen Jupiters seyn, wenn anders dieser grofse Weltkörper auch solche Wesen auf seiner Oberfläche enthält, die an der Beobachtung des Himmels und seiner Wunder Interesse fühlen. In der That würden sie dort manche grofse Vortheile geniefsen, nach denen wir uns hier vergebens sehnen. Die wichtigsten und auffallendsten Beobachtungen, die der Finsternisse der Sonne und des Monds, die bei uns so selten sind, gehören dort beinahe zu den täglichen Erscheinungen, und da alle vier Satelliten die Sonne an scheinbarer Gröfse weit übertreffen und ihre Bahnen mit der Bahn Jupiters nahe zusammenfallen, so sind beinahe alle diese Finsternisse total und überdiefs wegen der schnellen Rotation Jupiters auf dem ganzen Planeten sichtbar. Um die Entfernungen dieser Satelliten von der Oberfläche Jupiters zu messen, haben die Astronomen dieses Planeten an dem Durchmesser desselben eine Basis, die schon den dritten Theil der Entfernung des ersten Satelliten beträgt, so dafs daher diese Entfernung daselbst mit der gröfsten Schärfe gefunden werden kann. Ist dann auch dort das Verhältnifs der Umlaufszeiten zu der grofsen Axe der Bahnen bekannt, so

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

werden dadurch auch die Entfernungen der drei andern Satelliten gegeben seyn. Die schnelle Rotation dieses Planeten und die schnelleren Schwingungen der Pendel auf der Oberfläche desselben geben den Bewohnern ein Mittel, das wichtigste Element aller Beobachtungen, die Zeit, mit viel gröfserer Schärfe zu bestimmen, als dieses bei uns möglich ist. In der That würde unser Secundenpendel von ungefähr drei Fufs Länge auf der Oberfläche Jupiters in einer unserer Secunden schon fast zwei Schwingungen vollenden und ein Pendel, welches dort seine Schwingungen während einer unserer Secunden macht, müfste die Länge von nahe acht Par. Fufs haben.

Wir haben bereits den Nutzen und die wohlthätigen Einflüsse erwähnt, welche diese Monde Jupiters, ihrer grofsen Entfernung von der Erde ungeachtet, auf uns haben. Noch viel gröfser werden diese Einflüsse ohne Zweifel auf dem Jupiter selbst seyn, für den sie doch eigentlich bestimmt sind. Nicht minder wichtig endlich werden die Einwirkungen seyn, die Jupiter selbst, gleichsam zum Ersatze von jenen, auf diese Monde ausübt. Wenn der einzige Mond der Erde unsern Nächten schon so viel Reize giebt, wie viel schöner mögen jene Nächte seyn, die von vier oder bei Saturn sogar von sieben Monden erleuchtet werden, des Ringes dieses letzten Planeten nicht zu gedenken, der sich wie ein breites Lichtband um den ganzen Himmel schlingt. Aber auch umgekehrt, welches Schauspiel mag den Bewohnern des ersten Satelliten Jupiters dieser grofse und ihnen so nahe stehende Planet gewähren! Sie werden diesen Planeten zur Zeit des Vollichts als eine der Sonne ähnliche feurige Scheibe, aber 1400-mal gröfser, als uns die Sonne erscheint, erblicken und diese Scheibe wird, wie wir oben[1] für unsern Erdmond gesehn haben, immer unverrückt an derselben Stelle des Himmels befestigt bleiben, während die Sonne, die Planeten und alle Fixsterne binnen zehn Stunden hinter ihr vorüber ziehn. Die Bewohner der Mitte der dem Jupiter zugewendeten Hälfte dieser Monde werden diesen ihren Hauptplaneten immerwährend in ihrem Zenithe erblicken, aber schon eine Reise von 400 Meilen, die ein Bewohner des ersten Mondes macht, würde

1 S. Art. *Mond.* Bd. VI. S. 2402.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

jene grofse Scheibe aus dem Zenith in den Horizont verrükken. Mit welcher Verwunderung werden die Bewohner der vom Jupiter abgekehrten Hälfte dieses Satelliten, nach einer Reise von nur wenigen Meilen, den ihnen bisher unbekannten Lichtkörper erblicken, dessen Oberfläche die Sonne, wie sie ihnen erscheint, 37000mal übertrifft. Dafür müssen es sich aber diese Monde auch gefallen lassen, immer einen Theil ihrer Mittage in dem Schatten des Planeten zu stehn und dadurch der Sonne gerade dann, wenn sie ihnen ihre wärmsten Strahlen zusendet, beraubt zu werden, während in derselben Zeit auch Jupiter nur seine beschattete Seite jenen Monden zuwendet und also auch die dunklen Nächte des Hauptplaneten nicht von den Vollmonden der Satelliten erleuchtet werden können, so dafs die Bewohner Jupiters ihre Monde meistens nur im zunehmenden oder abnehmenden Lichte sehn können.

Aehnliche Betrachtungen, nur nach den verschiedenen Verhältnissen modificirt, werden sich auch für die Satelliten des Saturn und Uranus ergeben, daher wir uns hier nicht länger dabei aufhalten und diesen Gegenstand nach Mädler's Selenographie mit einigen Bemerkungen beschliefsen wollen, die sich auf die Verschiedenheit der Verhältnisse unseres Mondes von denen der drei äufsersten Planeten beziehn.

Zuerst finden wir, dafs die Störungen, welche der Mond von der Sonne erleidet, viel gröfser sind, als die aller andern Satelliten, von denen die Sonne viel weiter entfernt ist und deren Hauptplaneten sämmtlich viel gröfser sind, als die Erde. Es scheint, dafs unser Mond schon nahe an der Grenze stehe, an welcher es einem Planeten noch möglich ist, einen Satelliten in einer geregelten Bahn um sich zu erhalten. Ein Mond, dessen Umlaufszeit gleich oder kleiner als die Rotationszeit seines Planeten ist, würde sich nicht einmal bilden können. Der Erdmond kommt aber diesem Verhältnisse näher, als irgend einer der siebzehn anderen Monde unseres Sonnensystems. Wäre aber seine Umlaufszeit gleich oder gröfser, als die Umlaufszeit seines Planeten ist, so würde er nicht mehr ein Mond geblieben, sondern ein selbstständiger, für sich selbst die Sonne umkreisender Hauptplanet geworden seyn. Die übrigen Monde vollenden mehrere hundert, ja der innerste Saturnsmond sogar 11000 Umläufe um ihren Planeten in der Zeit, in welcher der Planet selbst nur einen einzigen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Umlauf um die Sonne zurücklegt, während im Gegentheile unser Mond nur 13 Umläufe um die Erde in einem Jahre hat. Für die Bewohner jener andern Monde zeigt sich ihr Hauptplanet unter einem 400- bis 800mal gröfseren Durchmesser, als die Sonne, während den Bewohnern unsers Mondes die Erde nur $3\frac{1}{2}$mal gröfser als die Sonne erscheint.

Die Bahnen der andern Satelliten sind durchaus sehr wenig gegen die Ebene des Aequators ihres Hauptplaneten und sehr stark gegen seine Bahn geneigt, während bei unserm Monde gerade das Gegentheil statt hat, da für den Mond jene Neigung 24, diese aber nur 5 Grade beträgt. Die grofse Axe des 6ten oder Huyghens'schen Saturnsmonds vollendet ihren Umlauf um den Himmel erst in 710 Jahren und die Knoten seiner Bahn sogar in der langen Periode von 36500 Jahren, während bei unserm Monde diese zwei Perioden nur $8\frac{4}{5}$ und $18\frac{3}{5}$ Jahre betragen. Jupiter sieht im Laufe eines seiner Jahre fast 4500 Mondfinsternisse und nahe ebenso viele Sonnenfinsternisse, während die Erde im Jahre nur zwei oder drei solcher Erscheinungen hat.

Diese Bemerkungen liefsen sich ohne Mühe noch mit vielen andern nicht minder auffallenden vermehren. Aber auch sie werden genügen, auf die grofsen Verschiedenheiten der kosmischen Verhältnisse aufmerksam zu machen, die selbst bei den Satelliten, bei diesen untergeordneten Körpern unseres Sonnensystems, statt haben.

L.

Trägheit.

Inertia; Inertie; *Inertia.*

So wird diejenige Eigenschaft der Körper genannt, nach welcher sie in ihrem Zustande, der Ruhe oder der Bewegung, bleiben, so lange keine äufsere Ursache da ist, welche diesen Zustand ändert. Wenn daher ein Körper z. B. in Ruhe ist, so wird er, so lange nichts Aeufseres auf ihn einwirkt, auch in Ruhe bleiben, weil nichts da ist, was ihn aus dieser Ruhe bringen, was ihn in Bewegung setzen könnte. Aber auch, wenn ein Körper in Bewegung ist und wenn die Ursache, die ihm diese Bewegung gegeben hat, plötzlich aufhört, so wird er

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

sich in derselben Richtung und mit derselben Geschwindigkeit, die er zuletzt unmittelbar vor dem Aufhören jener Ursache hatte, weiter und zwar ohne Ende fortbewegen, weil nämlich, der Voraussetzung gemäfs, wieder nichts da ist, was diese letzte Bewegung, was die Richtung oder Geschwindigkeit derselben ändern könnte. So ausgedrückt ist also der Satz von der Trägheit der Körper nichts Anderes, als der Satz des zureichenden Grundes, auf die Veränderung des Zustandes der Körper angewendet, wo unter diesem Worte *Zustand* des Körpers die *Ruhe* verstanden wird, wenn er ruht, und die *Richtung* und *Geschwindigkeit*, wenn er sich bewegt. Die erwähnte Ursache aber, welche diesen Zustand des Körpers, wenn er ein anderer wird, ändert, wird *Kraft* genannt. Das Gesetz der Trägheit kann demnach auch so ausgedrückt werden: *der Zustand eines Körpers kann nur durch eine Kraft verändert werden.* Wo daher keine Veränderung dieser Art bemerkt wird, ist auch keine Kraft da, die auf den Körper einwirkt, wenn nicht etwa mehrere Kräfte vorhanden sind, die sich aber gegenseitig aufheben. Wenn ein Körper ruht, so wird er so lange ruhn, als er von keiner Kraft getrieben wird. Wenn aber ein Körper in gerader Linie und mit gleichförmiger Geschwindigkeit sich bewegt, so kann er dieses nur in Folge einer früheren Kraft, deren Wirkung aber aufgehört hat, wie z. B. dieses ein augenblicklicher Stofs thun wird. Wenn endlich ein Körper sich in einer krummen Linie oder mit einer ungleichförmigen Geschwindigkeit bewegt, so ist dieses nur dann möglich, wenn eine stets thätige Kraft immerwährend auf ihn wirkt und dadurch jeden Augenblick seine Richtung oder seine Geschwindigkeit oder beide zugleich ändert.

So verstanden bildet diese Eigenschaft der Körper das bekannte *Princip der Trägheit*, das als das erste Axiom der Mechanik angenommen wird. In früheren Zeiten hat man darüber, wie über so manches andere, viel gestritten, ohne eben die Sache dadurch zu fördern. Man wurde dazu gröfstentheils durch die sonderbare Benennung veranlafst, die man dieser Eigenschaft der Körper beilegte und die man, da man ihre Ursache in einem inneren Bestreben der Körper suchte, die *Kraft der Trägheit* (*vis inertiae*, *force d'inertie*) geheifsen

hat, worin vorzüglich DESCARTES[1] vorausgegangen ist. HUYGHENS stellte zuerst den Begriff gehörig fest und NEWTON[2] drückte ihn schön und bestimmt mit den Worten aus: *Corpus omne perseverat in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogatur illum statum mutare.* Was STEWART, HERMANN, NOLLET, BRISSON, GORDON, KRATZENSTEIN und selbst FRANKLIN[3] darüber geschrieben haben, ist jetzt gröfstentheils und nicht mit Unrecht vergessen. Eine Sache, die entweder als ein Axiom für sich klar ist oder doch nicht weiter bewiesen werden kann, soll blofs deutlich und bestimmt ausgesprochen, aber nicht zum Gegenstande von inhaltleeren Discussionen gemacht werden.

Aufser diesem Axiome der Mechanik haben die neueren französischen Schriftsteller in dieser Wissenschaft nur noch eines angenommen, dafs nämlich die accelerirenden Kräfte den Geschwindigkeiten, die sie erzeugen, proportional sind. Auch dieses Princip ist in den früheren Zeiten viel bestritten worden, wie bereits oben[4] zum Theil angeführt worden ist. Da aber alle Beweise, die man bisher von diesem Satze zu geben suchte, mifslungen sind, so wird man besser thun, ihn ebenfalls als ein Axiom oder als ein Princip zu betrachten, um von ihm auszugehn und dann blofs zuzusehn, ob die aus ihm folgenden Resultate mit den Erscheinungen der Natur übereinstimmen. Von diesen Beweisen sind die neuesten die von LAPLACE[5] und POISSON[6]. Die englischen Schriftsteller über Mechanik setzen diesen beiden Axiomen noch ein drittes, das von der Zerlegung der Kräfte und der Geschwindigkeiten in zwei oder drei andere unter sich senkrechte, hinzu. Die französischen und deutschen Mechaniker nehmen im Gegentheile diesen Satz als ein Theorem an, dessen strengen Beweis sie aufzustellen sich bemühen. Wir werden darüber weiter unten[7] näher sprechen. *L.*

---

1 Princip. Philos. T. II. §. 37.
2 Principia Philos. Nat. Lib. I.
3 Dessen Miscellaneous Pieces.
4 S. Art. *Kraft.* Bd. V. S. 968.
5 Mécanique céleste. L. I.
6 Traité de Mécanique. 2me éd. §. 116.
7 S. Art. *Zerlegung.*

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Tropfen.

Gutta; Goutte; *Drop.*

Eine durchaus vollständige Untersuchung aller die Bildung und das Verhalten der Tropfen betreffenden Einzelheiten würde sehr weitläuftig und schwierig, zugleich aber für die Physik von einem dieser Mühe nicht entsprechenden Nutzen seyn, weswegen ich mich beschränke, nur das Wesentlichste hier zu betrachten.

Man nennt Tropfen jede für sich bestehende oder als solche betrachtete, kleinere oder unbestimmt gröfsere Masse irgend einer Flüssigkeit, deren Verhalten nach den vorhandenen ungleichen Bedingungen sehr verschieden ist, und man mufs daher die einzelnen Erscheinungen ordnen, um das Ganze besser zu übersehn. Hiernach lassen sich die Tropfen betrachten zuerst, wenn sie im freien Zustande sich selbst überlassen sind, zweitens, wenn sie auf einer gegebenen Fläche ruhn, und drittens, wenn sie von einem Körper herabhängen.

1) Die sich selbst überlassenen, für sich bestehenden Tropfen aller Flüssigkeiten, als ruhend gedacht, nehmen eine vollkommene Kugelgestalt an und ihre Gröfse kann ins Unbestimmte wachsen, denn selbst die Gesammtmasse unserer Erde, von der wir annehmen, dafs sie ursprünglich flüssig war und in Folge hiervon die Kugelgestalt erhalten habe, läfst sich als ein Tropfen von unermefslicher Gröfse betrachten. Ehemals suchte man die Ursache dieser Form, die sich auch bei den *Luftblasen*[1] findet, im Drucke der Luft; als sich aber die Tropfen im luftleeren Raume gleichfalls rund zeigten, sollte sie nach der Ansicht der Cartesianer im Drucke der subtilen Materie oder des Aethers liegen, bis Newton[2] die eigentliche Ursache auffand und sehr bestimmt ausdrückte[3].

---

1 S. Art. *Luftblasen.* Bd. VI. S. 458.

2 Optice. Qu. 23. p. m. 338.

3 A. a. O. heifst es: Guttae corporis cujusque fluidi, ut figuram globosam induere conentur, facit mutua partium suarum attractio; eodem modo, quo terra mariaque in rotunditatem undique conglobantur, partium suarum attractione mutua, quae est gravitas.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Es darf als ein Axiom gelten, dafs jede gegebene Masse einer Flüssigkeit die Kugelgestalt annehmen müsse, weil alle einzelnen Molecüle derselben, wenn sie insgesammt gleichen Gesetzen der Anziehung folgen, ihre alles mefsbaren Widerstandes der Reibung entbehrende Beweglichkeit vorausgesetzt, nur dann in den Zustand des Gleichgewichts kommen können, wenn sie mit allen andern, vom Centrum gleich weit entfernten, einen gleichen hydrostatischen Druck erleiden, was nur unter Voraussetzung einer vollständigen Sphäricität der Fall seyn kann. Nachdem Newton diesen Satz aufgestellt und begründet hatte, schlossen sich hieran alle die unmittelbar damit zusammenhängenden Untersuchungen über die Gestalt, welche die Erde unter Voraussetzung einer statt findenden Rotation annehmen mufste, worüber an einem anderen Orte[1] bereits geredet worden ist. In der Erfahrung gewahrt man eine Menge Anwendungen dieses Gesetzes, wovon es genügt, nur die Methode des Schrotgiefsens[2] anzuführen, wobei man das geschmolzene Metall durch ein Sieb von einer beträchtlichen Höhe in ein Gefäfs mit Wasser herabfallen läfst, damit die so getheilten einzelnen Massen im freien Falle die vollkommene Kugelgestalt annehmen.

Wenn die Tropfen sich bewegen, so geschieht dieses entweder im leeren Raume oder in einem widerstehenden Mittel. Im ersten Falle ist kein Grund vorhanden, warum die bestehenden Gesetze eine Abänderung erleiden sollten, und sie werden daher die vollkommene Kugelgestalt beibehalten, im zweiten Falle müssen sie aber den vorhandenen Widerstand überwinden, und da dieser nicht gegen alle Theile der Oberfläche gleichmäfsig wirkt, an einigen Stellen sogar negativ wird, so mufs sich hierdurch die vollkommene Kugelgestalt ändern. Dieses kommt namentlich in Betrachtung bei den Regentropfen, die wegen ihres Falles durch den lufterfüllten Raum die vollkommene Kugelgestalt nicht beibehalten können, sondern eine solche Gestalt annehmen, dafs die verticale Durchschnittsebene durch ihr Centrum von der *Curve des kleinsten Widerstandes* begrenzt ist. Es würde indefs keinen,

---

1 S. Art. *Erde*. Bd. III. S. 920.

2 S. d. Lehrbücher der Technologie.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

der Schwierigkeit angemessenen Nutzen für den Physiker haben, die Gleichung für diese Krümmungen aufzusuchen[1].

2) Liegen die Tropfen auf irgend einer Unterlage, so wirkt auf ihre Gestalt nicht blofs die gegenseitige Anziehung ihrer Molecüle unter sich, sondern zugleich die Adhäsion derselben an die Oberfläche der Unterlage, wie nicht minder der lothrechte Druck gegen diese, und wenn daher die erstere die Kugelform erzeugt, so werden die beiden letzteren, dieser entgegenwirkend, eine Abplattung herbeiführen; die Form der Tropfen wird daher durch das Verhältnifs dieser drei Kräfte unter einander bedingt. Unter diesen drei einander entgegenwirkenden Kräften ist das Gewicht oder die Schwere, vermöge welcher die Molecüle des Tropfens dem Mittelpuncte der Erde sich zu nähern streben, bei weitem die kleinste, man pflegt sie daher gewöhnlich zu vernachlässigen und blofs den Conflict der beiden andern zu betrachten. Hierbei mufs aber berücksichtigt werden, dafs die erstere, die gegenseitige Anziehung der Molecüle einer Flüssigkeit, bei jeder gegebenen Masse derselben sofort in ganzer Stärke auftritt, die Adhäsionskraft an der Unterlage aber, als eine in unmefsbare Ferne wirkende[2], blofs die mit der Oberfläche der unterstützenden festen Körper in unmittelbarer Berührung befindlichen Theile afficirt. Fafst man das Problem blofs im Allgemeinen auf, so folgt einfach, dafs die Tropfen der Flüssigkeiten auf den Unterlagen um so mehr zerfliefsen und ihre genaue Kugelform durch Abplattung um so vollständiger verlieren werden, je gröfser die Kraft der Adhäsion ihrer Molecüle gegen die sie tragende Oberfläche im Verhältnifs zu der Anziehungskraft dieser Molecüle unter sich ist, worüber sich jedoch keine bestimmten Gesetze aufstellen lassen, weil die Stärke der Adhäsion der Flüssigkeiten an feste Körper sich durch kaum oder gar nicht wahrnehmbare Veränderungen der Oberflächen dieser Körper bedeutend ändert. So wird unter andern Wasser auf Glas an einigen Stellen völlig zerfliefsen, aber an andern oder unter veränderten Umständen sich von der Oberfläche scheinbar zurückziehn,

---

1 Eine vor einigen Jahren, wenn ich nicht irre, in Breslau, erschienene Dissertation: De forma guttae in medio resistente cadentis, habe ich nicht zur Hand.

2 Vergl. *Capillarität.* Bd. II. S. 39. und *Adhäsion.* I. 186.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ohne dafs sich die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens bestimmt angeben läfst. Hierzu kommt dann noch der wichtige Umstand, dafs sich die Stärke der Adhäsion der Molecüle sowohl unter sich als auch gegen die Oberflächen der festen Körper durch die Temperatur bedeutend ändert. Aus dem Unterschiede der Stärke jener beiden genannten Kräfte, verbunden mit der Wirkung der Schwere, wird erklärlich, dafs Quecksilber auf Glas Kugeln bildet, deren Abplattung mit ihrer Gröfse zunimmt, Wasser dagegen auf demselben mehr oder weniger vollständig zerfliefst, statt dafs es auf den mit einem wachsartigen Ueberzuge bedeckten Oberflächen der Pflanzenblätter eine mehr oder minder kugelförmige Gestalt annimmt, wie das bekannte Phänomen der Thautropfen oder der Regentropfen, namentlich auf Kohlblättern, zeigt. Sind die Quecksilberkügelchen oder die Wassermassen klein, so lassen sich die Körper, denen sie adhäriren, umkehren, ohne dafs jene herabfallen, ungeachtet dann ihr ganzes Gewicht auf sie wirkt, woraus hervorgeht, dafs die Schwere und der dadurch erzeugte Druck eine sehr geringe Kraft im Verhältnisse zu den andern beiden Attractionskräften seyn mufs und dafs daher die Abplattung der kugelförmigen Tropfen zum gröfsten Theile eine Wirkung der Adhäsion ist.

Versuche zur Bestätigung und Erläuterung dieser Gesetze giebt es verhältnifsmäfsig nur wenige, weil sie für die Naturlehre im ganzen Umfange nur geringen Nutzen gewähren. Am bekanntesten sind diejenigen, welche Musschenbroek[1] angestellt hat. Hierbei fand er, dafs Wassertropfen von einer Lin. Durchmesser auf polirtem Eisen die Gestalt einer Halbkugel annahmen, welche Bestimmung jedoch auf keiner absolut scharfen Messung beruht; mehr zerflossen sie auf Elfenbein, Guajakholz und Buchsbaum, noch mehr auf Quecksilber und Glas, ungleich weniger, und fast volle Kugelgestalt beibehaltend, auf Blättern. Auch auf glühendem oder sehr heifsem Eisen blieben sie anscheinend vollkommen rund, eine Erscheinung, welche später unter der Benennung des *Leidenfrost'schen Versuches*[2] die Physiker so vielfach beschäftigt hat. Bei kleinen Quecksilbertropfen auf Glas kann die geringe

1 Introd. ad phil. nat. T. I. §. 1018 ff.
2 Hierüber s. Art. *Wärme*.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Abplattung derselben wahrgenommen, auch leicht gezeigt werden, dafs sie beim Umkehren des Glases dennoch daran hängen bleiben und also ihre Adhäsion ungleich gröfser seyn mufs, als ihr Gewicht. Musschenbroek fand Quecksilbertropfen von 0,01 Z. Durchmesser nur unmerklich abgeplattet und dennoch fielen sie von Buchsbaum-, Granadillen- und Guajakholz u. s. w. beim völligen Umkehren nicht herab, stieg ihre Gröfse aber bis 2,5 Z. Durchmesser, so betrug ihre Abplattung dennoch nur 0,15 Zoll. Wenn zwei Tropfen von derselben Flüssigkeit auf einer Fläche, von welcher sie nur wenig angezogen werden, mit einander zur Berührung kommen, so fliefsen sie augenblicklich in einen einzigen zusammen, wie sich am deutlichsten bei Quecksilberkügelchen auf reinem glatten Papiere oder Glase zeigt; werden sie aber stärker von den sie tragenden Flächen angezogen, so vereinigen sie sich nicht vollkommen, sondern nehmen eine längliche Figur an, welche in der Mitte am schmalsten ist[1]. Tropfen von geschmolzenem Zinn, Blei oder Wismuth auf strengflüssigern Metallen verhalten sich wie Quecksilbertropfen, es sey denn, dafs man durch Salmiak, Colophonium, Salzsäure u. s. w. das Zerfliefsen wie beim Löthen bewirkt.

Auch diese Erscheinungen wollte man vom Luftdrucke und den Wirkungen des Aethers ableiten, allein schon Musschenbroek widerlegt diese Ansicht und bemerkt dabei, man würde ohne Schwierigkeit die richtige Erklärung, wonach die Ursache in der Wechselwirkung der verschiedenen Adhäsionen zu suchen sey, aufgefunden haben, wenn man nur genaue Versuche angestellt und dabei die Phänomene deutlich beobachtet hätte. Diese Gesetze der Anziehung in unmefsbar geringe Fernen, wonach die Molecüle der Flüssigkeiten unter sich und von den Oberflächen fester Körper angezogen werden, legte Laplace[2] bei seiner Theorie der Capillarität zum Grunde und bestimmte hiernach die Gestalt eines grofsen Quecksilbertropfens auf einer Glasplatte so, dafs die Resultate mit den Ergebnissen der Erfahrung genau übereinstimmten.

---

1 Bei der Anstellung dieser Versuche vereinigt man die Tropfen dadurch, dafs der eine oder beide so lange vergröfsert werden, bis die Berührung erfolgt.

2 G. XXXIII. 323.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Wie stark aber die Kraft der Adhäsion der Molecüle einer Flüssigkeit unter sich sey, zeigt der von verschiedenen, namentlich englischen Physikern angegebene Versuch, dafs man auf eine Spiegelplatte eine Menge möglichst gleicher Quecksilbertropfen ausbreiten, dann eine andere Spiegelplatte darauf legen kann, ohne die Tropfen bedeutend flach zu drükken, selbst wenn man die obere Spiegelplatte mit Gewichten beschwert. Ist die letztere durch gröfsere Gewichte merklich beschwert und sind die Kugeln dadurch stark platt gedrückt, so werden sie zur ursprünglichen Form zurückkehren, wenn man die Lasten von der oberen Platte entfernt.

3) Am häufigsten kommen die Tropfen unter der Bedingung vor, dafs sie von festen Körpern herabhängen, und in dieser Beziehung sind sie auch am meisten untersucht worden, hauptsächlich weil bei der Bereitung und dem Gebrauche der Arzneien häufig die Tropfen als eine gewisse gemessene Gröfse dienen. Eigentlich wissenschaftliche Untersuchungen über die Gröfse und Gestalt der Tropfen auch in dieser Beziehung, so wie überhaupt über ihre Bildung, hat wohl zuerst Musschenbroek[1] angestellt, indem er die verschiedenen Flüssigkeiten durch einen Trichter, welcher sich unten in ein Haarröhrchen endigte, ablaufen liefs und dabei die Höhe und den Durchmesser der so gebildeten, auf eine Glasplatte herabfallenden Tropfen mafs. Nicht minder schätzbar sind die Versuche von Weitbrecht[2], welcher das Phänomen der Tropfenbildung mit denen der Capillarität in Verbindung brachte und somit in den bedeutenden, über letzteres Problem später bekannt gewordenen Untersuchungen voranging, unter denen die von Thom. Young[3] hier noch besonders genannt werden mögen, weil sie über Tropfen von Wasser und Weingeist, die er von Kugeln herabfallen liefs, Versuche enthalten.

Young glaubt, es sey nicht unmöglich, die Gröfse der Tropfen, wie sie von gegebenen Substanzen abfliefsen, aus der Höhe zu berechnen, bis zu welcher die Flüssigkeiten, woraus sie bestehn, in einem Haarröhrchen von der nämlichen

1 A. a. O.

2 Comment. Petrop. T. VIII. p. 261. T. IX. p. 275.

3 Philos. Trans. 1805. p. 65. Auch in dessen Lectures. T. II. p. 649.

Substanz aufsteigen. Die linearen Dimensionen der Tropfen verschiedener Flüssigkeiten, welche von einer horizontalen Fläche herabhängen, müssen sich nämlich verhalten, wie die Höhen, bis zu welchen diese Flüssigkeiten an der horizontalen Fläche aufsteigen, oder wie die Quadratwurzeln der Höhen in einem Haarröhrchen, wonach also ihre Gröfsen sich verhalten müssen wie die Cubi der Quadratwurzeln dieser Höhen. In einem diesemnach angestellten Versuche waren die Höhen von Wasser und verdünntem Weingeiste = 100:64, das Gewicht eines von einer grofsen Glaskugel fallenden Tropfens Wasser betrug 1,8 Grains, das eines Tropfens Weingeist 0,85 Grains, statt dessen die Rechnung sehr annähernd 0,82 gab. Am bekanntesten ist die Abhandlung von Segner[1], welche aufser Versuchen auch theoretische Betrachtungen enthält. Von den späteren Arbeiten über diesen Gegenstand verdienen vorzüglich die von Link[2], Gay-Lussac[3] und Frankenheim[4] genannt zu werden.

Nach den Resultaten der gesammten Untersuchungen wird die Gröfse und Gestalt der Tropfen bedingt zuerst durch die Fluidität und das specifische Gewicht der Flüssigkeiten, zweitens durch die Gröfse, Gestalt und Adhäsionskraft[5] der Fläche oder des Körpers, an welchem sie hängen und von welchem sie sich losreifsend herabfallen, und drittens durch die Temperatur sowohl der Flüssigkeit als auch des Körpers, woran sie hängen. Als Apparate zur Bildung der Tropfen bediente sich Musschenbroek kleiner Trichter mit haarröhrenförmigen Oeffnungen, Link gebrauchte massive, unten abgerundete Glasstäbchen, Frankenheim verwandte dazu Röhren, Pipetten, Retorten von verschiedener Gröfse, an denen die Flüssigkeit herabflofs und sich unten zum Tropfen vereinigte, poröse Zeuge, die um einen durchlöcherten Metallboden gewunden waren, und vorzüglich ein Glasgefäfs mit

---

1 Comm. Soc. Reg. Gott. T. I. p. 301.

2 G. XLVII. 17.

3 Poisson nouvelle Théorie de l'action capillaire. Par. 1831. p. 125.

4 Die Lehre von der Cohäsion. Bresl. 1835. S. 95.

5 Frankenheim nennt diese *Synaphie* vom griechischen Worte συνάφεια, Zusammenhang.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

einem engen Loche in seinem ziemlich dicken Boden. Letzteres fand er am brauchbarsten, insbesondere wenn der Boden etwas sphärisch gekrümmt war, indem dann die Tropfen an jeder Stelle der Fläche vor dem Herabfallen eine gleiche Gröfse erhielten. Ich selbst bediene mich eines kleinen Hebers aus einer engen Glasröhre[1], an dessen nicht eingetauchtem Ende man leicht einen Tropfen entstehn lassen, vergröfsern und verkleinern und zugleich alle Veränderungen seiner Gröfse und Gestalt eine beliebige Zeit hindurch beobachten kann.

Sind die übrigen Bedingungen gleich, so zeigt sich zuerst der Einflufs der Fluidität, welche im Ganzen wohl mit der Molecularattraction oder der Adhäsion der Elemente jeder gegebenen Flüssigkeit unter sich zusammenfällt, durch die ungleiche Gröfse der Tropfen, wie sie durch das Gewicht derselben gefunden zu werden pflegt. Man nimmt das Gewicht eines Tropfens reinen Wassers meistens zu einem Gran an, und dieses stimmt mit den Resultaten nahe genug überein, welche Link aus seinen Wägungen erhielt, wonach 8 Tropfen, die von einem Glasstabe herabfielen, bei 8° R. Temperatur 7 Gran wogen. Nimmt man die Gröfse dieses Tropfens als Einheit und berücksichtigt man, dafs die Volumina gefunden werden, wenn man die absoluten Gewichte durch die specifischen dividirt, so geben seine sämmtlich bei 8° R. angestellten Versuche mit Tropfen, die durch gleich tiefes Eintauchen derselben Glasröhre genommen worden waren, folgende vergleichbare Resultate:

Flüssigkeiten	spec. Gew.	Gewicht von 8 Tropfen	Gröfse der Tropfen
Wasser	1,000	7 Gran	1,000
Schwefelsäure . . .	1,803	8 —	0,633
Schwefels. Kupfer .	1,015	8 —	1,125
Mandelöl		6,5 —	1,055

War die Temperatur des Wassers = 34° R., so war dessen spec. Gewicht = 0,948, und da 8 Tropfen nur 4,5 Gran wogen, so betrug ihr Volumen 0,678. Frankenheim fand, dafs Tropfen von Weingeist und Aether kleiner sind, als von Was-

1 Vergl. *Capillarität.* Bd. II. S. 45. Fig. 25.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

ser, und das Verhältnifs bei Weingeist und Wasser soll dem der Höhe dieser Flüssigkeiten in Haarröhrchen gleich seyn

Die Wirkung der *Adhäsion* der Flüssigkeiten an die festen Körper ist bei der Tropfenbildung nicht zu verkennen, denn wenn keine Benetzung statt findet, fällt auch die hier zu erörternde Tropfenbildung weg[1], Frankenheim aber hat bestimmt gefunden, dafs die Körper, an denen sich Tropfen bilden und die normale Gröfse erhalten sollen, nothwendig benetzt seyn müssen, und dafs sie namentlich bei Wasser kleiner werden, wenn die Flächen etwas fettig sind. Aufserdem kommt die Gröfse und Gestalt der Flächen, denen die Flüssigkeiten adhäriren, bis sich eine gehörige Menge derselben vereinigt, um als Tropfen herabzufallen, sehr in Betrachtung, und eine sehr feine Spitze mufs sonach die kleinsten, eine ausgedehnte ebene Fläche die gröfsten Tropfen geben, ohne dafs es sich jedoch der Mühe lohnt, hierüber bestimmte Zahlengröfsen aufzusuchen. Nach Frankenheim bewirkte die sphärische Krümmung der Fläche von 20 bis 30 Millim. Radius eine merkliche Verminderung der Gröfse der Tropfen, und selbst bei 50 Millim. Radius war der vermindernde Einflufs der Krümmung noch nicht ganz verschwunden.

Ueber den Einflufs der Temperatur auf die Gröfse der Tropfen sind die wenigsten Bestimmungen vorhanden. Im Allgemeinen ist nicht zu verkennen, dafs die Adhäsion durch Vermehrung der Wärme vermindert wird und dafs daher das Volumen des Tropfens, der sich nur dann von dem festen Körper losreifst, wenn sein Gewicht die Kraft der Adhäsion überwindet, durch Temperaturerhöhung vermindert werden mufs; in welchem Verhältnisse aber diese Verminderung mit der Wärmezunahme stehe, kann vorläufig nur durch Versuche ausgemittelt werden, die bis jetzt noch fehlen, obgleich Link[2] bereits auf ihren Nutzen aufmerksam machte. Von ihm selbst haben wir blofs das bereits erwähnte Resultat, wonach die Gröfse der Wassertropfen durch eine Wärmezunahme von 34 — 8 = 26° Reaum. von 1 auf 0,678 herabging, Frankenheim aber fand diese Gröfse für 40 — 20 = 20° C.

---

1 So läfst sich bekanntlich Quecksilber nicht aus gläsernen oder irdenen Gefäfsen abtröpfeln.

2 G. XLVII. 18.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

nur 0,8 bis 0,9, ohne die Aufgabe weiter zu verfolgen. Letzterer hat dagegen auf eine andere Bedingung aufmerksam gemacht, die nicht sowohl für wissenschaftliche Untersuchungen, als vielmehr für die praktische Anwendung wichtig ist, nämlich dafs die Gröfse der Tropfen mit der Geschwindigkeit des Abfliefsens derselben wächst. Dieses Resultat kann nicht wohl paradox scheinen, vielmehr folgt es nothwendig aus den Bedingungen; denn wenn der Tropfen sich bildet und zunehmend tiefer herabsinkt, bis die oberen Theile desselben durch das Gewicht der unteren getrennt werden, so mufs die Masse der unteren nothwendig zunehmen, wenn während der Zeit des Losreifsens noch andere hinzufliefsende Theile hinzukommen. In seinen Versuchen fand Frankenheim, dafs durch eine Verminderung der Zeit von 3,76 bis 0,79 die Gröfse der Tropfen bei Wasser von 1 bis 1,55 und bei Weingeist durch eine Verminderung der Zeit von 1,67 bis 0,37 die Gröfse von 1 bis 1,76 zunahm.

Ueber das Verhalten der Tropfen vom Anfange ihres Entstehens an und über die Veränderung ihrer Form bis zum Augenblicke, wo sie sich losreifsen und herabfallen, will ich nichts hinzusetzen, da mir keine erschöpfenden Untersuchungen hierüber bekannt sind, das Phänomen aber leicht mit dem oben vorgeschlagenen Heber beobachtet werden kann, insofern man die allmälige Bildung derselben, ihre Vergröfserung und Verminderung, kurz alle verschiedene Modificationen der Gröfse und Gestalt in willkürlich langer Zeit und im beliebigen Wechsel leicht zu erzeugen und wahrzunehmen vermag. Die bisherigen Untersuchungen über die Tropfen unter der zuletzt betrachteten Bedingung ihres Anhängens an feste Körper bis zum Herabfallen derselben sind aber wichtig, insofern sie zur Erläuterung der Adhäsionsgesetze dienen. Die Tropfenbildung ist nur dann möglich, wenn die Flüssigkeit den gegebenen festen Körper benetzt und also die Adhäsion ihrer Molecüle unter einander schwächer ist, als die an den festen Körper, wie sich daraus deutlich ergiebt, dafs der Tropfen bei erreichter hinlänglicher Gröfse durch sein Gewicht nicht von der Fläche des Körpers, woran er hängt, abgerissen wird, sondern allmälig sich der Gestalt eines Cylinders mit unterer Halbkugelfläche nähert, worauf sofort der obere Theil dünner wird, bis er abreifst und der zur Kugel umge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

staltete Tropfen herabfällt, der zurückbleibende Rest aber sich wieder in die Höhe zieht, um einen Theil des neu entstehenden Tropfens zu bilden. Hieraus geht hervor, dafs man vermittelst der unter gleichen Bedingungen erzeugten Tropfen verschiedener Flüssigkeiten die Stärke ihrer Adhäsion messen könne, es würde aber unrichtig seyn, wenn man aus dem Abreifsen des Tropfens schliefsen wollte, diese Messung erstrecke sich blofs auf den Zusammenhang der Theile der Flüssigkeiten unter sich, da vielmehr auch die Adhäsion derselben an die festen Körper dabei in Betracht kommt, indem hierdurch die Gröfse der Fläche bedingt wird, welche die Basis des Tropfens einnimmt, denn die Bildung desselben beruht darauf, dafs die Molecüle der Flüssigkeit von der Oberfläche der festen Körper angezogen werden, wodurch jedoch nur eine dünne Lage derselben gebildet werden könnte, und die Entstehung des Tropfens ist daher zugleich auch eine Folge der gegenseitigen Anziehung der Molecüle des flüssigen Körpers. In praktischer Beziehung ist es aber wichtig zu bemerken, dafs die Tropfen nicht als bestimmte Gröfsen gelten können, wie in der Pharmacie angenommen wird, da ihr Volumen unter verschiedenen Bedingungen sehr ungleich ist. Frankenheim[1] versichert, dafs er Wassertropfen, deren normales Gewicht zu einem Gran angenommen wird, 240 Milligramme oder 4 Gran schwer erhalten habe, welches sonach den ungeheuren Unterschied vom Einfachen bis zum Vierfachen begründen würde. Wenn auch angenommen wird, dafs bei der Bereitung und dem Geben der Arzneien die Bedingung zu grofser Geschwindigkeit des Abtröpfelns und der Einflufs der Wärme, Ersteres durch nöthige Vorsicht und Letzteres durch die Wahl einer mittleren Temperatur, leicht zu beseitigen wären, so hängt doch aufserdem die Gröfse der Tropfen von der Beschaffenheit des Gefäfses, ob von Glas oder Porzellan u. s. w., von der Dicke und Krümmung des Randes und anderen Bedingungen sehr ab, weswegen mindestens den Pharmaceuten eigene, bestimmt gestaltete *Tropfengläser* unentbehrlich sind. Solche hat man daher, namentlich für stark wirkende Arzneien, verschiedentlich in Vorschlag gebracht[2],

1 A. a. O. S. 100.
2 Scherer's allgem. nordische Ann. Th. I. S. 215.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

es möge hier aber genügen, ein von Meissner[1] angegebenes wegen seiner Zweckmäfsigkeit als Probe näher zu beschreiben. Ein seiner Form nach hierzu geeignetes Medicinglas wird mit zwei durch einen Kork gesteckten Glasröhren *α* und *β* versehn, deren eine *β* dazu dient, die im Glase enthaltene Flüssigkeit tropfenweise abfliefsen zu lassen, weswegen ihr oberes Ende gehörig gebogen ist, und es müssen dann die Tropfen wegen der eine halbe Linie kaum erreichenden geringen Weite der Röhre nur langsam abfliefsen, können aber wegen der Unveränderlichkeit der rein zu erhaltenden Fläche, woran sie sich bilden, von ihrer normalen Gröfse nicht wesentlich abweichen. Die zweite *α* hat den Zweck, wieder Luft in das Glas eindringen zu lassen, und sie ist daher so gebogen, dafs dieses bei einer geneigten Lage des Glases leicht geschieht, auch geht sie nicht so tief herab, dafs die Flüssigkeit in ihr aufsteigt, woraus ein Hindernifs gegen das Eindringen der Luft erwachsen würde. Zweckmäfsiger, obgleich etwas kostbarer, ist ein anderes von Schuster[2] angegebenes Tropfenglas, dessen Vorzüge darin bestehn, dafs die Flüssigkeiten nicht mit einem allmälig zerstörbaren Korke in Berührung kommen und die Luft nicht durch zwei offene Röhren leichter communiciren kann. Die Gestalt des Ganzen ist aus der Zeichnung kenntlich, auch sieht man bald, dafs der Glasstöpsel a geöffnet wird, wenn man das Gefäfs füllen oder Tropfen aus der Spitze b erhalten will, die bis zur Weite vom Durchmesser etwa einer mäfsig dicken Nähnadel verengt ist. Auf diese Weise erhält man allezeit unter sich gleich grofse Tropfen derselben Flüssigkeit, auch findet wegen der Engigkeit der Spitze eine nur geringe Verdunstung und ein unbedeutender Einflufs der eindringenden Luft statt, welchen Mängeln ohnehin begegnet werden kann, wenn die Spitze b mit einer aufgeschliffenen gläsernen Kapsel bedeckt wird. *M.*

Fig. 147.

Fig. 148.

---

1 Vorschläge zu einigen neuen Verbesserungen pharmazeutischer Operationen. Wien 1814. S. 278.

2 Buchner's Repertorium. Th. VI. S. 369.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Turmalin.

Turnamal, Trip, Aschenzieher, Aschentrecker, elektrischer Stangenschörl, ceilonscher Magnet; *Turmalinum, Lapis electricus;* Tourmaline; *Tourmaline.*

Der Turmalin erregte im Anfange des vorigen Jahrhunderts durch seine vorzügliche krystall-elektrische oder thermoelektrische Eigenschaft, durch Erhitzung stark elektrisch zu werden, sehr grofses Aufsehn und auch später ist er in dieser Beziehung Gegenstand vielfacher Untersuchungen geworden. Die Mineralogen[1] unterscheiden den *wasserhellen* Turmalin, den *rothen* (*Siberit*, *Daourit*, *rothen Schörl*), den *blauen* (*Indicolit*), den *grünen*, den *gelben*, den *braunen* (*elektrischen Schörl*) und den *schwarzen* (*gemeinen Schörl*), unter denen vorzugsweise der braune wegen seiner vorzüglichen elektrischen Eigenschaft hier in Betrachtung kommt. Von geringem Werthe sind die Bemühungen, die Spuren der Kenntnifs dieses Steines bei den Alten aufzusuchen, da die älteren Schriftsteller allerdings von solchen Fossilien reden, welche leichte Körper anziehn, ohne dafs jedoch die ungenaue Beschreibung darüber zu entscheiden gestattet, ob wirklich vom Turmaline die Rede sey, weil auch andere Fossilien diese Eigenschaft zeigen. Dahin gehört das *Lyncurium* des Theophrast[2], welches die Römer nicht mehr kannten[3], der *Theamedes* des Plinius[4], welcher alles Eisen abstofsen soll, und eine Art *Carbunculus* dieses nämlichen Schriftstellers[5], welcher von der Sonne erwärmt oder mit der

---

1 S. v. Leonhard Handbuch der Oryktognosie. Heidelb. 1826. S. 446. Daselbst findet man die ausführliche Literatur über dieses Fossil.

2 De Lapidibus, ed. Heinsii. L. B. 1613. fol. p. 395.

3 Plinius Hist. Nat. Lib. XXXVII. c. 3.

4 Ebend. Lib. XXVI. c. 16.

5 Ebend. Lib. XXXVII. c. 7.

Universitäts- und Landesbibliothek Düsseldorf

Hand gerieben Spreu und Papierschnitzeln anziehn soll. Noch weniger einer bestimmten Deutung fähig ist die Angabe des Arabers Serapion[1] von einem Steine, *Hager Albuzedi* genannt, welcher aus dem Oriente kommend an Haaren gerieben Spreu anziehe.

Die erste bestimmte Nachricht von der elektrischen Eigenschaft des Turmalins findet sich nach Beckmann[2] in einem alten Buche[3], worin die von einem gewissen Daunius mündlich erhaltene Angabe mitgetheilt wird, dafs die Holländer im J. 1703 einen pomeranzrothen Edelstein, Turmalin, Turmale und Trip genannt, aus Ceilon mitgebracht und wegen seiner merkwürdigen Eigenschaft Aschentrecker genannt hätten. Lemery[4] zeigte der französ. Akademie einen solchen Stein unter dem Namen eines ceilonschen Magnets, welcher die sonderbare Eigenschaft habe, die Körper erst anzuziehn und dann abzustofsen; aus dem Naturlexikon[5] geht aber hervor, dafs man sich auch in Deutschland mit diesem Steine beschäftigte. Linné[6] muthmafste zuerst richtig, obgleich er den Turmalin selbst noch nicht gesehn hatte, dafs die bewunderte Eigenschaft desselben auf Elektricität beruhe, weswegen er ihn *Lapis electricus* nannte, eine Ansicht, welche durch die genauen Untersuchungen von Wilke[7] und vorzüglich von Aepinus[8] volle Bestätigung erhielt. Letzterer prüfte die Eigenschaften dieses Fossils genau und machte die Resultate nebst den früheren Nachrichten über dasselbe bekannt[9]; in Frankreich stellte der Herzog von Noya Caraffa[10] mit Dau-

---

1 De simplicibus medicinis.

2 Beiträge zur Geschichte der Erfindungen. Leipz. 1782. Th. I. St. 2. N. 5. S. 241.

3 Curiöse Speculationes bei schlaflosen Nächten; von einem Liebhaber, der Immer Gern speculirt. Chemnitz und Leipz. 1707. 8.

4 Hist. de l'Acad. 1717. p. 7. Vergl. Musschenbroek Diss. de Magnete. L. B. 1729. 4. praef.

5 Mehrmals mit Hübner's Vorrede aufgelegt. Ausgabe von 1727 und 1741.

6 Flora Ceilonica Holm. 1747. 8. p. 8.

7 Schwed. Abhandl. Th. XXVIII. S. 95. Th. XXX. S. 1 u. 105.

8 Mém. de l'Acad. de Berlin. 1756. p. 110.

9 Recueil de différens mémoires sur la Tourmaline. St. Petersb. 1762. 8.

10 Lettre sur la Tourmaline à Mr. de Buffon. Paris 1759. 4.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

BENTON und ADANSON schätzbare Versuche an, wodurch die von AEPINUS gefundenen Erscheinungen bestätigt wurden; ebendieses geschah in England durch WILSON[1], welcher seine Turmaline durch HEBERDEN aus Holland erhielt, und noch gründlicher durch CANTON[2], mehrerer anderer Versuche nicht zu gedenken, die von WILKE[3], PRIESTLEY[4] und BERGMANN[5] erwähnt werden. In den neueren Zeiten haben die Chemiker den Turmalin analysirt und die Mineralogen denselben, aufser zu Ceilon, noch an vielen andern Orten aufgefunden, was aber hier nicht zunächst zur Sache gehört[6]. Beiläufig mag dagegen erwähnt werden, dafs ein ähnliches elektrisches Verhalten schon im J. 1760 beim brasilianischen Topase durch CANTON, im J. 1761 am sogenannten brasilianischen Smaragd durch WILSON wahrgenommen wurde, welchen letzteren Stein AEPINUS[7] jedoch für einen Chrysolith hielt. Vermuthlich waren diese Steine sämmtlich Turmaline von verschiedener Farbe und Krystallform.

Für unseren Zweck kommt zunächst nur das elektrische Verhalten des Turmalins in Betrachtung. So lange man blofs die Erregung der Elektricität durch Reibung kannte, mufste es im hohen Grade auffallen, den Turmalin durch blofse Aenderungen der Temperatur elektrisch werden zu sehn, und hieraus erklärt sich leicht das grofse Aufsehn, welches diese Erscheinung allgemein erregte. Als man später die Volta'sche Säule kennen lernte, suchte man jenes Verhalten hiermit in Verbindung zu setzen, und da weitere Erfahrungen eine gleiche Eigenschaft auch bei sonstigen vollkommen krystallisirten Körpern nachwiesen, nahm man eine eigene sogenannte *Krystallelektricität* an. Nach dem gegenwärtigen Standpuncte, auf welchem sich die Elektricitätslehre befindet, unterliegt es wohl

1 Philos. Trans. T. LI. P. I. p. 308.

2 Ebend. T. LII. P. II. p. 443.

3 Schwed. Abhandl. a. o. a. O.

4 Geschichte der Elektricität. Deutsche Ueb. S. 456.

5 Comm. de Indole electr. Turmalini. In Phil. Trans. T. LVI. p. 236. Schwed. Abh. T. XXVIII.

6 Wegen der ausführlichen Literatur, die zum Theil in der alten Ausgabe des Wörterbuches enthalten ist, verweise ich auf die Oxyktognosie von v. LEONHARD a. a. O.

7 Nov. Comm. Petrop. T. XII. p. 351.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

keinem Zweifel, dafs diese speciellen Erscheinungen zur *Thermoelektricität* gehören; allein wie zahlreich auch die zu letzterer gehörigen Thatsachen seyn mögen und obgleich diese bereits ebenso vielseitig als gründlich untersucht worden sind[1], so ist dennoch das eigentliche Wesen und die Aetiologie dieser Phänomene noch keineswegs ergründet. Als solche krystallisirte Fossilien, welche die thermoelektrische Eigenschaft zeigen, nennt Hauy[2] den Turmalin, den Boracit, den Topas, den Mesotyp (Werner's strahligen und faserigen Zeolith), den Prehnit und das oxydirte Zink (krystallisirten Galmei); allein da dieser Gelehrte die Anwesenheit der Elektricität blofs aus ihrer mechanischen Wirkung erkannte, wobei er sich des Condensators bediente, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, dafs noch viele andere Körper thermoelektrische Wirkungen zeigen werden, sobald man sich zur Wahrnehmung derselben feinerer Mefswerkzeuge, namentlich der Magnetnadel, bedient, wie ich denn nach eigenen Versuchen überzeugt bin, dafs alle Körper, wenn auch nur in sehr geringem Grade, thermoelektrisch werden können[3]. Inzwischen ist unverkennbar, dafs die genannten Fossilien und unter diesen namentlich der Turmalin die angegebene Eigenschaft in einem vorzüglichen Grade besitzen und überhaupt in dieser Beziehung ein auffallendes und merkwürdiges Verhalten zeigen, indem sie nicht blofs überhaupt thermoelektrisch werden, sondern zugleich polarische Gegensätze beider Elektricitäten wahrnehmen lassen. Ampere[4] führt daher den Turmalin als Beispiel eines Nichtleiters an, in welchem sich beide Elektricitäten durch den Wechsel der Temperatur trennen und bleibend an verschiedenen Stellen anhäufen.

Das elektrische Verhalten des Turmalins ist untersucht worden von Wilke und Aepinus, die bereits genannt sind, ferner von Wilson[5], Bergmann[6], den Herzog von Noya Caraffa, Hauy[7] und Andere; später sehr ausführlich und gründ-

---

1 Vergl. diesen Art.
2 Ann. du Mus. d'Hist. Nat. T. III. p. 309. G. XVII. 441.
3 S. Art. *Temperatur*. Bd. IX. S. 547.
4 G. LXVII. 115.
5 Philos. Trans. 1759. T. LI. p. 315.
6 Schwed. Abhandlungen. Deutsche Ueb. Th. XXVIII. S. 65.
7 Traité de Minéralogie. T. III. p. 50.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

lich von Jäger[1], welcher denselben mit der trocknen elektrischen Säule vergleicht und seine elektrischen Aeufserungen denen der letzteren gleich setzt. Beide Apparate gleichen sich in der äufseren Form und der Lage ihrer Pole an den Enden, mit so genauer Uebereinstimmung, dafs selbst einzelne Splitter des Steins nach der Seite hin, wo der + Pol des Ganzen sich befand, die nämliche Polarität zeigen. Der Turmalin scheint hiernach und nach der Leichtigkeit seines Zerspaltens aus ähnlichen übereinander gelagerten Lamellen zu bestehn, als die trockne Säule, wofür noch aufserdem die Verschiedenheit des äufseren Ansehns seiner Bruchflächen, wenn man ihn spaltet, als Argument angeführt wird. Rücksichtlich des elektrischen Verhaltens beider Apparate bieten sich einige Aehnlichkeiten als nahe liegend von selbst dar, andere liegen entfernter. Unter die letzteren gehört, dafs der Turmalin seine elektrische Eigenschaft verliert, wenn er bis zum Verluste seiner Farbe oder bis zum Schmelzen erhitzt wird, dagegen nach sonstigem starkem Erhitzen sich wieder elektrisch zu zeigen beginnt, wenn er vorher auf eine niedrige Temperatur zurückgebracht ist; ganz von dem Verhalten der Säule abweichend ist aber die Bedingung, dafs der Stein zur Erzeugung einer elektrischen Polarität einer Temperaturveränderung bedarf, die trockne Säule aber auch ganz ohne diese Bedingung sich elektrisch wirksam zeigt. Beide Apparate kommen darin überein, dafs ihre Pole nicht vollkommen leitend verbunden und auch nicht völlig isolirt seyn dürfen, welches Letztere Jäger durch seine Versuche für erwiesen hält, obgleich Wilke und Wilson die Sache anders gefunden zu haben angeben, wobei jedoch wohl berücksichtigt zu werden verdient, dafs nach Jäger vollkommene Isolirung nur mit grofser Schwierigkeit zu erlangen ist. So soll man es unter andern als eine Wirkung der elektrischen Atmosphären beider Pole ansehn, dafs zwei Elektrometer, auf welche man die entgegengesetzten Pole eines Turmalins oder einer trocknen Säule (Letzteres nach Bohnenberger[2]) gelegt hat, beide vorhandene Elektricität zeigen. Beim Turmaline ist ferner bemerkenswerth, dafs seine durch Erhitzung erzeugte Elektricität

1 G. LV. 369 ff.
2 Tübinger Blätter. Th. II. S. 71. G. LIII. 347.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

beim Abkühlen in die entgegengesetzte übergeht, und zwar in der Art, dafs der ganze Stein, wenn man ihn in beiden Zuständen am einen Ende leitend berührt, in seiner ganzen Länge eine und dieselbe Elektricität zeigt, sind aber beide Enden mit einem unvollkommenen Leiter verbunden, so zeigen sie nach zwei Hälften entgegengesetzte Elektricitäten. Es folgt aus diesem ferner, dafs der Turmalin, wenn sein eines Ende erhitzt wird und das andere in Abkühlung begriffen ist, an beiden Enden gleiche Polarität erhalten mufs, indem er hierdurch zwei mit ihren gleichen Polen vereinten trocknen Säulen gleich wird, eine Erscheinung, die Wilson bereits wahrgenommen hat; auch fand Wilke, dafs dann in der Mitte des Steines die entgegengesetzte Polarität zum Vorschein kam. Hinsichtlich der Intensität der Elektricität zeigen sich die Turmaline verschieden, was als Folge ihrer ungleichen Bestandtheile oder Aggregatformen zu betrachten seyn dürfte. Als die wirksamsten nennt Jäger die nelkenbraunen von Ceilon; ihnen folgen die grünen brasilianischen, dann die braunen spanischen, demnächst die rosenrothen, angeblich gleichfalls ceilonschen, hiernach die braunen schweizerischen, dann die bläulichen, welche muthmafslich auch aus Ceilon herstammen, und endlich die undurchsichtigen schwarzen tyroler Schörle. Feuchte Luft und die Nähe einer Lichtflamme schwächen die Wirkung, ohne Zweifel wegen Ableitung der Elektricität, auch erschöpft sich die Kraft des Steines, wie die der Säule, durch anhaltende Ableitung, indem es lange dauert, bis der Turmalin durch Abkühlung elektrisch wird, wenn er auf einer Metallplatte liegend erhitzt wurde. Uebrigens wächst die Stärke der Elektricität mit der Länge der Turmaline, jedoch nicht im einfachen Verhältnisse, anscheinend nur den Quadratwurzeln der Axenlänge proportional; auch fand Jäger die gröfste Intensität an den Polen selbst, der Behauptung von Hauy zuwider, wonach in einiger Entfernung von den Polen an Stellen, die er Mittelpuncte der Wirkung nennt, die stärkste Elektricität wahrgenommen werden soll. Dafs die Stärke der Elektricität dem Unterschiede der Temperatur, welchem der Stein ausgesetzt wird, proportional seyn solle, scheint nicht statt zu finden, jedoch mufs man bei vergleichenden Versuchen auch für gleiche Erwärmung und Erkältung sorgen. Der Turmalin theilt seine Elektricität zwar zum Theil wie ein

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

leitender Körper mit, und zwar mehr, wenn der Pol desselben mit einem Metallblättchen überzogen ist, zugleich zeigt sich aber auch Atmosphärenwirkung; denn wenn der Pol einige Zeit mit einem Elektrometer in Berührung war, so fielen die Goldblättchen nach der Wegnahme des Steines zusammen, divergirten dann aber sofort wieder mit entgegengesetzter Elektricität. Ferner dauert es eine geraume Zeit, bis der Turmalin seine Elektricität abgiebt, und zwar eine längere, als er zu seiner Abkühlung bedarf, weswegen die Divergenzen der Strohhälmchen des Elektrometers zunahmen, wenn der Stein wiederholt aufs neue erhitzt war und bei der Abkühlung dem Elektrometer wieder genähert wurde. Die Mittheilung erfolgt zugleich aber schneller, wenn die Flächen der Pole gröfser sind und der Wechsel der Temperatur kürzere Zeit dauert, und geschieht zugleich um so vollständiger, je vollkommener ableitend der andere Pol berührt wird.

Die ihrem wesentlichen Inhalte nach hier mitgetheilte deutsche Abhandlung scheint den Ausländern, die sich später mit demselben Gegenstande beschäftigten, nicht bekannt geworden zu seyn, wie man dieses auch sonst häufig zu finden pflegt. Von diesen spätern Untersuchungen des Verhaltens des Turmalins oder der sogenannten *Pyroelektricität* ist die von Brewster[1] die umfassendste, sofern sie sich nicht ausschliefslich auf den Turmalin beschränkt, sondern auch auf sonstige Körper erstreckt, welche dieselbe Eigenschaft im höheren oder geringeren Grade zeigen, ohne jedoch die Abweichungen der verschiedenen Körper von dem allgemeinen Gesetze dieses Verhaltens einzeln nachzuweisen. Zur Auffindung und Messung der vorhandenen Elektricität bediente sich Brewster der inneren Haut aus der *arundo phragmitis*, die in kleine Stückchen geschnitten und getrocknet von den pyroelektrischen Körpern angezogen wurde, oder eines kleinen Elektrometers, welches aus einer mittelst eines Achathütchens auf einer Stahlspitze balancirten messingnen Nadel bestand, beide Mittel keineswegs fein genug, um die geringsten Spuren vorhandener Elektricität anzugeben. Hiermit fand er folgende Fossilien thermoelektrisch:

---

1 Edinburgh Journ. of Science. N. II. p. 208.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Scolezit[1]	Diamant
Mesolit[1]	gelbes Auripigment
grönländischer Mesotyp	Analcim
Kalkspath	Amethyst
gelber Beryll	Quarz aus der Dauphiné
Schwerspath	Idocras
schwefelsaurer Srontian	Mellit?
kohlensaures Blei	natürlicher Schwefel
Diopsit	Granat
rother und blauer Flufsspath	Dichroit.

Brewster fand, übereinstimmend mit früher erhaltenen Resultaten, dafs selbst kleine Splitter des Turmalins, insbesondere senkrecht auf die Axe geschnittene Blättchen, elektrisch werden, denn wenn sie auf einer Glasscheibe liegend erhitzt sind, so hängen sie am Glase so fest, dafs sie selbst beim Umkehren nicht herabfallen und also ihr ganzes Gewicht durch die Kraft der elektrischen Anziehung überwunden wird, und aufserdem behielten sie diese Eigenschaft 6 bis 8 Stunden lang bei. Keiner der früheren Forscher, selbst nicht Hauy, hat untersucht, ob auch aus wässerigen Lösungen gebildete Krystalle sich pyroelektrisch zeigen. Brewster suchte auch diese Frage zu beantworten und fand diese Eigenschaft bei folgenden Krystallen:

Weinsteinsaures Kali-Natron	schwefelsaure Magnesia
Weinsteinsäure	blausaures Eisen-Kali
kleesaures Ammonium	Zucker
chlorsaures Kali	Bleizucker
schwefelsaure Natron-Magnesia	kohlensaures Kali
schwefelsaures Ammonium	Citronensäure
schwefelsaures Eisen	Quecksilbersublimat.

Unter diesen Salzen zeigte sich das weinsteinsaure Kali-Natron und die Weinsteinsäure stark, die übrigen zeigten sich verhältnifsmäfsig schwach pyroelektrisch.

Schon Canton hatte als auffallend bemerkt, dafs beide Stücke eines zerbrochenen Turmalins elektrische Polarität zei-

1 Eins oder das andere dieser beiden Fossilien hält Brewster für wahrscheinlich identisch mit Hauy's Mesotyp.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

gen, und Hauy schlofs hieraus, dafs ein jedes Theilchen desselben auf gleiche Weise ein polarisch elektrischer Körper seyn müsse, als Coulomb jedes einzelne Theilchen eines Magnetes für magnetisch hielt. Inzwischen sind die durch Feilen oder Zerstofsen erhaltenen kleinen Partikeln eines Magnetes, eben in Folge dieser Zerkleinerung, nicht mehr magnetisch, und diesemnach, meint Brewster, müsse man erwarten, dafs auch das Pulver eines zerstofsenen Turmalins nicht mehr pyroelektrisch seyn könne, allein selbst feines Pulver, welches im gewöhnlichen kalten Zustande von einer Glasplatte herabfiel, hing an derselben fest an, wenn das Glas gehörig erhitzt war, und ballte sich beim Aufrühren mit einem festen Körper zu einem Haufen zusammen, verlor jedoch diese Eigenschaft einige Zeit nach dem Erkalten. Brewster findet eine Analogie dieses Verhaltens mit der doppelten Strahlenbrechung in Krystallen, indem das kleinste Stück isländischen Kalkspaths stets noch doppelte Strahlenbrechung zeigt, während schnell gekühltes Glas nach dem Zerstofsen seine optischen Eigenschaften verliert; er will daher hierauf eine der Beachtung und weiteren Untersuchung werthe Aehnlichkeit zwischen Elektricität, Magnetismus und Licht gründen[1]. Pulver von zerstofsenem und seines Krystallwassers beraubtem Scolezit und Mesolit behielt gleichfalls seine pyroelektrische Eigenschaft bei, hing an einer erhitzten Glasplatte fest und liefs sich durch Aufrühren mit einem festen Körper zusammenballen; diese Eigenschaft der genannten Fossilien mufs daher den kleinsten Bestandtheilen derselben angehören und nicht von der Krystallform abhängen, wozu das Krystallwasser unentbehrlich ist[2].

---

1 Die über diesen Gegenstand versprochene Abhandlung ist, so viel mir bekannt, nicht erschienen. Die Sache erklärt sich übrigens leicht, wenn man annimmt, dafs zum feinsten Pulver zerstofsener Turmalin und Kalkspath stets noch ihr krystallinisches Gefüge, die Bedingung ihrer Wirkungsweise, beibehalten, statt dafs der Magnetismus des Stahls und die Fähigkeit des Glases, auf den polarisirten Lichtstrahl zu wirken, aus der Aggregationsart ihrer Theilchen entstehn und den ganzen Körpern daher ebensowohl gegeben als auch genommen werden können.

2 Dieser Umstand ist zwar nicht absolut entscheidend, spricht aber für Hauy's Ansicht von den Grundformen der Krystalle.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Becquerel[1], dem die Elektricitätslehre so äufserst zahlreiche Versuche verdankt, fand sich zur Prüfung der beim Turmaline gemachten Erfahrungen deswegen bewogen, weil manche Physiker den Atomen der Körper ähnliche elektrische Eigenschaften als Ursache der chemischen Anziehung beilegen, fand aber diese Hypothese nicht bestätigt, und glaubt daher das chemische Verhalten aus dem elektrischen nicht ableiten zu können, weil die Aeufserung der Elektricität beim Turmaline verschwindet, sobald er zur gewöhnlichen Temperatur zurückkehrt. Verstehe ich die Sache recht, so ist damit der Satz gemeint, dafs der chemischen Anziehung das elektrische Verhalten der Atome zum Grunde liege, sofern die positiv elektrischen das Bestreben haben sollen, sich mit den negativen, der Stärke der elektrischen Spannung proportional, zu verbinden. In diesem Falle würde aber das Argument nicht entscheidend seyn, da sich von selbst versteht, dafs sich in der Verbindung eines + und eines — elektrischen Atoms beide Elektricitäten zu 0 ausgleichen müssen. Abgesehn hiervon kommen hier nur die Resultate der Versuche in Betrachtung, aus denen sich ergab, dafs der Turmalin bei gleichmäfsiger Erwärmung seiner ganzen Masse an beiden Enden entgegengesetzt elektrisch wird, dafs die Pole wechseln, wenn er wieder erkaltet, und dafs er diese Elektricität weder von aufsen annimmt, noch dahin wieder abgiebt, sondern aus sich selbst entwickelt.

Diese Resultate sind bekannt und übereinstimmend mit dem, was frühere Versuche ergeben haben; abweichend hiervon, namentlich von dem, was auch Brewster beobachtet hatte, war das Ergebnifs, dafs die Elektricität des Turmalins mit seinem Erkalten sofort gänzlich verschwand. Um das Verhältnifs zwischen der Abkühlung und der elektrischen Erregung kennen zu lernen, hing Becquerel den zu prüfenden Turmalin in einem zusammengebogenen Papierbehälter an einem Seidenfaden in einem Glasgefäfse auf, welches in Quecksilber stand, dessen Temperatur durch eine Weingeistlampe erhöht werden konnte. Jedem Ende des Krystalls in geringer Entfernung gegenüber war ein Eisenstab angebracht, welcher

1 Ann. de Chim. et Phys. T. XXXVII. p. 5. 355. Poggendorff's Ann. XIII. 628.

mit dem einen Pole einer trocknen Säule in Verbindung stand, deren Wirkung als constant gelten konnte, weil sie der Veränderung der Temperatur nicht zugleich mit ausgesetzt war. Wurde der Turmalin elektrisch, so stellte er sich zwischen die Enden der Eisendrähte mit den diesen entgegengesetzten Polen ein, und wurde er dann abgelenkt, so gab die Zahl seiner Oscillationen ein Mittel zur Messung der relativen Intensitäten. Der Turmalin wurde bis 115° C. erwärmt und zeigte bei 105° die ersten, bei 15° die letzten Spuren von Elektricität, die den zwischenliegenden Graden zugehörigen Schwingungszahlen waren aber folgende:

Temp.	100°;	90°;	80°;	70°;	60°;	50°;	40°;	30°;	20°;
Schwing.	6;	10;	13;	15;	15;	15;	14;	13;	7;

woraus sich ergiebt, dafs weder eine gleichmäfsige Zunahme noch Abnahme der elektrischen Intensität mit der Abnahme der Temperatur statt findet. Beim Erwärmen des Turmalins zeigten sich die ersten Spuren der Elektricität bei 30°, und bei 150° waren sie noch nicht verschwunden; das Verhältnifs ihrer Intensitäten zu den Temperaturen zu messen konnte Becquerel nicht in Ausführung bringen. Was Wilke, Wilson und Jäger bereits wahrgenommen hatten, nämlich dafs ein Turmalin auch zu einer Säule mit zwei gleichen Polen und dem entgegengesetzten in der Mitte werden kann, fand auch Becquerel, jedoch durch ein von dem früheren verschiedenes Verfahren. Er hing nämlich einen Krystall in der Mitte an einem Platindrahte auf, welcher oben an einer Glasröhre festgebunden war, steckte jedes Ende des Steins in eine dicht anschliefsende Glasröhre, und erhitzte das eine der Enden, während die Temperatur des andern unverändert blieb. Hierdurch wurde dann blofs das eine erhitzte Ende elektrisch, ja er konnte auf diese Weise sogar die einzelnen Abtheilungen des Steines elektrisch machen, wovon er sich durch Anwendung der Coulomb'schen Waage überzeugte. Die Elektricität war übrigens positiv oder negativ, je nachdem das eine oder das andere Ende einseitig erwärmt war, jedoch giebt Becquerel nicht an, welches von den beiden Enden des Turmalins, die einander nicht gleich sind, beim Abkühlen nach dem Erwärmen positiv oder negativ wird, und Poggendorff[1] be-

1 Dessen Annalen a. a. O. S. 629. Anm.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

merkt mit Recht, dafs dieser Umstand noch von niemand erschöpfend untersucht worden ist. Endlich fand Becquerel, dafs Turmaline, welche stark elektrisch werden, diese Eigenschaft sowohl durch langsames als auch durch rasches Erhitzen annehmen, statt dafs die weniger erregbaren einer schnellen Erwärmung bedürfen. Ebendaher werden kurze Turmaline leicht thermoelektrisch, bis 5 oder 6 Centimeter lange aber nur bei langsamer Erhitzung, und hieraus, in Verbindung mit einer Angabe von Ajasson, dafs die Stücke eines zufällig zerbrochenen Turmalins leicht elektrisch wurden, obgleich der ganze nicht in diesen Zustand zu versetzen gewesen war, wird die Folgerung abgeleitet, die Molecüle dieses Steines müfsten auch durch schwache Erwärmung eine starke elektrische Polarität zu erhalten fähig seyn.

Die bisher zusammengestellten, durch vielfache Versuche mehrerer Gelehrten gefundenen Resultate über das elektrische Verhalten des Turmalins stimmen in allen wesentlichen Puncten mit einander überein, mit Ausnahme der einzigen Thatsache, dafs nach Becquerel die Polarität dieses Fossils mit der Rückkehr zur äufsern Temperatur verschwinden soll, statt dafs andere ein mehrere Stunden anhaltendes Anhängen desselben an der Glasscheibe gefunden hatten. Hauptsächlich aus dieser Ursache benutzte Forbes[1], welcher so eifrig bemüht ist, die über die physikalischen Gesetze noch obschwebenden Dunkelheiten aufzuhellen, den Besitz mehrerer geeigneter Turmaline, um die noch zweifelhaften Thatsachen durch neue Versuche besser zu constatiren. Hierzu bediente er sich eines Apparates, welcher dem von Becquerel gebrauchten an Zweckmäfsigkeit mindestens gleichkommt. Dieser besteht aus einer unten sehr weiten Flasche AB mit einem hinlänglich weiten Tubulus C und einer in ihren Hals gesteckten Röhre D. In das obere Ende der letzteren ist ein Kork F mit einem Drahte f gesteckt, von dessen unterem Häkchen ein Coconfaden mit einem Coulomb'schen Waagebalken g e herabhängt, welcher am einen Ende das Scheibchen g von Goldpapier trägt. Die unten angebrachte Kreistheilung i k ist für sich klar, die obere H aber Fig. 149.

1 An Account of some Experiments on the Electricity of Tourmaline and other Minerals, when exposed to Heat. Edinb. 1834. 4. Aus Edinb. Phil. Trans. T. XIII.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

dient dazu, durch Umdrehung des Korkes F um seine verticale Axe das Goldpapierblättchen in jede beliebige Lage zu bringen und den Torsionswinkel des Coconfadens zu messen. Für den Versuch wird das Scheibchen mit einer bestimmten Elektricität geladen, die Anziehung oder Abstofsung zeigt dann die Art der Elektricität, und aus der Gröfse des Abstofsungswinkels läfst sich die Stärke der Elektricität mindestens annähernd bestimmen.

Ohne Temperaturänderung zeigte der Turmalin gar keine Elektricität, obgleich er bedeutend erhitzt war; sobald er aber einen Theil seiner Wärme verloren hatte, wurde das Goldblättchen abgestofsen, seine Entfernung nahm zu, erreichte ein Maximum, wobei es einige Zeit stationär blieb, dann aber zurückkehrte, indem der Turmalin sofort nach wiedererlangter Temperatur der Umgebung keine weitere Spur von Elektricität zeigte, obgleich er in eine Glasröhre gesteckt fortwährend isolirt erhalten wurde. Dieses stimmt vollkommen mit den von Becquerel erhaltenen Resultaten überein, streitet aber gegen Brewster (und Anderer) Beobachtungen, wonach dünne Blättchen von Turmalin 6 bis 8 Stunden lang an der Glasscheibe durch elektrische Anziehung hängen bleiben. Da sich die Richtigkeit dieser letzteren Thatsache nicht wohl bezweifeln läfst, so suchte Forbes den Grund dieser Anomalie theoretisch zu bestimmen, was jedoch sehr nahe liegt; das Glas wird nämlich elektrisch geladen und das Turmalinblättchen dient als Belegung. Obgleich dieses sich als höchst wahrscheinlich von selbst darbietet, so mufs man doch sehr billigen, dafs Forbes die Richtigkeit dieser Ansicht durch den Versuch darthat und diesen obendrein etwas anders modificirte, als von seinen Vorgängern geschehn war, indem er das Turmalinstückchen nicht auf der Glasscheibe liegend erhitzte, sondern für sich allein, dann auf die Glasscheibe legte und, als es durch elektrische Anziehung daran festhing, mit einem Probeblättchen die auf der entgegengesetzten Seite des Glases angehäufte Elektricität prüfte.

Die Turmaline, deren sich Forbes bediente, gröfstentheils schwarze von Van-Diemens-Land, waren meistens sehr lang und gestatten daher eine Prüfung des von Becquerel aufgestellten Satzes, dafs die elektrische Kraft mit der Länge abnimmt und bei sehr langen verschwindet. Der Stein, dessen

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Prüfung zu diesem Schlusse führte, war 3,2 engl. Zoll lang und hatte ungefähr 0,08 Z. Durchmesser; der längste, womit Forbes seine Versuche anstellte, mafs 3,25 engl. Zoll bei gleicher Dicke mit jenem, zeigte sich aber stets und vollständig polarisch-elektrisch. Dieses veranlafste ihn, den Einflufs der Länge und der Durchmesser der Turmaline näher zu prüfen. Sechs Turmaline, alle 1,3 Z. lang, deren Querschnittsflächen sich verhielten wie 14, 11, 7, 6, 4, gaben als stärkste Abstofsungen 1, 2, 5, 3, 4. Gleiche Unregelmäfsigkeiten zeigten sich, als Krystalle von 1,2 und 1,8 Zoll Länge, aber von verschiedener Dicke geprüft wurden, und man kann daher nur als Hauptresultat betrachten, dafs unter übrigens gleichen Verhältnissen die dickeren Krystalle mit einer gröfseren elektrischen Intensität verbunden zu seyn pflegen. Interessant war folgender Versuch. Ein 1,25 Z. langer Krystall gab im Mittel aus drei Versuchen 45° als stärkste Repulsion. Nachdem er sofort in zwei Theile zerbrochen war, deren Länge sich wie 1 zu 3 verhielt, zeigten diese Theile gleichfalls im Mittel 43° und 47°, zwischen welchen Gröfsen jene frühere ungefähr in der Mitte liegt. Sechs Krystalle, sämmtlich von nahe 0,1 Z. Durchmesser, aber verschiedener Länge, gaben in wiederholten genauen Versuchen folgende aus den Abstofsungen gemessene Intensitäten.

Nr. 1	Länge	3,25 Zoll,	Intensität	79,5
— 2	—	2,10	—	82,0
— 3	—	1,60	—	60,0
— 4	—	1,55	—	60,0
— 5	—	1,35	—	89,0
— 6	—	1,19	—	68,0.

Wenn diesemnach Becquerel's Resultat, dafs lange Krystalle gar nicht elektrisch werden, genügend widerlegt worden ist, so mufs eine andere von Forbes wahrgenommene Thatsache, welche fast auf gleiche Weise isolirt steht, um so gröfsere Aufmerksamkeit erregen. Einer von seinen Krystallen nämlich hatte beim Erkalten an beiden Enden positive Elektricität, zeigte dagegen mit dem Probeblättchen in seiner Mitte negative, und es ist daher möglich, dafs der in Becquerel's Versuche sich neutral zeigende Krystall ein solcher gewesen sey.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

Die übrigen Krystalle, auf welche Forbes seine Versuche ausdehnte, waren zuerst der Topas, welcher von der gröfsten Stärke seiner elektrischen Spannung nur langsam herabkam und sie nach mehreren Stunden noch merklich zeigte. Es scheint hiernach, als ob Krystalle von gröfserer Masse länger in diesem Zustande bleiben, und daraus liefse sich vielleicht die Behauptung von Aepinus erklären, dafs auch der Turmalin lange elektrisch bleibe, vermuthlich weil dessen Versuche mit grofsen Exemplaren angestellt wurden. Krystallisirter Borazit zeigte eine beträchtlich starke elektrische Spannung und die Dauer derselben war auch bei diesem länger, wenn die Krystalle eine bedeutendere Gröfse hatten. Der Mesotyp dagegen war leicht elektrisch erregbar, das Maximum der Spannung trat fast sofort bei beginnender Abkühlung ein, ging aber auch sehr schnell wieder zurück.

Das Thatsächliche über das Verhalten des Turmalins ist nach dem Vorhergehenden so vollständig festgestellt, als dieses bei einer einzelnen Thatsache nur zu erwarten steht, allein die Theorie dieser Phänomene ist noch gar nicht ins Licht gesetzt. Zur Zeit, als Jäger seine Untersuchungen anstellte, waren die thermoelektrischen Erscheinungen noch nicht bekannt, und hieraus erklärt sich leicht, dafs er den Turmalin mit einer trocknen Säule verglich. Dabei erklärte er leicht den auffallenden Umstand, dafs geschliffene Krystalle von kaum zwei Linien Axenlänge am Volta'schen Elektrometer eine Ablenkung von 60° bewirkten, während eine Papiersäule, von 1 Fufs Länge und aus 4000 der feinsten Elektromotoren von Papier bestehend, nur eine von 40° erzeugte, aus der unermefslichen Feinheit der Lagen im Turmaline; wenn er aber die Wirksamkeit beider Apparate auf Reibung zurückzuführen sucht, die dann im Turmaline durch die ungleiche Ausdehnung der Lagen entstehn soll, woraus er zusammengesetzt ist, so fühlt er zugleich selbst, dafs diese Hypothese auf die trockne Säule keine Anwendung leide. Die Wirkung der letzteren läfst sich zwar einfach auf die Contact-Elektricität zurückführen, allein bei der Vergleichung beider Apparate konnte sich dann Jäger nicht verbergen, dafs die Eigenthümlichkeit des Turmalins, durch Wärme elektrisch zu werden und obendrein beim Uebergange vom Erhitztseyn zum Erkalten seine vorher durch Erwärmung angenommene Polarität zu ändern,

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

in der trocknen Säule durchaus keine Spur von einer Analogie finde. Die allerdings statt findende und in einzelnen Puncten wahrhaft überraschende Aehnlichkeit zwischen der trocknen Säule und dem Turmaline vermag daher bei so grofsen obwaltenden Verschiedenheiten die Theorie der sogenannten Krystallelektricität durchaus nicht weiter zu fördern. Forbes[1] bemerkt, es sey bekannt, dafs der Turmalin am besten künstlich nachgebildet werden könne durch eine Reihe isolirter, einander paralleler, gehörig belegter und an den zusammengehörigen Belegungen durch Zinnfolie verbundener Glasscheiben. Dieses ist offenbar wieder eine trockne Säule, und er findet dann, dafs bei einer Zusammensetzung derselben aus sehr zahlreichen Platten eine Verkürzung keinen Unterschied der Intensität hervorbringen könne, welcher dagegen durch Vergröfserung der Platten oder des Querschnittes der Säule nothwendig entstehn müsse, und da die elektrische Spannung mit dem Durchmesser der Turmaline zunehme, so sey in beiden Puncten allerdings eine Aehnlichkeit dieser zwei Apparate vorhanden, obgleich von der andern Seite der Umstand, dafs kurze Turmaline von grofsem Querschnitte die gröfste Spannung zeigen, mit der Ladung der trocknen Säule nicht im Einklang stehe. Man sieht aus diesen Bemerkungen, dafs der englische Physiker, so sehr er auch seinen Scharfsinn anderweitig beurkundet hat, dennoch nicht wagte, eine Enträthselung dieser Phänomene zu versuchen. Nach dem gegenwärtigen Standpuncte der Elektricitätslehre müssen wir wohl das Verhalten des Turmalins und somit die gesammte sogenannte *Krystallelektricität* auf die *Thermoelektricität* zurückführen, um so mehr, als die Erzeugung einer elektrischen Polarität in dicken Stangen von Wismuth, Zink und Antimon, also in Metallen von vorzüglich krystallinischem Gefüge, nach v. Yelin's[2] Entdeckung zwischen beiden gleichsam ein Mittelglied bildet. Es liegt also vor Augen, dafs die Aufhellung der Theorie über die verschiedenen Arten der Hervorrufung freier Elektricität künftigen Zeiten vorbehalten bleiben mufs[3].

M.

---

1 A. a. O. p. 10.

2 G. LXXIII. 434.

3 Da hier zum letzten Male in unserem Werke von elektrischen Theorieen die Rede war, die gerade in diesem Augenblicke einen Ge-

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf

genstand angestrengter, mitunter in Leidenschaft ausartender, Forschungen bilden, so dürften folgende kurze Bemerkungen nicht ganz überflüssig erscheinen. Soll das Wesen der elektrischen Erscheinungen näher nachgewiesen werden, so mufs eine genügende Theorie sie alle unter ein übereinstimmendes Gesetz bringen und die Aeufserungen des elektrischen Fluidums oder der elektrischen Thätigkeit insgesammt aus einer allen gemeinsamen Quelle ableiten. Der scharfsinnige Volta hat in dieser Beziehung den richtigen, seitdem stets verfolgten Weg eingeschlagen, indem er vor allen Dingen untersuchte, ob die Elektricität, ungeachtet der ungleichen Arten ihrer Hervorrufung und ihrer Wirkungen, dennoch dem Wesen nach stets eine und dieselbe sey. Wird dann in Folge allgemein bekannter Thatsachen angenommen, dafs beide Elektricitäten in ihrer Vereinigung das indifferente 0 E. geben, alle elektrische Thätigkeiten aber aus der Trennung und Wiedervereinigung, so wie aus den Strömungen des + E. und des — E. zu erklären sind, so dürfte es nahe liegen, zu folgern, dafs beide Elektricitäten an die Molecüle der Körper gebunden seyen und durch jede Veränderung des Zusammenhanges dieser Molecüle im Zustande ihres stabilen Gleichgewichts, sey es beginnende Trennung oder Vereinigung, gleichfalls bald frei gemacht, bald wieder vereint würden, wobei dann die gröfsere oder geringere Leitungsfähigkeit der verschiedenen Körper als hauptsächlich bedingend auf die hieraus hervorgehenden Erscheinungen wirken müfste. Sind beide Elektricitäten in einem gegebenen Körper einmal getrennt, so mufs durch diesen eine entgegengesetzte Trennung beider Elektricitäten in anderen genäherten Körpern nach Affinitätsgesetzen hervorgerufen werden. Früher kannte man in dieser Beziehung blofs die sogenannte Vertheilung. Oersted's und Faraday's glänzende Entdeckungen haben aber aufserdem die Wechselwirkung zwischen Elektricität und Magnetismus nachgewiesen, wonach die Trennung des 0 E. in seine beiden Constituenten durch Magnetismus auf ähnliche Weise, als nach der höchst wichtigen Entdeckung von Seebeck und v. Yelin, durch Wärme bewirkt wird. Die Inductionserscheinungen beruhn auf einem secundären Erregungsprocesse, insofern schon freie Elektricitat oder thätiger Magnetismus vorhanden seyn mufs, wenn diese Elektricität zum Vorschein kommen soll. Vereinigung und Trennung zweier ganzer Körper ist der einfachste, die Molecüle beider einander nahe bringende oder von einander entfernende Procefs, und wir könnten also sagen: es giebt nur *Contact-Elektricität*, mag dieser Contact durch blofse Berührung der Körper, durch Reibung, durch chemische Action derselben auf einander oder durch Temperaturwechsel bewirkt oder modificirt werden. Hierdurch wären dann die sämmtlichen elektrischen Phänomene auf ein allgemeines Gesetz gebracht, ohne jedoch das eigentliche Wesen des elektrischen Fluidums und die Aetiologie seines Freiwerdens durch diesen Contact erklären zu wollen, die vielleicht für immer ebenso dunkel bleiben werden, als die Attractions- und Repulsionskraft der Molecüle, die zur Erzeugung des stabilen Gleichgewichts vereint wirken.

Universitäts- und
Landesbibliothek Düsseldorf